

Analisis Metode Pendeteksian Langkah Kaki pada *Pedestrian Dead Reckoning*

Surya Wisnurahutama¹, Iwan Setiawan², Budi Setiyono²

1. Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang

2. Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang

Abstract

Pedestrian Dead Reckoning merupakan salah satu bagian dari sistem navigasi personal yang diterapkan untuk pejalan kaki. Posisi ditentukan oleh posisi sebelumnya, jarak yang ditempuh dan arah melangkah. Deteksi langkah merupakan salah satu faktor penting pada sistem navigasi PDR. Jarak yang ditempuh dapat ditentukan dengan mengetahui jumlah langkah ketika berjalan dikalikan dengan jarak untuk satu kali melangkah yang dianggap konstan. Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk mendeteksi langkah manusia dan dalam penelitian ini akan mengulas tentang metode pendeteksian langkah kaki manusia. Pendeteksian langkah dilakukan dengan melihat nilai sensor akselerometer ketika berjalan. Sensor akselerometer yang digunakan adalah sensor 3 axis HITACHI H48C yang dipasang pada sepatu. Nilai percepatan ketiga axis yang terbaca oleh sensor ketika berjalan kemudian dikirim ke netbook. Nilai percepatan ketiga axis tersebut diolah sehingga didapatkan sinyal magnitude, sinyal energi, sinyal product, dan sinyal sum. Pendeteksian langkah kaki dilakukan dengan menganalisis sinyal yang didapatkan menggunakan pendekatan nilai threshold dan nilai variansi. Berdasarkan pengujian dan analisis yang dilakukan dapat diketahui bahwa fase stance merupakan fase yang paling mudah dideteksi karena pada fase stance sinyal akan stabil pada rentang nilai tertentu. Penggunaan nilai variansi pada pendeteksian langkah berguna untuk membuat sinyal pada fase stance akan berada pada nilai nol. Pendeteksian menggunakan nilai variansi memiliki tingkat keberhasilan lebih besar dibandingkan dengan sinyal aslinya.

Keyword : stance, swing, magnitude, threshold, variansi.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pedestrian Dead Reckoning (PDR) merupakan salah satu sistem navigasi personal yang diterapkan untuk para pejalan kaki. PDR mulai dikembangkan sebagai solusi dari kelemahan pada sistem navigasi GPS yang terjadi bila pengguna berada di dalam ruangan, pada daerah perkotaan, dan hutan dengan pohon-pohon yang rindang. GPS akan mengalami gangguan dalam penerimaan sinyal pada daerah-daerah tersebut. Sistem navigasi PDR diharapkan sangat berguna bagi petugas pemadam kebakaran dalam proses penyelamatan dan evakuasi pada suatu gedung yang terbakar serta oleh para tentara yang sedang melaksanakan operasi di daerah hutan di mana sinyal GPS mengalami gangguan.

Sistem navigasi PDR menggunakan prinsip *Dead Reckoning*. Pada sistem *Dead Reckoning* penentuan posisi sekarang ditentukan berdasarkan posisi sebelumnya dan perubahan posisi yang terjadi. Sistem navigasi PDR memiliki tiga faktor utama. Ketiga faktor tersebut adalah deteksi langkah, estimasi panjang langkah dan penentuan arah melangkah.

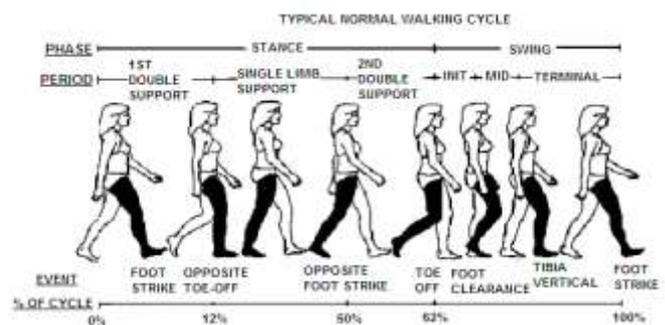
Penelitian-penelitian tentang sistem navigasi PDR sudah banyak dilakukan di luar negeri. Penelitian-penelitian sistem PDR sebelumnya biasanya menggunakan sensor IMU (*Inertial Measurement Unit*) yang terdiri dari sensor akselerometer dan sensor gyro. Selain itu, ada juga yang memakai sensor magnetometer dan fluxmeter yang digunakan untuk menentukan arah melangkah. Penempatan posisi sensor pada penelitian-penelitian sebelumnya juga berbeda-beda, ada yang diletakkan di kepala, diletakkan di pundak, pinggul, dan ada juga yang dipasangkan di kaki. Metode yang digunakan untuk pendeteksian langkah juga berbeda-beda antara satu penelitian dengan penelitian yang lain. Pada penelitian ini

