

Research Article

Sistem Navigasi untuk Individu Pejalan Kaki Berbasis Prinsip Dead Reckoning

Iwan Setiawan, Budi Setyono, Laras Dwi Kawuri

*Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang
Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang***Abstract**

This paper discusses a pedestrian navigation system based on the principle of dead reckoning. Early prototype of the system has been developed using only two internal sensors of MEMS accelerometer and electronic compass that is worn over the shoes of the individual. Functionally, accelerometer in this system is used to detect the two state individual legs as walking: stance and swing state, while the electronic compass are functionally used to estimate the direction of individual pedestrian step. Based on initial testing, the navigation system that developed capable of detecting individual steps that are normal walking with 100% success rate, whereas the electronic compass readout accuracy is still room for improvement.

Keyword : *Navigation, Positioning, Dead Reckoning, Pedestrian, Accelerometer, Electronic Compass*

I. PENDAHULUAN

Sistem navigasi pejalan kaki adalah sistem yang mampu memberi informasi posisi individu yang bernavigasi dengan kedua kakinya. Dalam sejumlah bidang aplikasi seperti militer, keamanan, game, realitas virtual, layanan berbasis lokasi dan layanan darurat, informasi posisi pejalan kaki dapat memiliki arti sangat penting bahkan strategis. Sampai saat ini, salah satu solusi untuk memenuhi kebutuhan positioning tersebut umumnya dengan memanfaatkan teknologi GPS-Global Positioning Systems [1].

Walaupun sangat bermanfaat, penggunaan teknologi GPS mensyaratkan prinsip Line of Sight: Sisi penerima harus berada pada ruang terbuka sedemikian sehingga penerima tidak terhalang dari setelit-satelit GPS. Kendala utama ini menyebabkan sistem GPS tidak dapat digunakan pada lokasi-lokasi seperti di dalam gedung, hutan lebat, gua, terowongan, tambang bawah tanah, pusat kota yang penuh dengan gedung pencakar langit dan sebagainya[2][3].

Untuk keperluan navigasi pada area yang tidak dapat dijangkau sinyal satelit, sistem positioning lain yang dapat digunakan adalah sistem navigasi berbasis beacon, RFID, WLAN dan kamera [4][5]. Sistem positioning ini relative kurang begitu fleksible karena diperlukan instalasi jaringan sensor dan pemancar di area navigasi.

Seiring perkembangan teknologi sensor inersial MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) , maka kini terbuka berbagai peluang dalam pemanfaatan sensor-sensor tersebut. Salah satu bidang yang gencar memanfaatkan kemajuan teknologi sensor inersial MEMS adalah bidang navigasi atau sistem positioning.

Terkait dengan permasalahan diatas, dewasa ini telah ada sejumlah penelitian yang berhasil mengembangkan sistem positioning bagi pejalan kaki berbasis sensor inersial dan sensor internal lainnya tanpa menggunakan referensi luar atau satelit [6][7][8][9][10]. Tingkat kesalahan (error) dari sistem-sistem navigasi yang telah dan sedang dikembangkan tersebut sangat bervariasi antara 0.5% sampai 10% dari jarak navigasi [11]. Tingkat akurasi sistem positioning itu sendiri secara praktis tergantung dari sejumlah faktor yaitu seperti: jenis dan

jumlah sensor, kelas/kualitas sensor inersial, serta algoritma positioning yang digunakan.

Dalam paper ini, kami akan menyajikan hasil experiment dari sistem navigasi personal yang telah dibangun. Struktur Paper kami susun sebagai berikut: Bagian I memuat latar belakang, Bagian II memuat teori-teori dasar dari sistem navigasi pejalan kaki, Bab III dan bab IV berturut-turut membahas desain dari perangkat keras/perangkat lunak yang digunakan dalam eksperimen dan hasilnya, sedangkan bagian 5 berisi penutup.

II. DASAR TEORI**A. Pedestrian Dead Reckoning System**

Ditinjau dari penempatan sensor, ada sejumlah bagian tubuh yang dipilih sebagai tempat peletakan sensor. Sejumlah penelitian menempatkan sensor tersebut di pinggang [11][12], sebagian menempatkan di punggung [10], dan sebagian penelitian lain menempatkan sensor di kaki atau sepatu [6][7][8].

