

# Pengendalian Titik Berat pada *Mobile Robot*

Andreas Rahardjo, Handry Khoswanto, Heri Saptono Warpindyasmoro

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Kristen Petra

Jl. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236, Indonesia

E-Mail: arahardjo11@gmail.com ; handry@peter.petra.ac.id ; herisw@peter.petra.ac.id

**Abstrak**— *Mobile robot* saat melewati kemiringan medan tertentu memiliki berbagai macam masalah. Salah satu masalah yang dihadapi adalah *mobile robot* yang memiliki ketinggian tertentu saat melewati medan dengan kemiringan tertentu akan menyebabkan *mobile robot* terbalik.

Desain dari *mobile robot* ini dikhususkan untuk melewati medan dengan kemiringan tertentu. Metode yang digunakan adalah dengan menggunakan beban tambahan yang disebut sebagai beban dinamis. Beban dinamis digunakan untuk melakukan pergeseran titik berat. Data kemiringan medan yang dilalui *mobile robot* diperoleh melalui pembacaan *accelerometer* sedangkan massa beban statis yang dibawa oleh *mobile robot* diinputkan melalui *bluetooth*. Kedua data tersebut diolah oleh Arduino untuk menggerakkan motor *stepper* yang akan menggeser beban dinamis pada posisi tertentu.

*Mobile robot* yang dihasilkan memiliki massa total sebesar 2550 gram dan tinggi beban statis pada posisi 40 cm. Dari hasil pengujian diketahui bahwa massa beban statis maksimum yang dapat dilakukan kompensasi oleh beban dinamis adalah sebesar 350 gram pada kemiringan medan uji  $30^{\circ}$  dengan perpindahan beban dinamis sebesar 11 cm pada  $30^{\circ}$  dan 10 cm pada  $-30^{\circ}$ . Pembacaan sensor *accelerometer* memiliki kesalahan rata-rata pembacaan sebesar 5,88 %. Persentase tingkat keberhasilan *mobile robot* melalui medan uji dengan kemiringan maksimal  $30^{\circ}$  sebesar 98,10 %

**Kata Kunci**— Titik Berat, Arduino, *Mobile Robot*, Motor *Stepper*, *Accelerometer*

## I. PENDAHULUAN

Negara Indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak pada daerah yang disebut sebagai “Ring of Fire” dimana negara kita memiliki banyak sekali gunung berapi. Hal tersebut menyebabkan Indonesia sering mengalami berbagai macam jenis bencana seperti gempa bumi, letusan gunung berapi, dan lain-lain. Seiring dengan berkembangnya teknologi saat ini maka untuk melakukan evakuasi terhadap para korban dari bencana tersebut maka dapat digunakan robot [1]. Robot dapat sangat berguna dalam membantu dalam bencana tersebut. Masalah yang terjadi pada daerah bencana adalah medan yang sangat sulit untuk dilalui. Medan yang sulit tersebut dapat menyebabkan robot untuk sulit melakukan proses evakuasi. Robot-robot yang digunakan sebagai robot beroda atau *mobile robot* [1]. Roda robot yang digunakan dapat dibagi menurut medan yang dilalui yaitu hard terrain dan soft terrain [2]. Jenis roda yang digunakan adalah roda biasa atau rantai seperti yang digunakan pada tank.

Robot-robot penyelamat yang ada pada saat ini hanya memiliki fitur-fitur yaitu dapat dikontrol dari jarak jauh dan memiliki lengan yang bisa digerakkan untuk proses evakuasi [1]. Dalam menghadapi medan yang sangat sulit terkadang robot memiliki kesulitan seperti terjebak, terbalik, dan lain-lain. Inovasi lain dari robot penyelamat yang lain adalah