akan meneliti penggunaan metode yang digunakan untuk pendeteksian langkah pada *pedestrian dead reckoning* khususnya pada pendeteksian langkah dengan menggunakan sensor akselerometer yang diletakkan di kaki.

II. DASAR TEORI

2.1 Pendeteksian Langkah Manusia

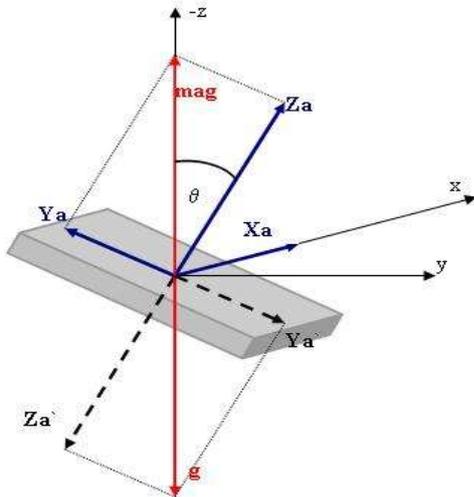
Dilihat dari cara manusia berjalan menunjukkan bahwa pola pergerakan kaki manusia selama berjalan memiliki siklus yang berulang-ulang, sehingga dengan menganalisis pola-pola ini pendeteksian langkah dapat dilakukan. Pola manusia saat melangkah pada dasarnya terdapat dua fase, fase stance dan fase swing. Fase stance adalah keadaan saat salah satu kaki diam menapak di tanah. Fase swing adalah keadaan ketika salah satu kaki terayun. Pada saat salah satu kaki berada pada fase stance kaki yang lain akan berada pada fase swing. Kwakkel secara lebih rinci membagi fase dalam satu siklus langkah manusia menjadi fase heel lift, fase toe off, fase heel strike, dan fase flat foot. Gambar 2.1 memperlihatkan pola manusia saat berjalan.



Gambar 1 Pola manusia berjalan menurut Stirling.

Fase langkah manusia dideteksi dengan melihat nilai percepatan kaki pada setiap fase saat berjalan. Sensor yang digunakan untuk mengukur percepatan adalah akselerometer yang mengukur nilai percepatan pada sumbu x, y, dan z. Dari ketiga nilai sumbu akselerometer dapat dicari nilai *magnitude* (jumlah vektor) percepatannya, dan dirumuskan sebagai berikut:

$$magnitude = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \quad (1)$$



Gambar 2 vektor percepatan pada saat *stance*.

Gambar 2 menunjukkan akselerometer pada fase *stance*. Pada fase *stance* percepatan yang terukur oleh akselerometer hanya percepatan gravitasi yang besarnya $9,8 \text{ m/s}^2$ ($1g$). Percepatan gravitasi yang dialami ini sama dengan *magnitude* dari nilai percepatan pada setiap sumbu akselerometer. Pada fase *swing* akselerometer akan terpengaruh oleh percepatan gravitasi dan juga percepatan kaki.

