

Pedestrian Dead Reckoning pada Ponsel Cerdas sebagai Sistem Penentuan Posisi dalam Ruangan

Azkario Rizky Pratama¹, Widyawan²

Abstract— Nowadays, personal positioning systems are more necessary to build many location-based services. Pedestrian Dead Reckoning (PDR), which is a pedestrian positioning technique using the accelerometer sensor to recognize pattern of steps, is an alternative method that has advantages in terms of infrastructure-independent. However, the variation of walking pattern on each individual will make some difficulties for the system to detect displacement. This is really interested authors to develop a sensor-based positioning system that applied generally to all individuals. In the test, 15 test subjects was taken with the distance of each 10m, 20m and 30m.

Experiment begins with the feasibility test of accelerometer sensor. In this work, a smartphone with average sampling rate 63.79 Hz and standard deviation of 1.293 is used to records the acceleration. Then, the acceleration data are analyzed to detect step and to estimate the travelled distance using several methods. Detection of steps are able to make an average error of 2.925%, while the most nearly correct displacement estimation is using Scarlet experimental method which is make a distance average error of 1.39metres at all the traveled distance.

Intisari— Sistem penentuan posisi personal kini semakin banyak dibutuhkan untuk membangun berbagai macam layanan berbasis lokasi (*location based services*). *Pedestrian Dead Reckoning* (PDR), yang merupakan teknik penentuan posisi pejalan kaki dengan memanfaatkan sensor akselerometer untuk mengenali pola langkah, memiliki kelebihan dalam hal ketidaktergantungannya pada infrastruktur tertentu. Namun, variasi pola berjalan pada setiap individu akan menyulitkan sistem ini untuk mendeteksi perpindahan. Hal ini merupakan sebuah pendorong bagi penulis untuk mengembangkan sebuah sistem penentuan posisi berbasis sensor yang berlaku umum bagi seluruh individu. Dalam pengujian, diambil 15 sampel dengan jarak tempuh masing-masing 10m, 20m, dan 30m.

Eksperimen diawali dengan uji kehandalan sensor akselerometer. Pada penelitian ini, sebuah ponsel dengan sampling rate 63.79 Hz dan standar deviasi 1.293 digunakan untuk merekam akselerasi. Kemudian, pada data akselerasi dilakukan deteksi langkah dan estimasi perpindahan menggunakan beberapa metode. Deteksi langkah mampu menghasilkan rata-rata kesalahan sebesar 2.925%, sedangkan estimasi perpindahan yang paling akurat adalah dengan menggunakan metode Scarlet yang mampu menghasilkan kesalahan estimasi rata-rata 1.39m pada semua jarak tempuh.

Kata Kunci— *pedestrian dead reckoning*, teknik penentuan posisi berbasis sensor, ponsel cerdas.

I. PENDAHULUAN

Penentuan posisi merupakan penentuan letak obyek yang diamati pada suatu bidang pengamatan. Penentuan posisi sesungguhnya dapat dilakukan dengan bantuan infrastruktur

tertentu, misalnya pemanfaatan satelit GPS (*Global Positioning System*) atau pemanfaatan BTS (*Base Transceiver Station*) jaringan telepon seluler. Namun, pada implementasinya masih ditemukan adanya keterbatasan, misalnya pemanfaatan GPS yang sangat bergantung pada sinyal satelit sehingga menyebabkan tidak berfungsinya GPS di dalam ruangan. Sebaliknya, pemanfaatan BTS jaringan telepon seluler dapat digunakan untuk menentukan posisi di dalam ruangan, namun tingkat akurasi yang dihasilkan sangat kecil yakni sekitar 100m hingga 35km relatif terhadap BTS [1]. Tentu saja hal ini menyebabkan keduanya tidak memungkinkan untuk digunakan pada penentuan posisi di dalam ruangan.

Penentuan posisi dalam ruangan menjadi penting bila ditinjau dari aspek kebutuhan pengguna untuk mengetahui posisinya dalam sebuah gedung, misalnya seorang pemadam kebakaran yang perlu mengetahui posisinya dalam sebuah gedung saat melakukan upaya pemadaman. Salah satu alternatif penentuan posisi dalam ruangan adalah dengan menggunakan teknik *Pedestrian Dead Reckoning* (PDR). Teknik PDR menentukan posisi pejalan kaki dengan cara menambahkan perpindahan yang terjadi terhadap posisi awal yang telah diketahui. Perpindahan seorang pejalan kaki direpresentasikan dengan langkah kaki, sehingga pengenalan langkah dan estimasi panjang langkah menjadi penting untuk mengetahui besarnya perpindahan yang terjadi. Deteksi langkah dan estimasi panjang langkah dapat dilakukan dengan bantuan sensor akselerometer. Sensor akselerometer dapat memberikan ukuran akselerasi pergerakan penggunanya dalam tiga arah (sumbu x, y, dan z) yang dapat diproses lebih lanjut untuk mengenali pola langkah penggunanya.