Penempatan sensor pada bagian tubuh tertentu, masing-masing memiliki keuntungan dan kerugian. Sebagai contoh, penempatan sensor di bagian pinggang atau punggung memiliki keunggulan dalam hal keakuratan estimasi arah individu, hal ini disebabkan saat individu berjalan, bagian tubuh ini relative stabil sehingga sensor yang digunakan untuk mengetahui arah (misal gyroscope atau kompas elektronik) relative tidak dipengaruhi oleh dinamika kaki. Tetapi dilain pihak, penempatan sensor pada bagian pinggang atau punggung akan menyebabkan sistem sulit mendeteksi keadaan-keadaan kaki saat berjalan. Karena keberhasilan sistem navigasi pejalan kaki salah satunya bertumpu pada informasi keadaan atau fasa kaki saat berjalan (apakah kaki sedang berayun atau sedang menapak tanah), penempatan sensor di kaki secara praktis dipilih oleh banyak peneliti, hal ini disebabkan sensor yang ditempatkan di bagian kaki akan relative mudah mendeteksi keadaan-keadaan kaki.

Berdasarkan prinsip pengolahan data sensor atau algoritma komputasi yang digunakan, sistem navigasi pejalan kaki dapat dibedakan menjadi dua katagori: Sistem navigasi

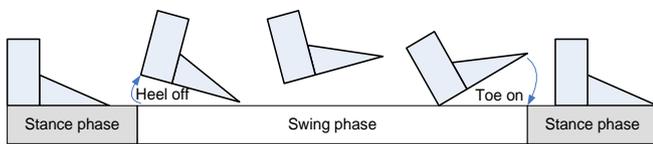
personal berbasis prinsip dead reckoning dan Sistem navigasi personal berbasis komputasi INS konvensional.

Sistem navigasi personal berbasis prinsip dead reckoning. Secara umum keberhasilan sistem navigasi personal berbasis prinsip dead reckoning ini ditentukan oleh tiga aktivitas berikut (1) deteksi langkah, (2). estimasi panjang langkah, dan (3) estimasi arah langkah. Dalam sistem navigasi ini, perhitungan posisi pejalan kaki dilakukan dengan menggunakan prinsip dead reckoning, posisi individu hanya diperbaharui setiap terdeteksi adanya kejadian langkah kaki. Informasi yang digunakan untuk memperbaharui posisi pejalan kaki adalah estimasi panjang dan arah langkah. Secara teknis deteksi langkah dapat diperoleh dari pengolahan data sensor seperti Accelerometer, Gyroscope atau magnetometer. Estimasi arah langkah dapat diperoleh dari kompas elektronik atau magnetometer, sedangkan panjang langkah dapat diestimasi berdasarkan pengolahan data magnitude accelerometer dengan menggunakan rumus-rumus empiris.

Sistem navigasi personal berbasis komputasi INS konvensional, Dalam sistem navigasi ini, posisi individu pejalan kaki dihitung dengan menggunakan perumusan INS konvensional seperti yang umum digunakan pada pesawat terbang dan system mobile lainnya. Sensor utama yang dibutuhkan dalam sistem ini minimal adalah gyroscope 3 derajat kebebasan dan accelerometer 3 derajat kebebasan. Posisi pejalan kaki dihitung dengan melakukan double integral pada output accelerometer untuk masing-masing sumbu referensi. Untuk mencegah simpangan posisi yang bersifat kuadratis terhadap waktu, maka pada saat terdeteksi kaki menetap di tanah (stance phase), sistem navigasi harus menerapkan prinsip ZUPT (Zero velocity update).