Selain nilai *magnitude*, nilai percepatan ketiga sumbu dapat diolah menjadi sinyal energi, sinyal *product*, dan sinyal *sum*. Pada penelitian ini pendeteksian langkah kaki dilakukan dengan menganalisis keempat sinyal ini.

$$energy = X_1^2 + Y_1^2 + Z_1^2 \quad (2)$$

$$product = X_1 Y_1 Z_1 \quad (3)$$

$$sum = X_1 + Y_1 + Z_1 \quad (4)$$

a. Analisis Nilai Ambang (Threshold)

Fase *stance* merupakan fase yang sangat mudah dideteksi. Misal ketika nilai sinyal *magnitude* sama dengan $1g$ maka dikatakan pada saat itu kaki dalam fase *stance*. Akan tetapi nilai *magnitude* pada fase *stance* tidak selalu tepat $1g$. Berdasarkan karakteristik akselerometer ini cara termudah mendeteksi fase *stance* adalah dengan menggunakan analisis nilai ambang. Sehingga fase *stance* dideteksi bila ada lima sampel data *magnitude* yang memiliki nilai mendekati $1g$.

b. Analisis Variansi Threshold

Analisis menggunakan variansi memiliki digunakan untuk membantu pendeteksian pada fase *stance*. Nilai variansi, S_n^2 dari n sampel dihitung dengan rumus :

$$s_n^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{i=n} (x_i + \bar{x})^2 \quad (5)$$

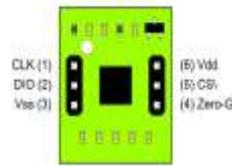
Dengan \bar{x} adalah nilai rata-rata dari n sampel data.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} x_i \quad (6)$$

Analisis variansi membuat pendeteksian lebih mudah karena pada fase *stance* nilai variansi akan mendekati nol. Analisis variansi juga memperkecil pengaruh sinyal bias yang dapat menyebabkan *error* pendeteksian.

2.1 Akselerometer 3 Hitachi H48C

H48C adalah modul sensor akselerometer terintegrasi yang dapat merasakan gaya gravitasi dalam tiga buah sumbu (X, Y, dan Z). Modul H48C menggunakan teknologi MEMS (*Micro Electro-Mechanical System*) yang memungkinkannya untuk digunakan secara langsung tanpa perlu dikalibrasi. Pada modul ini terdapat regulator tegangan untuk mensuplai tegangan 3.3 volt untuk *chip* H48C, 12-bit ADC jenis MCP3204 untuk membaca tegangan keluaran dari *chip* H48C dan pengkodisi sinyal analog. Gambar 3 menampilkan konfigurasi *pin* H48C.



Keterangan :

- (1) CLK Synchronous clock input
- (2) DIO Bi-directional data to/from host
- (3) Vss Power supply ground (0v)
- (4) Zero-G "Free-fall" output; active-high
- (5) CS\ Chip select input; active-low
- (6) Vdd +5vdc

Gambar 3 Konfigurasi *pin* modul H48C.

Nilai keluaran dari modul Hitachi H48C adalah dalam bentuk g , ($1g = 9,81 \text{ m/s}^2$). Nilai g dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$g = ((axis - Vref) / 4095) \times (3,3 / 0,3663) \quad (7)$$

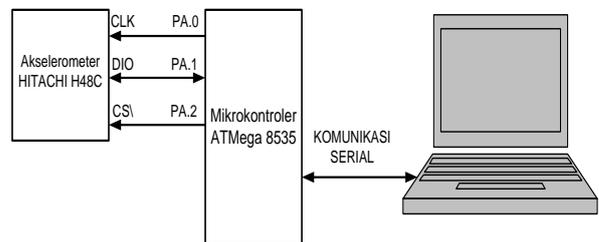
Axis dan *Vref* didapatkan dari pembacaan ADC MCP3204, 4095 merupakan nilai maksimum dari 12 bit ADC, 3,3 adalah tegangan suplai H48C, dan 0,3663 adalah tegangan keluaran senilai $1g$ saat diberikan tegangan operasi sebesar $3,3V$. Persamaan 7 dapat disederhanakan menjadi:

$$g = (axis - Vref) \times 0,0022$$

III. PERANCANGAN ALAT

3.1 Perancangan Perangkat Keras

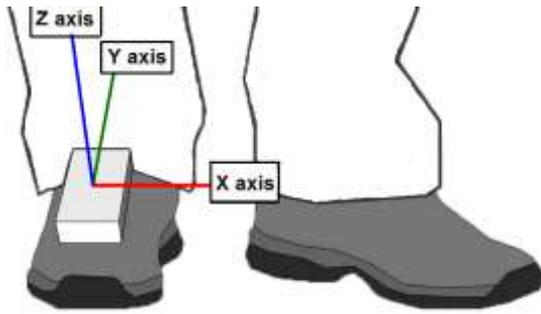
Secara sederhana perancangan sistem pendeteksi langkah ini dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Diagram blok perangkat keras