Diadopsinya sensor akselerometer pada kebanyakan ponsel cerdas semakin mendukung pemanfaatan PDR untuk menentukan posisi pejalan kaki. Hal ini dikarenakan ponsel cerdas umumnya memiliki bentuk fisik yang kecil dan ringan sehingga mudah dibawa kemana-mana. Selain itu, sensor yang tertanam pada ponsel cerdas berharga relatif lebih murah bila dibandingkan dengan modul sensor khusus. Pada penelitian ini, data pengujian didapatkan melalui penggunaan ponsel Samsung Galaxy SL dengan program sederhana untuk merekam akselerasi.

Struktur makalah ini adalah sebagai berikut: Bagian II mendeskripsikan dasar *Pedestrian Dead Reckoning*, lalu diikuti dengan skenario pengujian pada Bagian III dan hasil pengujian pada Bagian IV. Terakhir, diambil kesimpulan pada Bagian V.

II. PEDESTRIAN DEAD RECKONING

Pedestrian Dead Reckoning (PDR) merupakan suatu teknik penentuan posisi pejalan kaki dengan cara menambahkan perpindahan yang terjadi terhadap posisi awal yang telah diketahui. Perpindahan yang terjadi diestimasi dengan bantuan sensor akselerometer yang melekat pada pengguna. Beberapa

^{1,2} Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi

Informasi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Jln. Grafika 2 Yogyakarta 55284 INDONESIA (telp: 0274-547506; fax: 0274-547506)

penelitian terkait mengenai PDR telah dilakukan pada penelitian sebelumnya, misalnya dengan menggunakan modul sensor khusus yang diletakkan pada helm [2] maupun diletakkan pada kaki [3],[4]. Selain itu, penggunaan ponsel sebagai sensor navigasi juga pernah dilakukan dengan meletakkannya di kantong celana [5]-[7].

Pada dasarnya, implementasi teknik PDR mencakup beberapa operasi dasar, yakni deteksi orientasi, filtrasi, deteksi langkah, dan estimasi jarak perpindahan [5],[6]. Namun, makalah ini merupakan sebuah subsistem dari sistem PDR utuh yang belum melibatkan proses proyeksi orientasi.

A. Proyeksi Orientasi

Hasil pembacaan sensor accelerometer pada ponsel cerdas sesungguhnya mengindikasikan besar akselerasi 3-sumbu yang relatif terhadap ponsel cerdas itu sendiri. Oleh karenanya untuk mengetahui arah akselerasi diperlukan proyeksi orientasi yang akan memproyeksikan pengukuran akselerasi tersebut ke sistem koordinat dunia / *world coordinate system* (*East-North-Up* terhadap bumi) dengan menggunakan pengukuran sensor orientasi magnetik sebagai pedomannya.

B. Filtrasi

Proses filtrasi merupakan proses penyaringan terhadap data mentah (*raw data*) yang didapat dari hasil pengukuran sensor untuk mendapat sinyal keluaran yang diinginkan: terbebas dari gravitasi dan derau. Gravitasi merupakan komponen sinyal berfrekuensi rendah yang menyebabkan akselerasi bergeser ke atas pada sumbu y, berkisar 9.8m/s^2 . Untuk menghilangkan pengaruh gravitasi, dilakukan proses *High-pass filtering* seperti pada persamaan (1).

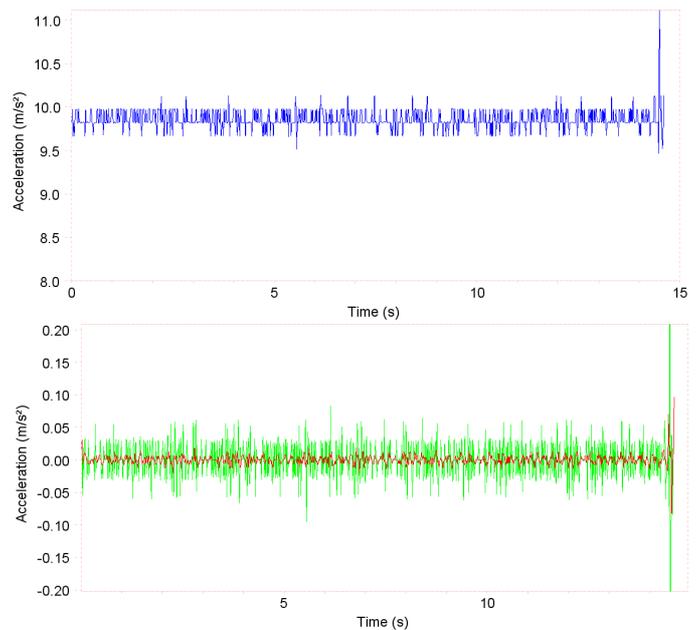
$$\begin{aligned} acc_HPavg &= acc_new * (1 - \alpha) + acc_HPavg * \alpha; \\ acc_HPfiltered &= acc_new - acc_HPavg; \end{aligned} \quad (1)$$