dengan menggunakan roda yang berjalan secara independen pada masing-masing roda [3]. Tetapi terkadang masih sulit melewati medan tersebut karena terkadang setiap medan memiliki sudut kemiringan yang sangat besar sehingga tidak dapat diatasi oleh sudut kerja dari masing-masing roda tersebut. Permasalahan yang menyebabkan robot terjebak, terbalik, dan lain-lain adalah bergesernya pusat gravitasi (*Center of Gravity*) dari robot tersebut. Untuk mengatasi hal tersebut maka diperlukan sebuah beban tambahan untuk dapat memindahkan titik gravitasi dari robot tersebut sehingga dapat melakukan kompensasi terhadap gaya yang dialami oleh robot tersebut. Untuk mengatur gerakan dari aktuator tersebut maka diperlukan pembacaan kemiringan dari robot dengan menggunakan sensor *accelerometer* [4]. Selain itu untuk membuat kecepatan dari robot tersebut konstan/stabil maka diperlukan PID (Proportional-Integral-Derivative) Kontroler [5].

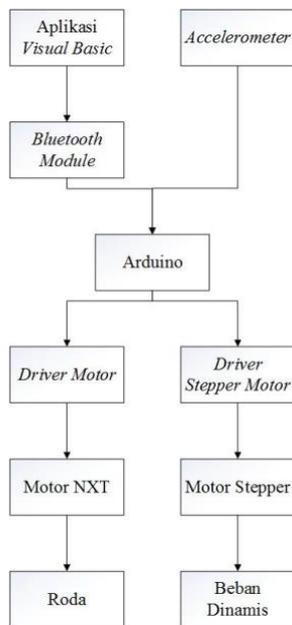
## II. PERANCANGAN SISTEM

### A. Gambaran Umum Sistem

*Mobile robot* akan dapat melakukan perubahan titik beratnya sesuai dengan kemiringan medan yang dilalui dan massa beban yang dibawa oleh *mobile robot*. Metode yang digunakan untuk melakukan perubahan titik berat dengan menggunakan beban tambahan yang disebut sebagai beban dinamis. Bagian-bagian dari *mobile robot* ini terdiri dari beban statis yang merupakan beban yang dibawa oleh *mobile robot*, *platform mobile robot*, dan beban dinamis.

Pembacaan kemiringan medan yang dilalui oleh *mobile robot* dilakukan dengan menggunakan sensor *accelerometer*. Massa beban statis yang dibawa oleh *mobile robot* diinputkan dengan menggunakan aplikasi Visual Basic melalui perantara *Bluetooth Module* untuk mengirim nilai menuju Arduino. Kemudian kedua data tersebut akan diolah dalam Arduino untuk mengetahui besar perpindahan yang perlu dilakukan oleh beban dinamis untuk melakukan perubahan titik berat pada *mobile robot*.

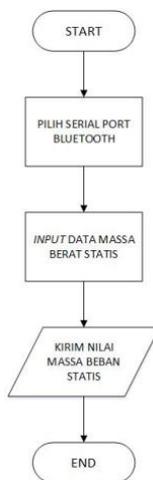
Pada *mobile robot* ini Arduino juga digunakan untuk menjalankan *mobile robot* yaitu *output* dari Arduino dihubungkan menuju ke *driver* motor. *Output* dari Arduino adalah sinyal PWM (*pulse-width modulation*). Kemudian *output* dari *driver* motor dihubungkan menuju motor lego NXT dengan menggunakan konektor RJ-12. Hal yang sama juga dilakukan untuk menggerakkan motor *stepper* yang digunakan untuk melakukan perpindahan beban dinamis. Tujuan digunakan *driver* motor adalah untuk meningkatkan arus dan tegangan dari *output* Arduino karena tegangan kerja dan arus yang dibutuhkan oleh motor lego NXT dan motor *stepper* lebih besar dari tegangan dan arus yang dihasilkan oleh *output* Arduino.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem

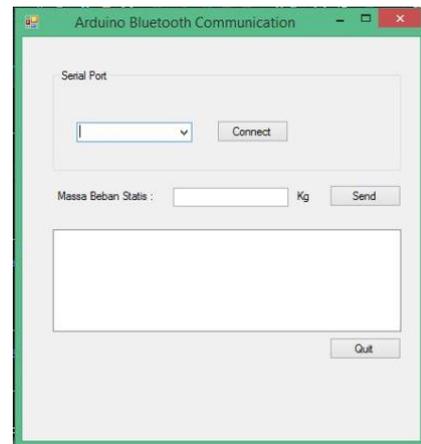
### B. Aplikasi Visual Basic

Aplikasi Visual Basic bertujuan untuk mengirimkan nilai massa beban statis yang akan dibawa oleh *mobile robot*. Aplikasi ini mengirimkan nilai tersebut menuju Arduino melalui *Bluetooth* pada PC (*Personal Computer*) menuju ke *Bluetooth Module* yang terpasang pada Arduino. *Flowchart* dari aplikasi Visual Basic dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. Flowchart Aplikasi Visual Basic

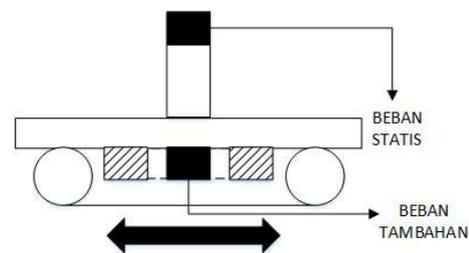
Saat aplikasi Visual Basic dijalankan hal pertama yang dilakukan adalah melakukan pemilihan *Serial Port* dari *Bluetooth Module* yang terdapat pada Arduino. Kemudian nilai massa beban diinputkan pada aplikasi Visual Basic dan nilai tersebut akan dikirimkan menuju Arduino. Pada penelitian ini, pembuatan aplikasi Visual Basic menggunakan *software "Microsoft Visual Studio 2013"*. Gambar di bawah ini merupakan desain *layout* dari aplikasi Visual Basic yang digunakan untuk menginputkan massa beban statis.



Gambar 3. Desain *layout* aplikasi Visual Basic

### C. Desain Mobile Robot

Pada penelitian ini dilakukan desain dan pembuatan dari *mobile robot*. Sketsa dari *mobile robot* yang akan dibuat dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. Sketsa *Mobile Robot*

Bagian terpenting dari membuat sebuah *mobile robot* adalah *platform robot*. *Platform robot* digunakan sebagai tempat tempat pemasangan motor, sensor *accelerometer*, beban dinamis, beban statis, dan *driver*. *Platform robot* yang digunakan pada penelitian ini berbahan dasar triplek dengan ketebalan 6 mm dan memiliki ukuran panjang 45 cm dan lebar 35 cm. Ketinggian beban statis 70 cm dari dasar *mobile robot*. Jarak antara titik tengah dan titik tumpu sebesar 11,5 cm dan massa *platform robot* sebesar 1,7 kg. Kemudian dilakukan perhitungan untuk mengetahui besar perpindahan beban dinamis.

Beban dinamis digunakan untuk melakukan perubahan titik berat. Perubahan titik berat perlu dilakukan pada *mobile robot* untuk mencegah *mobile robot* terbalik yang disebabkan oleh gaya torsi yang diberikan oleh beban statis dan *platform robot*. Beban dinamis melakukan perpindahan untuk melakukan kompensasi terhadap gaya torsi beban statis dan gaya torsi *platform robot*. Perpindahan bertujuan untuk memperbesar lengan gaya torsi yang diberikan oleh beban dinamis untuk melakukan kompensasi.

Terjadi selisih antara hasil perhitungan dengan hasil pengujian. Berdasarkan hasil perhitungan besar perpindahan beban dinamis sebesar -3,8689 cm pada massa beban statis 250 gram dan kemiringan medan 30°. Hal tersebut menunjukkan bahwa beban dinamis tidak perlu melakukan perpindahan agar *mobile robot* tidak terbalik. Hal yang berbeda terjadi saat dilakukan pengujian, *mobile robot* tetap terbalik meskipun beban dinamis melakukan perpindahan maksimum yaitu sebesar 12 cm. Selisih antara hasil perhitungan dan pengujian disebabkan oleh titik berat yang

dimiliki oleh *mobile robot* tidak tepat berada di tengah *mobile robot*. Hal tersebut diatasi dengan melakukan pengujian.