Perancangan sistem ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Sensor akselerometer 3 sumbu H48C digunakan untuk membaca percepatan kaki saat berjalan.
2. Sistem minimum mikrokontroler ATmega8535 digunakan untuk mengakses data pembacaan sensor H48C dan mengirimkan data secara serial ke *netbook*.
3. *Netbook* digunakan untuk mengolah data menggunakan program *Microsoft Visual C# 2008 Express Edition*. Gambar 5 menunjukkan pemasangan modul sensor. Sensor diletakkan pada kaki kanan dengan cara diselipkan pada tali sepatu.

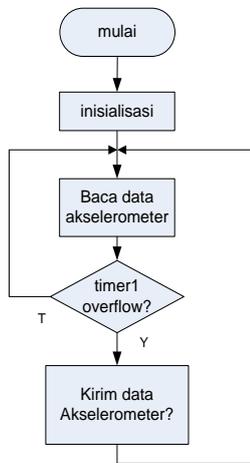


Gambar 5 Penempatan modul sensor pada kaki kanan.

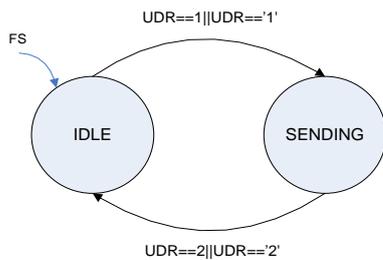
1.1 Perancangan Perangkat Lunak

1.1.1 Perancangan Perangkat Lunak pada Mikrokontroler

Gambar 6 menunjukkan diagram alir program pada mikrokontroler. Gambar 7 menunjukkan state chart pengiriman data.



Gambar 6 Diagram alir perancangan perangkat lunak pada mikrokontroler.



Gambar 7 Diagram state pengiriman data.

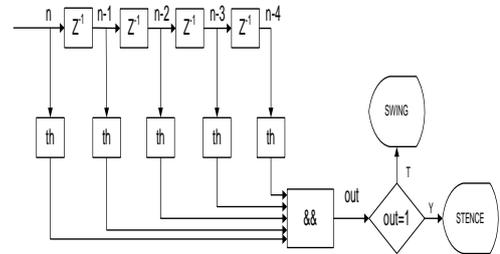
Mikrokontroler ATmega8535 digunakan untuk mengakses data sensor dan mengirim data percepatan ke netbook. Pengiriman data dilakukan setiap 10 ms. Oleh karena itu digunakan fasilitas *interupsi timer1 overflow*. Register yang digunakan untuk mengatur *timer* adalah register TCNT. Rumus untuk menentukan TCNT adalah sebagai berikut:

$$TCNT = (1 + 0xFFFF) - (waktu \times (XTAL \div prescaler)) \quad (9)$$

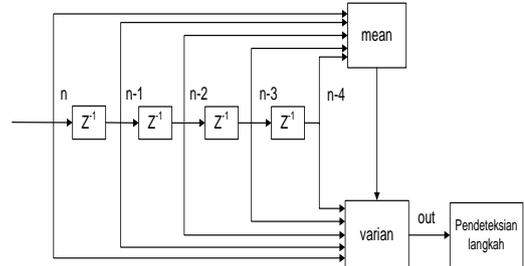
Waktu yang dimaksud adalah waktu pengiriman, XTAL adalah besar *clock* yang digunakan dan *prescaler* adalah nilai pembagi untuk mengatur besarnya *clock*. Hasil perhitungan didapat TCNT = 0xCA00 agar dapat melakukan pengiriman data setiap 10 ms.

1.1.2 Perancangan Program Pendeteksian dan Penghitung Langkah

Tampilan program pada netbook dibuat menggunakan program pada *netbook* dibuat menggunakan *Microsoft Visual C# 2008 Express Edition*. Program ini digunakan untuk melakukan pendeteksian dan menghitung langkah kaki. Data percepatan dari 3 sumbu yang diterima kemudian diolah sehingga didapatkan nilai *magnitude*, energi, *product* dan nilai *sum*. Kemudian dengan data nilai ini digunakan untuk mendeteksi langkah menggunakan analisis nilai ambang (*threshold*).