Sinyal keluaran dari proses *high-pass filtering* kemudian dilakukan filtrasi *low-pass filtering* terhadap sinyal berfrekuensi tinggi untuk meminimalisir derau pada sinyal. *Low-pass filtering* ini dilakukan dengan teknik *moving average filter* seperti pada persamaan (2).

$$y[i] = \frac{1}{M} \cdot \sum_{j=-(M-1)/2}^{(M-1)/2} x(i+j) \quad (2)$$

dengan $y[]$ merupakan hasil keluaran proses filtrasi dan $x[]$ merupakan masukan proses filtrasi. M adalah jumlah titik sampel yang digunakan dalam merata-ratakan. Pada makalah ini, nilai M ditentukan sebesar 5, yang didapat melalui observasi sinyal.

Hasil keluaran kedua proses filtrasi tersebut adalah sinyal yang terbebas dari gravitasi dan derau yang telah terminimalisir seperti pada Gbr. 1. Garis biru merepresentasikan sinyal yang belum terfiltrasi, garis hijau merepresentasikan hasil keluaran proses *high-pass filtering*, dan keluaran proses *low-pass filtering* direpresentasikan dengan garis merah. Hasil keluaran proses terakhir inilah yang diproses lebih lanjut untuk mendapatkan informasi terjadinya langkah.



Gbr. 1 Contoh akselerasi yang terbaca ketika ponsel diletakkan diatas meja datar tanpa digerakkan selama 14 detik. Grafik atas menunjukkan resultan akselerasi 3-sumbu. Grafik bawah menunjukkan hasil keluaran *HP-filtering* (garis hijau) dan *LP-filtering* (garis merah).

C. Deteksi Langkah

Deteksi langkah merupakan suatu proses yang sangat diperlukan untuk mengetahui perpindahan yang dilakukan seorang pejalan kaki. Untuk mendeteksi langkah, dapat digunakan data akselerasi yang didapat dari sensor accelerometer. Beberapa metode yang dapat digunakan untuk menganalisis data akselerasi tersebut misalnya deteksi puncak (*peak detection*) seperti yang digunakan pada [4]-[6] dan deteksi perlintasan titik nol (*zero crossing*) [2],[7],[8]

Metode *zero-crossing* menghitung jumlah sinyal yang berpotongan terhadap titik $y=0$ untuk mendeteksi terjadinya langkah. Peneliti umumnya menggunakan batasan interval waktu untuk mencegah kesalahan dalam pendeteksian. Metode ini dianggap kurang cocok digunakan dalam mendeteksi langkah pengguna secara umum, karena interval waktu antara terjadinya langkah cukup bervariasi, sehingga menyulitkan penetapan batasan interval waktu.

Metode lain adalah dengan mendeteksi titik puncak dari akselerasi yang terbaca. Menurut [4], titik-titik puncak dari akselerasi vertikal berkaitan dengan terjadinya langkah, karena akselerasi vertikal terbentuk akibat imbas kaki yang menapak lantai. Pada makalah ini, juga digunakan metode deteksi titik puncak.

Deteksi langkah dilakukan dengan penetapan ambang batas dinamik, dengan skema *relative-threshold*, seperti pada [5]. Skema ini mendeteksi langkah dengan mencari titik puncak maksimum (sebagai maksima) dan titik puncak minimum (sebagai minima) yang terdeteksi berurutan pada interval waktu tertentu. Maksima merupakan titik puncak maksimum yang melebihi batas atas, sedangkan minima merupakan titik puncak minimum yang kurang dari batas bawah. Batas atas ditentukan dengan menjumlahkan minima terakhir dan

Δ threshold, sedangkan batas bawah ditentukan dengan mengurangi maksima terakhir terhadap Δ threshold. Δ threshold merupakan nilai konstanta yang ditentukan sama untuk semua sampel sebesar 1.8. Untuk mengurangi kemungkinan kesalahan deteksi langkah, ditentukan interval waktu terjadinya maksima dan minima adalah antara 120ms-400ms.