Metode pengujian dilakukan dengan cara melakukan perubahan tinggi beban statis dan massa beban statis diubah tiap 50 gram. Kemudian *mobile robot* diletakkan pada medan uji yang memiliki kemiringan tertentu. Beban dinamis digerakkan secara manual untuk mendapatkan data besar perpindahan yang perlu dilakukan. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 1. Perpindahan Beban Dinamis Hasil Pengujian

Tinggi Beban Statis	Sudut	Massa Beban Statis	Xd Rumus	Xd Pengukuran
50 cm	30	0,050	-0,142	0,000
		0,100	-0,125	0,000
		0,150	-0,105	0,045
		0,200	-0,091	0,075
		0,250	-0,074	0,105
		0,300	-0,074	> 0,120
		0,350	-0,057	> 0,120
	-30	0,050	-0,850	0,000
		0,100	-0,890	0,000
		0,150	-0,929	-0,075
		0,200	-0,969	-0,105
		0,250	-1,008	> - 0,120
		0,300	-1,048	> - 0,120
		0,350	-1,088	> - 0,120
40 cm	30	0,050	-0,148	0,000
		0,100	-0,136	0,000
		0,150	-0,125	0,000
		0,200	-0,114	0,025
		0,250	-0,102	0,055
		0,300	-0,091	0,065
		0,350	-0,080	0,105
	-30	0,050	-0,828	0,000
		0,100	-0,862	0,000
		0,150	-0,896	0,000
		0,200	-0,930	-0,025
		0,250	-0,963	-0,055
		0,300	-0,997	-0,065
		0,350	-1,031	-0,105

Berdasarkan data tersebut maka dipilih ketinggian beban statis 40 cm untuk menggantikan ketinggian beban statis 70 cm. Pemilihan ketinggian beban statis 40 cm karena memiliki besaran massa beban statis lebih besar yang dapat dilakukan kompensasi dibandingkan ketinggian beban statis yang lain. Pada Tabel 1 dapat dilihat terjadi perbedaan antara hasil perhitungan dengan hasil pengujian. Untuk mengatasi hal tersebut maka dilakukan regresi dengan bantuan *Microsoft Excel*. Regresi tersebut menghasilkan persamaan :

$$y = 61.281x^6 + 226.86x^5 + 324.76x^4 + 225.54x^3$$

$$+ 77.738x^2 + 12.132x + 0.6796 \quad (1)$$

Dimana,  $y$  = Hasil Pengujian  
 $x$  = Hasil Perhitungan

Persamaan tersebut akan digunakan dalam program Arduino untuk menghitung besar pergeseran beban dinamis yang perlu dilakukan. Pada gambar di bawah ini dapat dilihat *mobile robot* yang telah dibuat.



Gambar 5. *Mobile Robot*

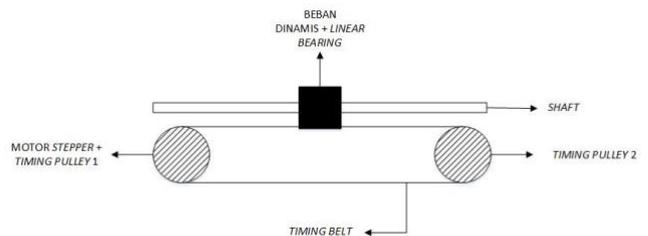
#### D. Perpindahan Beban Dinamis

Pada penelitian ini digunakan beban tambahan yang disebut sebagai beban dinamis untuk mengkompensasi gaya torsi yang diberikan oleh beban statis dan *platform mobile robot*. Beban dinamis yang digunakan berupa besi dan *linear bearing* yang berjalan pada *shaft* yang terdapat pada *platform mobile robot*. Beban dinamis yang digunakan dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 6. Beban Dinamis *mobile robot*