B. Karakteristik Langkah Manusia

Secara alamiah, keadaan kaki individu saat berjalan dapat dibagi menjadi dua keadaan atau phase yang relative dominan: phase berayun (swing phase) dan phase menetap tanah (stance phase) [7]. Swing phase adalah keadaan dimana kaki sedang mengayun diatas tanah atau lantai, sedangkan stance phase adalah keadaan dimana telapak kaki sedang tepat menetap di lantai. Diantara kedua phase tersebut terdapat phase transisi yang terjadi relative cepat, yaitu pada saat terjadi perubahan phase dari swing phase ke stance phase dan dari stance phase ke swing phase. Gambar 2.1. dibawah memperlihatkan phase-phase kaki yang dialami saat seseorang berjalan [8][16].



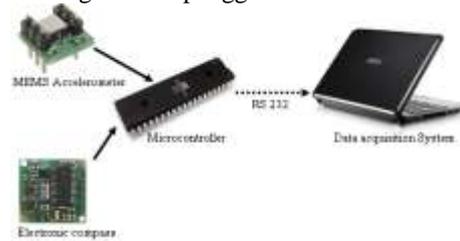
Gambar 2.1. Phase-phase langkah kaki

III. PERANCANGAN SISTEM

A. Perangkat Keras dan Instalasi

Dalam penelitian ini perangkat keras sistem navigasi pejalan kaki yang digunakan adalah modul sensor accelerometer produk Parallax dan kompas elektronik produk devantec., sedangkan microcontroller yang digunakan adalah microcontroller AVR 8 bit.. Gambar 3.1. dan Gambar 3.2. dibawah berturut-turut memperlihatkan desain perangkat

keras sistem navigasi dan lokasi penempatan modul yang dikenakan di bagian kaki pengguna.



Gambar 3.1. Interkoneksi Perangkat keras

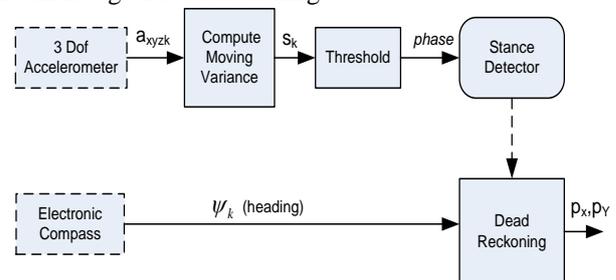


Gambar 3.2. Penempatan modul di kaki pengguna

Dengan mempertimbangkan dimensi prototype modul dan kenyamanan dalam pemakaian, dalam penelitian ini perangkat keras pengolah (microcontroller) secara fisik dirancang accelerometer dan kompas elektronik juga dikirim ke Laptop secara real time.

B. Perancangan Perangkat Lunak

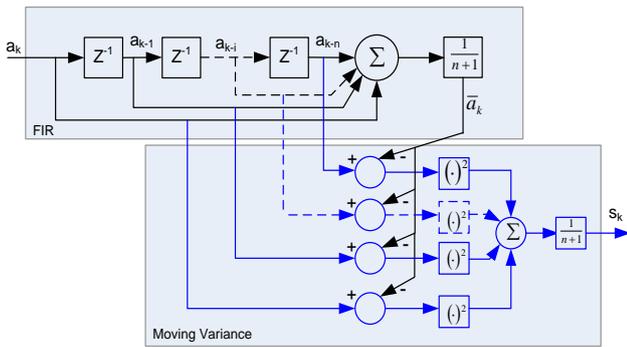
Gambar 3.3 dibawah ini memperlihatkan diagram aliran data yang digunakan untuk merealisasikan perangkat lunak sistem navigasi dead reckoning.



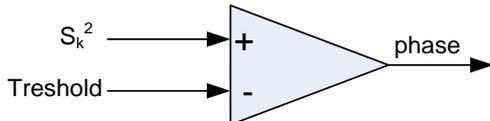
Gambar 3.3. Diagram aliran data sistem navigasi pejalan kaki.

Blok komputasi Moving Variance dalam hal ini digunakan untuk mendapatkan variasi keluaran accelerometer sedemikian sehingga detector langkah tidak gayut terhadap kemiringan penempatan accelerometer: Pada saat phase Stance, output dari moving variance ada disekitar nol.