D. Estimasi Jarak Perpindahan

Secara umum, terdapat dua metode untuk mengestimasi perpindahan, yakni metode statik dan metode dinamik. Metode statik mengasumsikan bahwa setiap langkah yang dilakukan seseorang memiliki panjang yang sama, yang dapat ditentukan melalui persamaan (3):

$$step_size = height * k \tag{3}$$

dengan k merupakan konstanta, sebesar 0.415 untuk pria dan 0.413 untuk wanita.

Sedangkan metode dinamik melakukan estimasi panjang langkah dengan memproses hasil pembacaan sinyal akselerasi dengan menggunakan pendekatan-pendekatan tertentu, misalnya:

1) *Pendekatan Weinberg*, memiliki prinsip bahwa pantulan vertikal yang terjadi ketika seseorang melangkah memiliki hubungan langsung terhadap panjang langkah [9]. Pantulan vertikal dihitung berdasar pada selisih akselerasi maksimum dan minimum. Pendekatan Weinberg dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (4):

$$step_size = k \cdot \sqrt[4]{a_{max} - a_{min}} \tag{4}$$

2) *Pendekatan Scarlett*, mencoba memecahkan permasalahan akurasi pada estimasi perpindahan yang disebabkan adanya variasi pantulan langkah (*spring*) yang berbeda-beda pada masing-masing orang [10]. Pendekatan ini memberi solusi sederhana yang menunjukkan adanya hubungan antara nilai akselerasi maksimum, akselerasi minimum dan rata-rata akselerasi terhadap panjang langkah seperti pada persamaan (5):

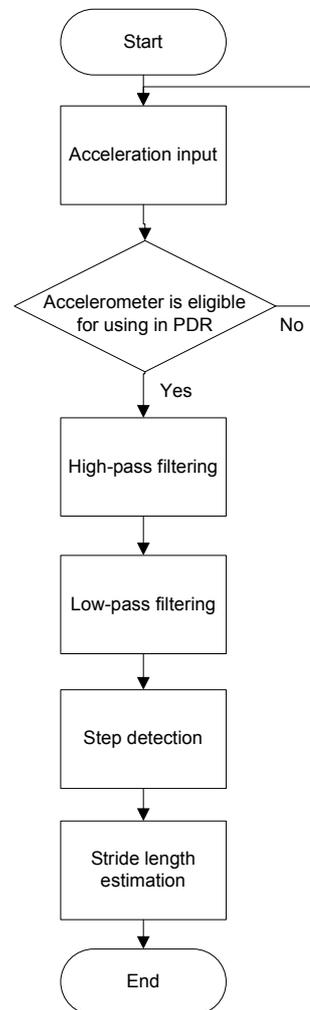
$$step_size = k \cdot \frac{\sum_{k=1}^N |a_k| - a_{min}}{a_{max} - a_{min}} \tag{5}$$

3) *Pendekatan Kim*, merepresentasikan adanya hubungan antara rata-rata nilai akselerasi dalam sebuah siklus langkah kaki terhadap panjang langkah [3]. Pendekatan ini didapat dari proses eksperimen beberapa tes berjalan dengan sensor diletakkan pada pergelangan kaki. Pendekatan ini terlihat pada persamaan (6):

$$step_size = k \cdot \sqrt[3]{\frac{\sum_{k=1}^N |a_k|}{N}} \tag{6}$$

III. SKENARIO PENGUJIAN

Evaluasi kemampuan sistem dalam mendeteksi perpindahan pada seluruh sampel dilakukan dengan pengujian secara langsung tanpa melakukan proses kalibrasi. Sebanyak 15 sampel dipilih secara acak, terdiri dari 8 laki-laki dan 7 perempuan dengan usia rata-rata berkisar 20 tahun. Tinggi badan setiap sampel bervariasi dari 1.55m hingga 1.75m. Untuk setiap sampel, dilakukan tiga kali perekaman pola jalan dengan jarak tempuh yang telah diketahui: 10m, 20m, dan 30m. Pengujian dilakukan di lantai 3, gedung Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Universitas Gadjah Mada. Sensor yang digunakan adalah sensor akselerometer yang terintegrasi pada ponsel Samsung Galaxy SL I9003 yang menggunakan sistem informasi Android Gingerbread. Data akselerasi yang didapat diproses pada perangkat lunak Scilab dengan prosedur seperti diagram alir pada Gbr. 2. Dalam pengujian, ponsel diletakkan digenggaman tangan, seperti pada Gbr. 3, dan diasumsikan tidak ada halangan didepan pengguna.