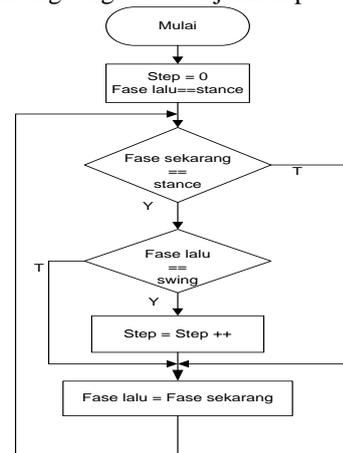


Gambar 8 Diagram pendeteksian fase melangkah menggunakan nilai ambang.



Gambar 9 Diagram blok perhitungan nilai variansi untuk pendeteksian langkah.

Gambar 8 merupakan diagram blok pendeteksian menggunakan analisis nilai ambang sedangkan Gambar 9 merupakan diagram blok untuk pendeteksian menggunakan analisis variansi. Perhitungan langkah kaki dilakukan setiap ada perubahan fase *swing* ke fase *stance*. Diagram alir program penghitung langkah ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10 Diagram alir program penghitungan langkah kaki.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian dan analisis dilakukan pada sinyal *magnitude*, sinyal energi, sinyal *sum* dan sinyal *product* yang didapat dari pengolahan data sumbu X, Y dan Z serta sumbu Y dan Z saja ketika berjalan lurus pada bidang datar. Pengujian dan

analisis juga dilakukan pada sinyal variansi dari masing-masing sinyal yang didapatkan.

1.2 Pengujian dan Analisis Data secara Offline

Analisis data secara *offline* bertujuan untuk mencari nilai ambang yang tepat untuk digunakan pada pendeteksian langkah secara *online*. Berdasarkan pada hasil pengamatan nilai ambang yang diperoleh untuk masing-masing sinyal adalah sebagai berikut:

a. Analisis Sinyal Magnitude

Fase *stance* dideteksi jika nilai sinyal *magnitude* di antara 0,95 g dan 1,15 g. Fase *swing* dideteksi jika nilai sinyal di luar nilai ambang.

b. Analisis Sinyal Energi

Fase *stance* dideteksi jika nilai sinyal energi di antara 1 g² dan 1,2 g². Fase *swing* dideteksi jika nilai sinyal di luar nilai ambang.

c. Analisis Sinyal Product

Berdasarkan pengamatan fase *stance* dideteksi jika nilai sinyal *product* YZ di antara 0,45 g³ dan 0,55 g³ sedangkan pada sinyal *product* XYZ di antara 0 g³ dan 0,1 g³. Pengujian *online* sinyal *product* XYZ tidak diujikan karena *error* pada pengujian *offline* didapatkan sebesar 63,3%.

d. Analisis Sinyal Sum

Fase *stance* dideteksi jika nilai sinyal *sum* XYZ di antara 1,4 g dan 1,65 g. Nilai ambang untuk sinyal *sum* YZ di antara 1,35 g dan 1,55 g.

e. Analisis Sinyal Variansi

Fase *stance* dideteksi jika nilai variansi kurang dari 0,005. Pendeteksian menggunakan sinyal variansi memiliki keberhasilan pendeteksian 100% pada semua sinyal variansi kecuali pada sinyal variansi *product* XYZ.

1.3 Pengujian dan Analisis Data secara Online

Nilai ambang yang diperoleh pada analisis secara *offline* kemudian dimasukkan pada program C# untuk digunakan pada pendeteksian secara *online*. Hasil pengujian secara *online* ditampilkan pada sub bab berikut.

1.3.1 Pengujian Online pada Sinyal Magnitude, Energi, Product dan Sum

Tabel 1 Hasil pengujian secara *online* menggunakan sinyal *magnitude* XYZ.