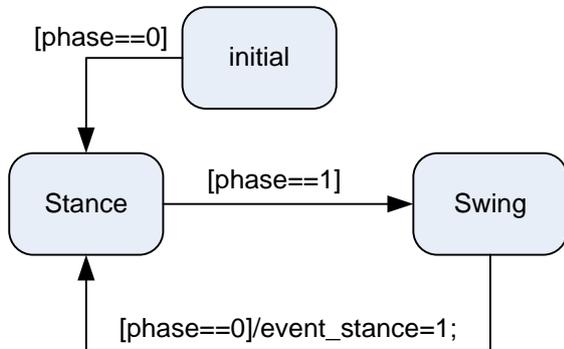
Gambar 3.4 dan gambar 3.5 berikut berturut-turut memperlihatkan detail dari blok moving variance dan thresholding yang ada pada gambar 3.3. Dengan menggunakan teknik ini maka keadaan-keadaan kaki sekarang dapat dideteksi relative lebih mudah, yaitu misal dengan cara mendeteksi keluaran blok thresholding lewat Finite State Machine (gambar 3.6).



Gambar 3.4. Diagram blok system komputasi moving variance



Gambar 3.5. Blok thresholding



Gambar 3.6. Finite State Machine detector langkah

Keluaran stance detector seperti nampak pada gambar 3.6 pada dasarnya adalah event langkah yang digunakan untuk memicu perhitungan posisi pejalan kaki dengan menggunakan perumusan dead reckoning posisi dua dimensi berikut:

$$\begin{aligned} p_{xk} &= p_{x(k-1)} + l \cos(\psi_k) \\ p_{yk} &= p_{y(k-1)} + l \sin(\psi_k) \end{aligned} \quad (3.1)$$

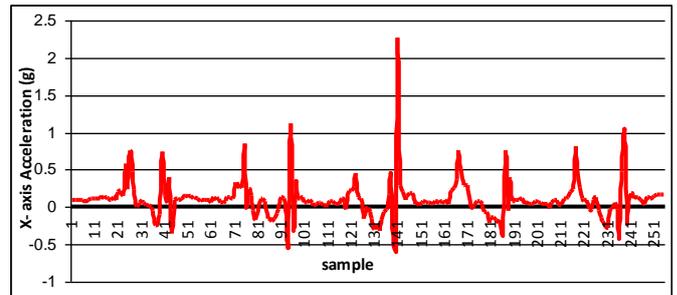
Dengan p : posisi pejalan kaki (m)
 l : panjang langkah rata-rata (m)
 ψ : sudut heading hasil pembacaan kompas ($^{\circ}$)

IV. ANALISIS HASIL PERCOBAAN

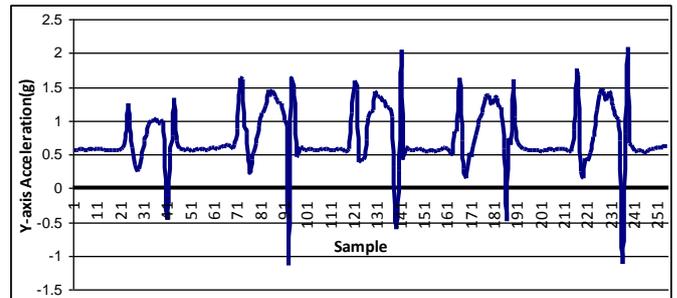
Pada bagian ini akan dibahas sejumlah hasil yang diperoleh selama pengujian alat dilakukan.

A. Hasil pengujian Accelerometer saat Melangkah

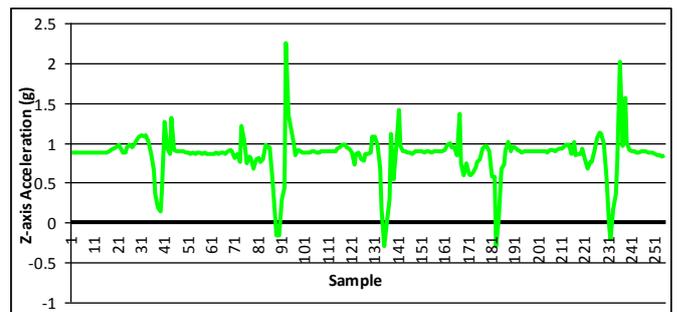
Gambar 4.1 sampai 4.3. berikut ini berturut-turut memperlihatkan keluaran accelerometer untuk setiap sumbu x,y,z yang diperoleh dari pengujian pada saat individu berjalan kaki.