Gbr. 2 Diagram alir sistem penentuan posisi



Gbr. 3 Skenario pengujian. Ponsel ditempatkan pada genggam tangan seperti penggunaan ponsel pada umumnya

IV. HASIL PENGUJIAN

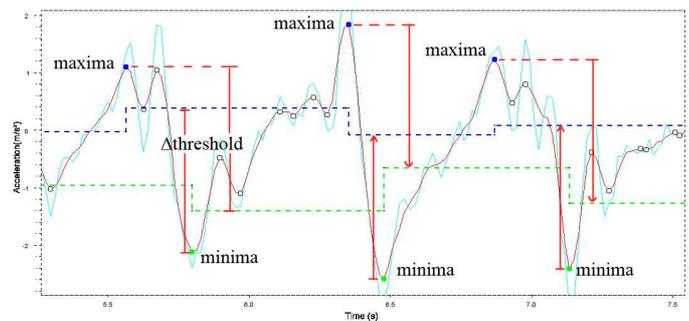
A. Kelayakan sensor ponsel

Kelayakan sensor yang terintegrasi pada ponsel perlu diuji terlebih dahulu untuk memastikan kehandalannya dalam mencuplik data. Kehandalan diuji dari rata-rata frekuensi cuplikan dan standar deviasinya. Frekuensi cuplikan menunjukkan seberapa cepat sensor mampu mencuplik data, sedangkan standar deviasi menunjukkan tingkat variasi cuplikan data terhadap nilai rata-ratanya.

Beberapa pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa sensor akselerometer yang digunakan memiliki frekuensi cuplikan rata-rata sebesar 63.78831 Hz. Hal ini mengindikasikan bahwa sensor ini memiliki frekuensi cuplikan yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan sensor pada Google Nexus One dan HTC Hero pada [5] yang hanya memiliki frekuensi cuplikan rata-rata kurang dari 25 Hz. Standar deviasi berkisar 1.293 menunjukkan bahwa variasi populasi data cukup dekat dengan nilai rata-ratanya.

B. Deteksi Langkah

Deteksi langkah dilakukan dengan mengimplementasikan skema *relative-threshold* yang telah disebutkan pada bagian 2. Gbr. 4 mengilustrasikan akselerasi tiga langkah valid yang diambil dari pola jalan seorang sampel. Titik biru merepresentasikan maksima, yang merupakan titik puncak maksimum yang melebihi batas atas. Titik hijau merepresentasikan minima, yang merupakan titik puncak minimum yang nilainya lebih kecil dari batas bawah. Batas atas ditunjukkan dengan garis putus biru, sedangkan batas bawah ditunjukkan dengan garis putus hijau. Sebuah langkah terdeteksi bila maksima dan minima terdeteksi berurutan pada interval waktu tertentu.

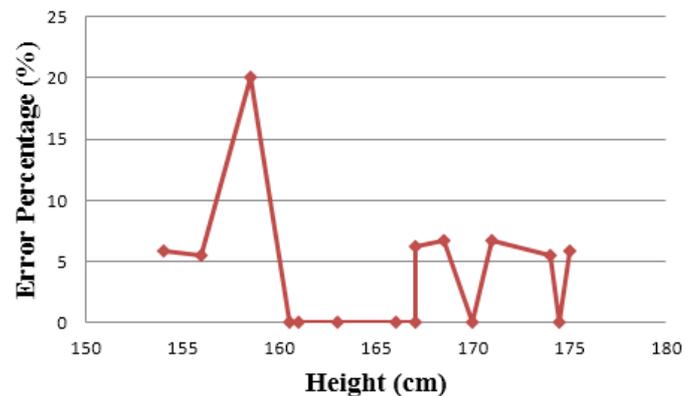


Gbr. 4 Tiga langkah kaki ketika seorang sampel berjalan terdeteksi dengan skema *relative-threshold*

Skema *relative-threshold* ini diimplementasikan pada seluruh sampel tanpa proses kalibrasi yang bertujuan mencocokkan pola jalan setiap individu. Untuk membandingkan tingkat kesalahan deteksi langkah dari jarak yang berbeda-beda, digunakan persentase kesalahan yang didapat dari selisih langkah terdeteksi terhadap jumlah langkah sebenarnya.

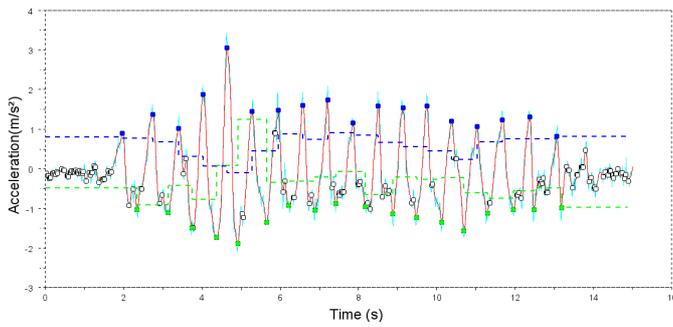
1) Perjalanan sepanjang 10 meter

Pada jalur tempuh sepanjang 10 meter, setiap sampel bejalan dengan jumlah langkah yang berbeda-beda antara 15 hingga 20 langkah. Rata-rata jumlah langkah dari setiap sampel adalah 17 langkah. Persentase kesalahan deteksi langkah pada jalur ini adalah 4.16%. Tingkat kesalahan seluruh sampel terlihat pada Gbr. 5.