Mekanisme perpindahan beban dinamis pada penelitian ini menggunakan motor *stepper* dan *timing belt*. Mekanisme perpindahan beban dinamis dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 7. Mekanisme perpindahan beban dinamis

E. Medan Uji Coba

Medan Uji Coba yang digunakan pada penelitian ini adalah sebuah bidang miring memiliki kemiringan yang dapat diubah setiap 5° dengan kemiringan maksimal 30°. Medan uji coba juga memiliki medan datar sepanjang 1 m. Medan uji dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 8. Medan Uji Coba mobile robot

F. Program Arduino

Secara garis besar, pemrograman Arduino terbagi menjadi tiga tahapan yaitu pembacaan *input*, perhitungan, dan pengaturan *output*. Tahap pembacaan *input* adalah ketika sensor *accelerometer* melakukan pembacaan kemiringan medan uji. Selain itu program pada Arduino juga melakukan pembacaan serial untuk mendapatkan nilai massa beban statis yang dikirimkan oleh aplikasi Visual Basic. Tahap perhitungan adalah bagian dimana Arduino melakukan pengolahan terhadap data kemiringan medan dan massa beban statis yang kemudian akan menghasilkan besar perpindahan beban dinamis untuk menstabilkan *mobile robot*. Kemudian data tersebut akan dikonversikan menuju banyak putaran motor *stepper* yang harus dilakukan untuk melakukan pemindahan beban dinamis. Tahap pengaturan *output* adalah saat motor *stepper* menggerakkan beban dinamis sesuai dengan nilai hasil perhitungan yang telah dilakukan agar membuat *mobile robot* tetap dalam keadaan seimbang. *Flowchart* program Arduino dapat dilihat pada gambar 9.

III. PENGUJIAN SISTEM

A. Pengujian Program Arduino untuk Ketepatan Pengukuran Kemiringan Medan Uji Coba

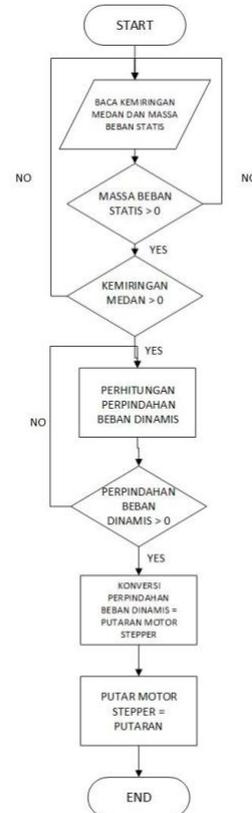
Pengujian dilakukan untuk mengetahui ketepatan pengukuran kemiringan medan uji coba yang dilakukan oleh Arduino. Pengukuran difokuskan pada kemiringan 5° hingga 30° yang diubah kemiringannya setiap 5° karena disesuaikan dengan medan uji coba yang telah dibuat.

Pengujian program untuk ketepatan pengukuran kemiringan medan uji coba dilakukan dengan melakukan pengambilan data sebanyak 13 data pada setiap perubahan kemiringan medan uji coba yang dibandingkan dengan busur derajat. Hasil pengukuran dengan menggunakan Arduino dan *Accelerometer* memiliki selisih dengan pengukuran menggunakan busur derajat. Hasil pengukuran yang telah dilakukan kemudian diregresi sehingga didapatkan hasil yang lebih maksimal. Regresi dilakukan dengan menggunakan *Microsoft Excel*. Regresi tersebut menghasilkan persamaan :

$$y = 0.0006x^2 + 0.602x - 0.0388 \quad (2)$$

Dimana,  $y$  = Pengukuran Arduino  
 $x$  = Pengukuran Busur

Kemudian persamaan tersebut akan dimasukkan dalam program Arduino kemudian dibandingkan kembali dengan pengukuran busur derajat / kemiringan medan uji. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 2.