Gambar 4.1. Keluaran accelerometer untuk sumbu x



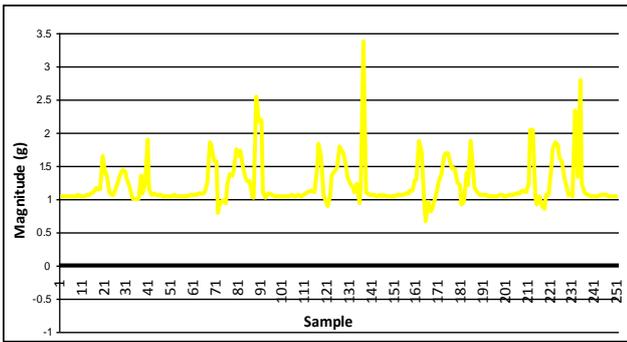
Gambar 4.2. Keluaran accelerometer untuk sumbu y



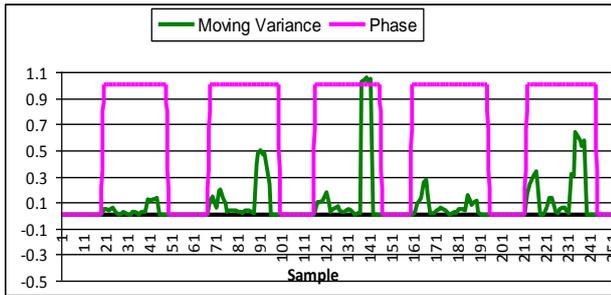
Gambar 4.3. Keluaran accelerometer untuk sumbu z

Pada ketiga gambar diatas, fase stance ditunjukkan saat keluaran accelerometer berada pada nilai tertentu yang relatif stabil sehingga hampir membentuk garis horizontal, kemudian fase swing ditunjukkan saat grafik membentuk gelombang-gelombang. Berdasarkan hasil pengujian dapat terlihat bahwa percepatan dalam arah sumbu Y dan Z memiliki tingkat sensitifitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan sumbu X. Hal tersebut terlihat dari kemampuan sumbu tersebut dalam membedakan fase stance dan swing dengan jelas.

Agar detector langkah tidak gayut terhadap orientasi peletakan modul accelerometer, maka dalam percobaan ini, nilai yang digunakan untuk mendeteksi fase langkah kaki adalah nilai absolutnya. Gambar 4.4. dan gambar 4.5 berikut berturut-turut memperlihatkan sinyal keluaran accelerometer absolute dan hasil deteksi kondisi kaki (fase-fase langkah) berdasarkan hasil pengolahan blok moving variance.



Gambar 4.4. Keluaran absolute ketiga sumbu accelerometer



Gambar 4.5. Fase-fase langkah hasil deteksi blok moving variance

Berdasarkan gambar 4.5, nampak bahwa algoritma yang dikugakan dalam percobaan telah berhasil mendeteksi dua phase kaki saat melangkah: saat kaki menatap tanah, nilai phase sama dengan nol, sedangkan saat kaki melangkah, nilai phase sama dengan satu.

B. Hasil pengujian Kompas elektronik

Pengujian selanjutnya dilakukan dengan membaca arah medan magnet bumi, kemudian nilainya dibandingkan antara datasheet dengan hasil percobaan. Saat pengujian sensor sudah ditempatkan pada sepatu seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2, setelah sebelumnya dikalibrasi pada keadaan yang sama