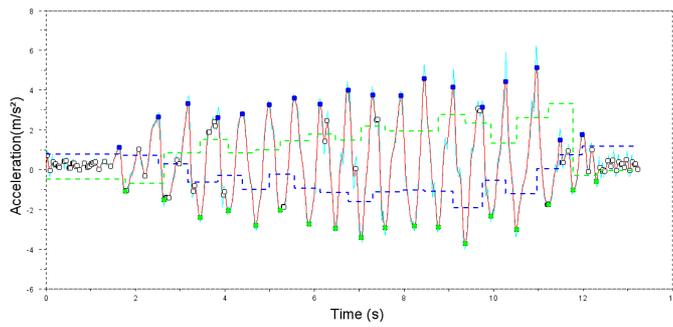


Gbr. 5 Persentase tingkat kesalahan dari deteksi langkah pada perjalanan sepanjang 10 meter

Gbr. 5 menunjukkan terdapat tujuh sampel yang seluruh langkahnya dapat dideteksi tanpa kesalahan. Selebihnya, hanya terdapat satu sampel yang terdeteksi dengan tingkat kesalahan ekstrim sebesar 20%. Gambar 6 dan Gambar 7 menunjukkan akselerasi pola jalan dua individu berbeda yang terrekam ketika mereka berjalan pada jalur lurus sepanjang 10m.



Gbr. 6 Akselerasi pola berjalan sampel nomor 14 pada jarak 10 meter. Pola ini merupakan contoh dimana seluruh langkah dapat terdeteksi dengan tepat

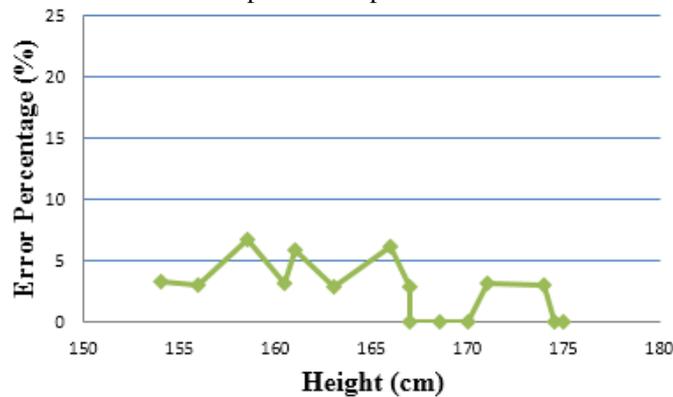


Gbr. 7 Akselerasi pola berjalan sampel nomor 6 pada jarak 10 meter.

Gbr. 6 menunjukkan pola jalan untuk sampel nomor 14 yang memerlukan 18 langkah untuk berjalan sepanjang 10 meter. Seluruh langkahnya dapat terdeteksi oleh sistem tanpa kesalahan. Gbr. 7 menunjukkan pola jalan sampel nomor 6 yang terdeteksi dengan tingkat kesalahan sebesar 20%. Sampel ini adalah seorang wanita dengan tinggi badan 158.5 cm yang memerlukan 15 langkah untuk menempuh perjalanan 10m, namun terdeteksi hingga 18 langkah. Deteksi jumlah langkah yang berlebih disebabkan karena $\Delta threshold$ terlalu kecil untuk sampel ini, sehingga tiga pola jalan yang menyerupai pola langkah terdeteksi sebagai langkah yang valid.

2) *Perjalanan sepanjang 20 meter*

Pengujian pada jarak tempuh 20 meter, seluruh sampel memerlukan langkah berkisar 28 hingga 36 langkah. Rata-rata jumlah langkah yang diperlukan adalah 32 langkah. Tingkat kesalahan seluruh sampel terlihat pada Gbr. 8.