Gambar 9. Flowchart Program Arduino

Tabel 2. Perbandingan Pengukuran *Accelerometer Baru* dan Kemiringan Medan Uji Coba

Arduino + Accelerometer	Pembacaan Busur / Kemiringan Medan Uji	Selisih
30°	30°	0°
25°	25°	0°
20°	20°	0°
16°	15°	1°
10°	10°	0°
6°	5°	1°
0°	0°	0°
-7°	-5°	-2°
-11°	-10°	-1°
-16°	-15°	-1°
-20°	-20°	0°
-24°	-25°	1°
-27°	-30°	3°
<b>% Error Rata-Rata</b>		<b>5,88 %</b>

Hasil pengujian menunjukkan bahwa program Arduino dengan menggunakan persamaan hasil regresi menghasilkan data dengan persentase kesalahan rata-rata sebesar 5,88 %. Data tersebut tetap memiliki persentase kesalahan karena determinasi yang diperoleh dari regresi hanya sebesar 0.9964.

### B. Pengujian Program Arduino untuk Ketepatan Perpindahan Beban Dinamis

Pengujian dilakukan untuk mengetahui ketepatan pergeseran beban dinamis yang dilakukan oleh Arduino. Pengujian dibagi menjadi 2 bagian yaitu :

- Pengujian perpindahan beban dinamis pada saat melakukan perhitungan dengan program Arduino.
- Pengujian waktu yang diperlukan melakukan perpindahan beban dinamis dan pembacaan sudut kemiringan medan uji.

#### 1. Pengujian Program Arduino untuk Ketepatan Perpindahan Beban Dinamis

Pengujian dilakukan untuk mengetahui perpindahan beban dinamis yang dilakukan berdasarkan perhitungan oleh Arduino sudah sesuai dengan hasil perhitungan yang telah dilakukan. Metode yang digunakan adalah dengan meletakkan *mobile robot* pada medan uji dengan kemiringan medan uji sebesar  $30^\circ$  dan mengganti massa beban statis secara berkala. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 3 dan 4.

Berdasarkan data pada Tabel 3 dan Tabel 4 dapat dilihat bahwa tidak terjadi selisih antara perpindahan beban dinamis dengan hasil perhitungan Arduino. Berdasarkan data tersebut juga didapatkan hubungan antara massa beban statis dengan besar perpindahan beban dinamis yang dapat dilihat pada tabel di bawah ini

Tabel 3. Hasil Pengujian Perpindahan Beban Dinamis Sudut  $30^\circ$

Sudut (derajat)	Massa Beban Statis (gram)	Hasil Perhitungan Arduino (cm)	Perpindahan Beban Dinamis (cm)	Selisih (cm)	
$30^\circ$	50	0	0	0,00	
		0	0	0,00	
	100	0	0	0,00	
		0	0	0,00	
	150	1	1	0,00	
		1	1	0,00	
	200	2	2	0,00	
		2	2	0,00	
	250	4	4	0,00	
		4	4	0,00	
	300	7	7	0,00	
		7	7	0,00	
	350	11	11	0,00	
		11	11	0,00	
	<b>% Error Rata-Rata</b>				<b>0,00 %</b>

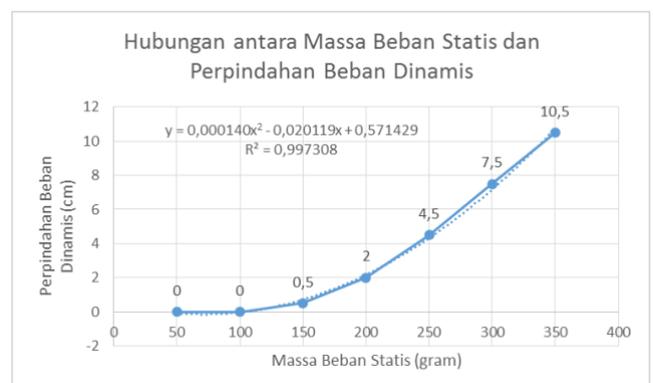
Tabel 4. Hasil Pengujian Perpindahan Beban Dinamis Sudut  $-30^\circ$