Tabel 4.1 Hasil pengujian pembacaan data kompas terhadap medan magnet bumi

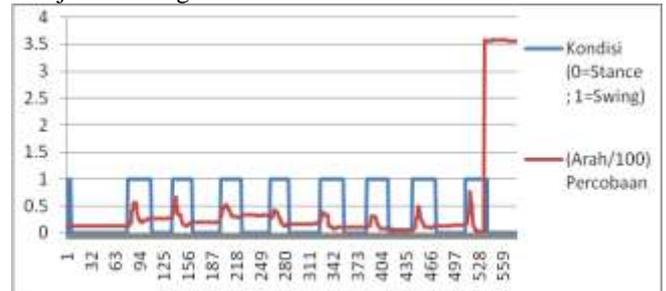
No	Arah	Sdt_Seharusnya	Sdt_Percobaan
1	Utara	0°	0°
2	Timur	90°	90°
3	Selatan	180°	180°
4	Barat	270°	270°

Tabel 4.2 Hasil perbandingan sudut terukur dengan sudut yang terdeteksi CMPS03

No	Δ Sudut_asi	Sdt_Awl	Sdt_Akhir	Δ Sudut_Perc
1	5°		105°	6°
2			101°	4°
3	10°		18°	12°
4			45°	11°
5	15°		74°	12°
6			98°	13°
7	20°		59°	18°
8			43°	19°

Pengujian selanjutnya, pembacaan kompas CMPS03 ini dilakukan dengan cara membuat beberapa ukuran-ukuran sudut pada suatu kertas, kemudian kompas digunakan untuk membaca perubahan sudut sesuai dengan yang telah ditentukan. Kompas digital yang digunakan untuk mengetahui perubahan sudut tersebut.

Berdasarkan hasil pengujian diatas dapat disimpulkan bahwa untuk keadaan yang relatif statis, pembacaan kompas mendekati dengan keadaan yang sebenarnya. Tetapi ternyata berdasarkan hasil pengujian saat berjalan pembacaan kompas pada phase stance yang diharapkan konstan pada sudut tertentu menunjukkan nilai yang relative bervariasi seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4.6

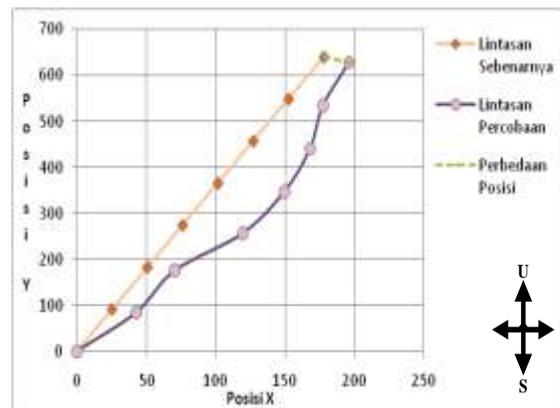


Gambar 4.6. nilai output kompas pada Fase-fase langkah pejalan kaki dengan arah tertentu

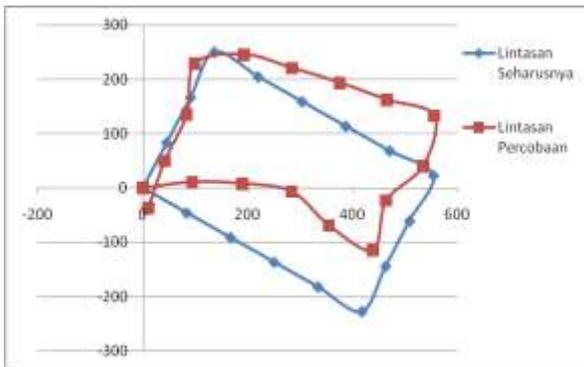
C. Hasil Pengujian algoritma Dead Reckoning

Melalui pengujian ini akan diketahui posisi akhir pejalan dari posisi awalnya, kemudian akan dipetakan dan dibandingkan dengan keadaan sesungguhnya. Pemetaan yang dilakukan didasarkan pada posisi pejalan kaki terhadap arah medan magnet bumi. Pemetaan posisi dilakukan dalam arah sumbu X dan sumbu Y yang didapatkan dari perhitungan yang sebenarnya kemudian dibandingkan dengan hasil percobaan, posisi awal diasumsikan berada pada koordinat (0,0) dan nilai input panjang langkah kaki bernilai 95 cm.