No	Jumlah langkah kaki		Error (%)
	sebenarnya	terdeteksi	
1	6	6	0
2	6	6	0
3	6	6	0
4	6	6	0
5	6	6	0
6	11	11	0
7	11	11	0
8	11	11	0
9	11	11	0
10	11	11	0
11	16	16	0
12	16	16	0
13	16	16	0

Tabel 2 Hasil pengujian secara *online* menggunakan sinyal *magnitude* YZ.

No	Jumlah langkah kaki		Error (%)
	sebenarnya	terdeteksi	
1	6	7	16,67
2	6	6	0
3	6	6	0
4	6	6	0
5	6	6	0
6	11	11	0
7	11	11	0
8	11	11	0
9	11	11	0
10	11	11	0
11	16	16	0
12	16	16	0
13	16	16	0

Tabel 3 Hasil pengujian secara *online* menggunakan sinyal energi XYZ.

No	Jumlah langkah kaki		Error (%)
	sebenarnya	terdeteksi	
1	6	6	0
2	6	6	0
3	6	6	0
4	6	6	0
5	6	6	0
6	11	11	0
7	11	11	0
8	11	11	0
9	11	10	9,1
10	11	11	0
11	16	16	0
12	16	16	0
13	16	16	0

Tabel 4 Hasil pengujian secara *online* menggunakan sinyal energi YZ.

No	Jumlah langkah kaki		Error (%)
	sebenarnya	terdeteksi	
1	6	6	0
2	6	6	0
3	6	6	0
4	6	6	0
5	6	6	0
6	11	11	0
7	11	11	0
8	11	11	0
9	11	11	0
10	11	11	0
11	16	16	0
12	16	16	0
13	16	16	0

Tabel 5 Hasil pengujian secara *online* menggunakan sinyal *product YZ*.

No	Jumlah langkah kaki		Error (%)
	sebenarnya	terdeteksi	
1	6	6	0
2	6	6	0
3	6	6	0
4	6	6	0
5	6	6	0
6	11	11	0
7	11	11	0
8	11	11	0
9	11	11	0
10	11	11	0
11	16	16	0
12	16	16	0
13	16	16	0

Tabel 6 Hasil pengujian secara *online* menggunakan sinyal *sum XYZ*.

No	Jumlah langkah kaki		Error (%)
	sebenarnya	terdeteksi	
1	6	6	0
2	6	6	0
3	6	6	0
4	6	5	16,7
5	6	6	0
6	11	10	9,1
7	11	11	0
8	11	11	0
9	11	11	0
10	11	11	0
11	16	15	6,25
12	16	18	12,5
13	16	16	0

Tabel 7 Hasil pengujian secara *online* menggunakan sinyal *sum YZ*.

No	Jumlah langkah kaki		Error (%)
	sebenarnya	terdeteksi	
1	6	6	0
2	6	6	0
3	6	6	0
4	6	6	0
5	6	6	0
6	11	11	0
7	11	11	0
8	11	11	0
9	11	11	0
10	11	11	0
11	16	16	0
12	16	16	0
13	16	17	6,25

Dari hasil pengujian pada sinyal *magnitude*, sinyal energi, sinyal *product* dan sinyal *sum* terlihat bahwa pendeteksian menggunakan sinyal *sum XYZ* memiliki tingkat keberhasilan yang paling rendah.

1.3.2 Pengujian Online Analisis Variansi

Tabel 8 Hasil pengujian *online* pada sinyal variansi *magnitude XYZ dan YZ*.

No	Jumlah langkah kaki	Jumlah langkah kaki yang terdeteksi	
		XYZ	YZ
1	6	6	6
2	6	7	6
3	6	6	6
4	6	6	6
5	6	6	6
6	11	11	11
7	11	11	11
8	11	11	11
9	11	11	11
10	11	11	11
11	16	16	16
12	16	17	16
13	16	16	16

Tabel 9 Hasil pengujian *online* pada sinyal variansi energi *XYZ dan YZ*.

No	Jumlah langkah kaki	Jumlah langkah kaki yang terdeteksi	
		XYZ	YZ
1	6	6	6
2	6	6	6
3	6	6	6
4	6	6	6
5	6	6	6
6	11	11	11
7	11	11	11
8	11	11	11
9	11	11	11
10	11	11	11
11	16	16	16
12	16	16	16
13	16	16	16

Tabel 10 Hasil pengujian *online* pada sinyal variansi *product YZ*.