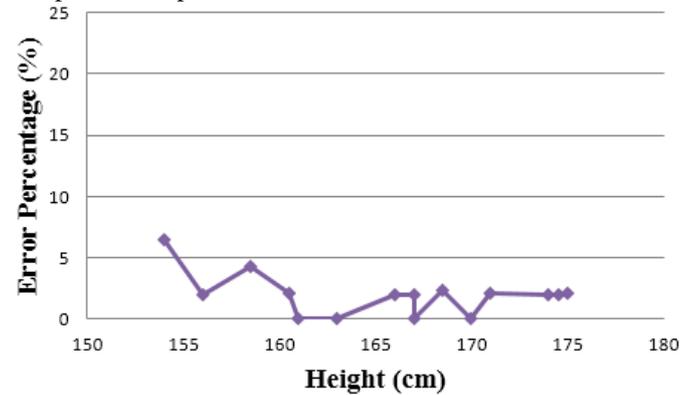


Gbr. 8 Persentase tingkat kesalahan dari deteksi langkah pada perjalanan sepanjang 20 meter

Dari Gbr. 8 terlihat bahwa hanya ada tiga sampel yang memiliki persentase kesalahan melebihi 5%. Rata-rata kesalahan deteksi langkah pada jalur 20 meter adalah 2.65% dengan standar deviasi 2.31. Pada jalur ini tidak ada kesalahan deteksi yang mencolok.

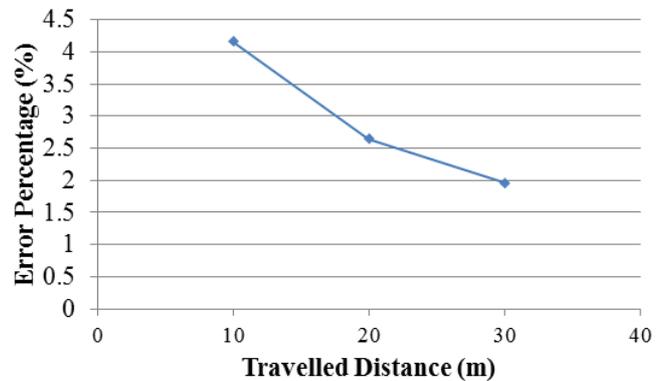
3) *Perjalanan sepanjang 30 meter*

Pada pengujian pada jarak 30 meter, seluruh sampel membutuhkan jumlah langkah berkisar 43 hingga 53 langkah. Rata-rata jumlah langkah yang diperlukan adalah 47 langkah dengan standar deviasi 2.77. Tingkat kesalahan seluruh sampel terlihat pada Gbr. 9.



Gbr. 9 Persentase tingkat kesalahan dari deteksi langkah pada perjalanan sepanjang 30 meter

Gbr. 9 menunjukkan hanya terdapat satu sampel yang langkahnya terdeteksi dengan persentase kesalahan diatas 5%. Rata-rata kesalahan deteksi langkah pada jarak 30 meter adalah sebesar 1.97% dengan standar deviasi 1.725. Kesalahan deteksi langkah secara keseluruhan terlihat pada Gbr. 10.



Gbr. 10 Persentase tingkat kesalahan deteksi langkah pada perjalanan sepanjang 10m, 20m, dan 30m.

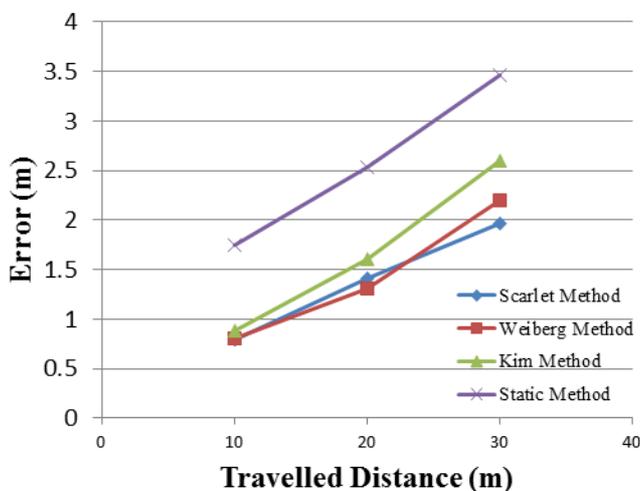
Dari Gbr. 10, terlihat bahwa semakin jauh jarak tempuh semakin kecil kesalahan deteksi langkah. Hasil ini menunjukkan bahwa algoritma deteksi langkah dengan metode *peak detection* dapat mendeteksi pola jalan yang beraturan. Pola jalan yang tidak beraturan (misalnya akselerasi awal saat pengguna mulai berjalan dan akselerasi di akhir perjalanan) lebih sulit dideteksi. Akibatnya semakin panjang

jarak tempuh, tingkat kesalahan semakin kecil karena dapat lebih ternormalisir.

Dari seluruh jarak tempuh, kesalahan deteksi langkah rata-rata hanya sebesar 2.925%. Hal ini menunjukkan metode yang digunakan dapat mendeteksi langkah tanpa perlu melakukan proses kalibrasi.