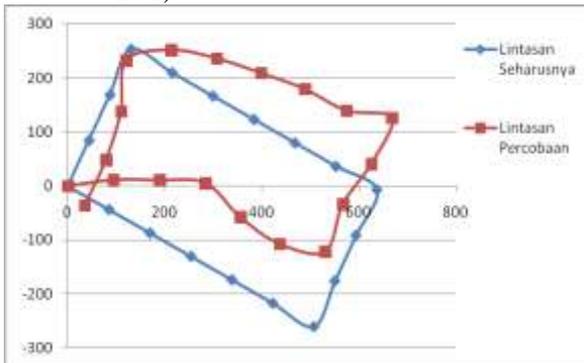
Gambar 4.7 sampai gambar 4.9 berikut memperlihatkan hasil trayektori langkah berdasarkan hasil pengujian.



Gambar 4.7. Hasil Pemetaan untuk lintasan lurus (jumlah step: 8)



Gambar 4.8. Hasil Pemetaan untuk lintasan kotak (Percobaan ke-1)



Gambar 4.9. Hasil Pemetaan untuk lintasan kotak (Percobaan ke-2)

Dari ketiga hasil pengujian menunjukkan hasil pemetaan yang diperoleh dari komputasi nilainya relative berbeda dari keadaan yang sebenarnya. Perbedaan ini disebabkan karena saat kaki melangkah dari posisi awal ke posisi yang baru sulit untuk benar-benar memiliki orientasi arah yang sama persis dengan keadaan yang sebelumnya, selain itu respon kompas tidak cukup cepat untuk dibaca nilai perubahannya oleh sistem microcontroller (berdasarkan datasheetnya pembacaan kompas memerlukan waktu konversi yang relative lama, yaitu sekitar 30 ms).

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa Algoritma pendeteksian langkah yang digunakan sudah dapat mendeteksi jumlah langkah sesuai keadaan yang sebenarnya pada kondisi kecepatan normal. Sedangkan terkait dengan hasil pembacaan kompas, nilai pembacaan data kompas dalam keadaan statis dan tidak ada gangguan dari luar sudah menunjukkan nilai pembacaan arah yang benar. Akan tetapi, bila kompas mengalami pergerakan yang dinamis pembacaannya masih kurang tepat. Hal ini dikarenakan pergerakan terjadi dalam waktu yang cepat tetapi tidak diimbangi dengan waktu komputasi kompas yang cepat pula. Akibatnya, kompas belum berada pada kondisi yang steady tetapi sudah harus mengirim data orientasi arah.

B. Saran

Untuk pengembangan sistem lebih lanjut, pembacaan kompas perlu diintegrasikan dengan gyroscope yang memiliki kecepatan sampling yang relative tinggi.

C. Ucapan Terimakasih

Dalam kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada fakultas teknik Undip atas bantuan pendanaan secara penuh untuk jalannya penelitian ini yaitu lewat no. Kontrak 304/SK/UN7.3.3/IV/2011