No	Jumlah langkah kaki	Jumlah langkah kaki yang terdeteksi
2	6	6
3	6	6
4	6	6
5	6	6
6	11	11
7	11	11
8	11	11
9	11	11
10	11	11
11	16	16
12	16	16
13	16	16

Tabel 11 Hasil pengujian *online* pada sinyal variansi *sum XYZ* dan *YZ*.

No	Jumlah langkah kaki	Jumlah langkah kaki yang terdeteksi	
		XYZ	XY
1	6	6	6
2	6	6	6
3	6	6	6
4	6	6	6
5	6	6	6
6	11	11	11
7	11	11	11
8	11	11	11
9	11	11	11
10	11	11	11
11	16	16	16
12	16	16	16
13	16	16	16

Berdasarkan tabel di atas analisis menggunakan sinyal variansi memiliki potensi terjadinya *error* pendeteksian yang kecil dibandingkan dengan sinyal aslinya. Kesalahan penghitungan hanya terjadi pada pendeteksian menggunakan sinyal variansi *magnitude XYZ*.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Fase *stance* merupakan fase yang paling mudah dideteksi karena pada fase *stance* nilai percepatan cenderung tetap atau hanya dipengaruhi percepatan gravitasi.
2. Pendeteksian dengan menggunakan sinyal hasil pengolahan data percepatan sumbu Y dan Z lebih baik dibandingkan menggunakan sinyal hasil pengolahan data percepatan sumbu X, Y dan Z.
3. Sumbu Y dan Z memiliki pengaruh yang sangat besar pada pendeteksian langkah kaki.
4. Pendeteksian dengan menggunakan sinyal variansi lebih baik dibandingkan menggunakan sinyal aslinya.
5. Pendeteksian terbaik diperoleh pada pendeteksian menggunakan sinyal *magnitude XYZ*, energi YZ, *product YZ* dan sinyal variansi dari pengolahan sumbu Y dan Z dengan tingkat keberhasilan sebesar 100%.

5.2 Saran

Untuk pengembangan sistem selanjutnya, maka terdapat beberapa saran yang dapat dilakukan yaitu sebagai berikut:

1. Melakukan pengolahan data lanjutan seperti mendeteksi fase lain agar pendeteksian lebih akurat.
2. Menggunakan atau menambahkan sensor *gyro* untuk pendeteksian langkah kaki.

Daftar Pustaka

- [1] Beauregard, Stephane, "Omnidirectional Pedestrian Navigation for First Responders", Universitas Bremen, Jerman.
- [2] Glanzer, Gerald dan Ulrich Walder, "Self-contained Indoor Pedestrian Navigation by Means of Human Motion Analysis and Magnetic Field Mapping", *IEEE Journal*, 2010.
- [3] Kim, Jeong Won, Han Jin Jang, Don-Hwan Hwang, dan Chansik Park, "A Step, Stride and Heading Determination for the Pedestrian Navigation System", *Journal of Global Positioning Systems*, 3, 1-2, 273-279, 2004
- [4] Ojeda, Lauro dan Johann Borenstein, "Non-GPS Navigation for Security Personnel and First Responders", *Journal of Navigation*, 60, 391-407, 2007.
- [5] Rajagopal, Sujatha, *Personal Dead Reckoning System with Shoe Mounted Inertial Sensors*, Tesis S-2, Universitas KTH Electrical Engineering, Swedia, 2008.
- [6] Setiawan, Iwan, "Fungsi Akses Modul Accelerometer Parallax H48C dengan C (Compiler CodeVision)", <http://www.iwan.blog.undip.ac.id>, Februari 2011.
- [7] Stirling, Ross Grote, *Development Pedestrian Navigation System Using Shoe Mounted*, Tesis S-2, Universitas Alberta, Kanada, 2004.
- [8] ---, *C# Programming*, <http://www.vcskicks.com>, Maret 2011.
- [9] ---, *C# MessageBox.Show Examples In Windows Forms*, <http://www.dotnetperls.com>, Maret 2011.
- [10] ---, *How to Export DataGridView to Excel File*, <http://www.CSharp.Net-Information.com>, Maret 2011.