C. Estimasi Perpindahan

Seperti yang telah dijelaskan pada bagian 2, perpindahan total dapat dihitung dengan mengestimasi panjang langkah dari setiap langkah yang terdeteksi. Pada penelitian ini, digunakan sebuah metode statik dan tiga buah metode dinamik seperti pada persamaan (3), (4), (5), dan (6) untuk mengestimasi panjang setiap langkah. Perbandingan perpindahan total dari keempat metode ini ditunjukkan pada Gbr. 11.



Gbr. 11 Tingkat kesalahan estimasi perpindahan pada pada perjalanan sepanjang 10m, 20m, dan 30m.

Gbr. 11 menunjukkan bahwa keseluruhan metode menghasilkan kesalahan estimasi perpindahan yang cenderung meningkat seiring bertambahnya jarak tempuh. Terlihat pula metode dinamik, yang direpresentasikan metode Scarlet, Weinberg, dan Kim, menghasilkan kesalahan estimasi perpindahan yang lebih kecil daripada metode Statik. Tabel 1 menunjukkan statistik kesalahan estimasi perpindahan dari semua metode.

TABEL I
KESALAHAN ESTIMASI PERPINDAHAN

Metode	Kesalahan Estimasi Perpindahan	
	Rata-rata (meter)	Standar deviasi
Statik	2.5815	1.5859
Kim	1.6917	1.2858
Weinberg	1.4357	1.1896
Scarlet	1.3913	1.1675

Tabel I menunjukkan bahwa metode Scarlet mampu mengestimasi perpindahan lebih baik daripada metode lainnya. Hal ini terlihat dari kesalahan estimasi perpindahan yang terkecil dan standar deviasi yang terkecil.

V. KESIMPULAN

Makalah ini memaparkan sistem penentuan posisi yang dapat digunakan secara umum pada semua sampel tanpa proses kalibrasi. Sistem yang dikembangkan berfokus pada estimasi perpindahan, dengan memanfaatkan sensor akselerometer yang tertanam pada ponsel cerdas.

Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa deteksi langkah terhadap pola jalan yang berbeda-beda tanpa melakukan kalibrasi menghasilkan persentase kesalahan rata-rata 2.925%. Hal ini menunjukkan bahwa metode yang digunakan cukup handal dalam mendeteksi langkah secara umum pada semua sampel. Setiap langkah yang terdeteksi, dilakukan estimasi perpindahan dengan metode statik dan metode dinamik. Tiga metode dinamik mampu mendeteksi lebih akurat bila dibanding metode statik. Dari tiga metode dinamik tersebut, metode Scarlet-lah yang paling mendekati jarak sebenarnya.

REFERENSI

- [1] Dulya, B., "GSM-Positioning - Outdoorpositioning: Technologies, Characteristics, and Limitations," April 2012. [Online]. Available: <http://www.ks.uni-freiburg.de/>
- [2] S. Beauregard and H. Haas, "Pedestrian Dead Reckoning : A Basis for Personal Positioning," in *Proceedings of the 3rd Workshop on Positioning, Navigation and Communication*, pp. 27-35, 2006.
- [3] A. R. Jimenez, F. Seco, C. Prieto, and J. Guevara, "A comparison of Pedestrian Dead-Reckoning algorithms using a low-cost MEMS IMU," in *6th IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing*, 2009.
- [4] J. W. Kim, H. J. Jang, D-H. Hwang, and C. Park, "A Step, Stride and Heading Determination for the Pedestrian Navigation System," *Journal of Global Positioning Systems*, pp. 273-279, 2004.
- [5] Y. Jin, H-S. Toh, W-S. Soh, and W-C. Wong, "A Robust Dead-Reckoning Pedestrian Tracking System with Low Cost Sensors," in *IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications*, pp. 222-230, 2011.
- [6] I. Bylemans, M. Weyn, and M. Klepal, "Mobile Phone-based Displacement Estimation for Opportunistic Localisation Systems," in *Third International Conference on Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies*, 2009.
- [7] S. Ayub, X. Zhou, S. Honary, A. Bahraminasab, and B. Honary, "Indoor Pedestrian Displacement Estimation Using Smart phone Inertial Sensors," *Int. J. Innovative Computing and Applications.*, vol. 4, pp. 35-42, 2012.
- [8] S. H. Shin, C. G. Park, J. W. Kim, H. S. Hong, J. M. Lee, "Adaptive Step Length Estimation Algorithm Using Low-Cost MEMS Inertial Sensors," in *IEEE Sensors Applications Symposium*, 2007.
- [9] H. Weinberg, "Using the ADXL202 in Pedometer and Personal Navigation Applications," *Analog Devices AN-602 Application Note*, 2002.
- [10] J. Scarlet, "Enhancing the Performance of Pedometers Using a Single Accelerometer," *Analog Devices AN-900 Application Note*, 2005.