Daftar Pustaka

- [1] G. Eason, B. Noble, and I. N. Sneddon, "On certain integrals of Lipschitz-Hankel type involving products of Bessel functions," *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, vol. A247, pp. 529–551, April 1955. (references)
- [2] Elliott D. Kaplan Christopher J. Hegarty, 2006 "Understanding GPS Principles and Applications", ISBN 1-58053-894-0, ARTECH HOUSE, INC
- [3] James, Claudian, 2010 "A Personal Navigation System Based On Inertial And Magnetic Field Measurements", Phd Dissertation, Naval Postgraduate School Monterey, California
- [4] Paul D. Groves, 2008 "Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems", Artech House, ISBN-13: 978-1-58053-255-6
- [5] Heli Kokkonen-Tarkkanen, Paul Kemppe, 2010 "Evaluation of Positioning Techniques in Industrial Environment", RESEARCH REPORT, VTT-R-02103-09
- [6] L. E. Miller, N. P. Bryner, P. F. Wilson, M. H. Francis, J. R. Guerrieri, D.W. Stroup, and L. Klein-Berndt, 2005 "RFID-Assisted Localization and Communication for First Responders", Interim Project Report, FY
- [7] Stirling, G., Collin J., Fyfe K., Lapchappelle G., 2003 "An Innovative shoe-mounted pedestrian Navigation System", GNSS 2003 Austria, 22-25
- [8] Xiaoping Yun, Eric R. Bachmann, Hyatt Moore IV, and James Calusdian, 2007 "Self-contained Position Tracking of Human Movement Using Small Inertial/Magnetic Sensor Modules", IEEE International Conference on Robotics and Automation, Roma, Italy
- [9] Lauro Ojeda, Johann Borenstein, 2007 "Personal Dead-reckoning System for GPS-denied Environments", IEEE International Workshop on Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR2007) Rome, Italy
- [10] Ozkan Bebek, Michael A. Suster, Srihari Rajgopal, Michael J. Fu, Xuemei Huang, M. Cenk Cavusoglu, Darrin J. Young, Mehran Mehregany, Antonie J. (Ton) van den Bogert, and Carlos H. Mastrangelo, 2010 "Personal Navigation via Shoe Mounted Inertial Measurement Units", proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Taipei, Taiwan
- [11] Collin, Jussi, Mezentsev, Lachapelle, 2003 "Indoor Positioning System Using Accelerometry and High Accuracy Heading Sensors", Proc. GPS/GNSS 2003, The Institute of Navigation
- [12] A.R. Jimenez, F. Seco, C. Prieto and J. Guevara, 2009 "A Comparison of Pedestrian Dead-Reckoning Algorithms using a Low-Cost MEMS IMU", WISP 2009 • 6th IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing Budapest, Hungary,

- [13] Harvey Weinberg, "Using the ADXL202 in Pedometer and Personal Navigation Applications", AN-602 APPLICATION NOTE, www.analog.com, didownload tanggal 25 januari 2011
- [14] Diego Alvarez, Rafael C. González, Antonio López and Juan C. Alvarez, 2006 "Comparison of Step Length Estimators from Wearable Accelerometer Devices", Proceedings of the 28th IEEE EMBS Annual International Conference New York City, USA
- [15] Russell Best, Rezaul Begg 2006 "Overview of Movement Analysis and Gait Features " IDEA GROUP PUBLISHING
- [16] S.P. Kwakkel, G. Lachapelle and M.E. Cannon, 2008 "GNSS Aided In Situ Human Lower Limb Kinematics During Running", ION GNSS, Session E3, Savannah, GA, 1620
- [17] Iwan Setiawan, Darjat, Trias Andromeda, 2006 "Sistem Kontrol Navigasi Robot Mobile Berpenggerak Diferensial Penjejak Trayektori Bezier", Proceedings Seminar TEKNOIN, Yogyakarta
- [18] Iwan Setiawan, Isnain Fauzan Akrom, Darjat, 2009 "Pemetaan Posisi dan Orientasi Kursi Roda Cerdas Berbasis Prinsip Dead Reckoning", Transmisi, ISSN 1411-0814, Vol. 11, No 2
- [19] Iwan Setiawan, Bagus Susilo, Budi Setiyono, 2009 "Analisis Data Hasil Pengujian Statis Sensor Accelerometer ADXL335", Transmisi, ISSN 1411-0814
- [20] Iwan Setiawan, Surya, 2009 "Model Detektor langkah Pejalan Kaki Berbasis sensor Accelerometer", Transmisi, ISSN 1411-0814
- [21] S Godha and G Lachapelle, 2008 "Foot mounted inertial system for pedestrian navigation", Measurement Science and Technology, IOP PUBLISHING
- [22] Kim J.W., Jang H.J, Hwang D.H. Park C. 2004 "A Step, Stride and Heading Determination for The Pedestrian Navigation Systems", Proc. Of GNSS, Sidney, Australia.
- [23] Woodman, Oliver J., 2004, "An Introduction to Inertial Navigation", Techniacl Report UCAM-CL-TR, ISSN 1476-2986