Sudut (derajat)	Massa Beban Statis (gram)	Hasil Perhitungan Arduino (cm)	Perpindahan Beban Dinamis (cm)	Selisih (cm)	
$-30^\circ$	50	0	0	0,00	
		0	0	0,00	
	100	0	0	0,00	
		0	0	0,00	
	150	0	0	0,00	
		0	0	0,00	
	200	-2	-2	0,00	
		-2	-2	0,00	
	250	-5	-5	0,00	
		-5	-5	0,00	
	300	-8	-8	0,00	
		-8	-8	0,00	
	350	-10	-10	0,00	
		-10	-10	0,00	
	<b>% Error Rata-Rata</b>				<b>0,00 %</b>

Tabel 5. Hubungan Massa Beban Statis dan Perpindahan Beban Dinamis

Massa Beban Statis (gram)	Perpindahan Beban Dinamis (cm)
50	0
100	0
150	0,5
200	2
250	4,5
300	7,5
350	10,5

Berdasarkan Tabel 5 dapat dibuat grafik yang dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10. Grafik Hubungan antara Massa Beban Statis dan Perpindahan Beban Dinamis

Berdasarkan grafik tersebut didapatkan persamaan hubungan antara massa beban statis dengan besar perpindahan beban dinamis yaitu :

$$y = 0,000140x^2 - 0,020119x + 0,571429 \quad (3)$$

Dimana,  $y$  = Perpindahan Beban Dinamis (cm)  
 $x$  = Massa Beban Statis (gram)

2. *Pengujian Waktu yang Diperlukan untuk Melakukan Perpindahan Beban Dinamis dan Pembacaan Kemiringan Medan Uji*

Pengujian bertujuan untuk mengetahui waktu yang diperlukan untuk melakukan perpindahan beban dinamis ke posisi tertentu dan pembacaan kemiringan medan uji. Metode yang digunakan dengan menggunakan stopwatch untuk melakukan perpindahan beban dinamis dan menggunakan bantuan program Arduino. Hasil pengujian dapat dilihat di bawah ini.

Tabel 6. Hasil Pengujian Waktu Pergeseran Beban Dinamis

Perpindahan Beban Dinamis (cm)	Waktu (detik)	Waktu/cm (detik)
2	0,37	0,19
4	0,91	0,23
7	1,56	0,22
11	2,56	0,23
<b>Rata-rata Waktu</b>		<b>0,22</b>

Tabel 7. Hasil Pengujian Waktu Pembacaan Kemiringan Medan Uji

Sudut (derajat)	Percobaan ke	Waktu (detik)	Waktu / Sudut (detik)
0 - 30	1	13,976	0,466
	2	13,161	0,439
	3	13,164	0,439
	4	13,949	0,465
	5	13,116	0,437
	6	13,115	0,437
	7	13,154	0,438
	8	13,116	0,437
	9	13,091	0,436
	10	13,145	0,438
<b>Rata-rata</b>		<b>0,443</b>	

Kesimpulan yang didapatkan berdasarkan data pada Tabel 6 dan Tabel 7 adalah perpindahan beban dinamis lebih cepat daripada pembacaan kemiringan medan uji sehingga beban dinamis dapat memberikan kompensasi agar *mobile* robot tidak terbalik.

C. *Pengujian Mobile Robot melalui Medan Uji Coba dengan Kemiringan Maksimal 30°*

Pengujian ini memiliki tujuan untuk mengetahui perpindahan beban dinamis sudah dapat mencegah *mobile* robot terbalik. Metode pengujian adalah dengan menjalankan

*mobile* robot pada medan uji dengan kemiringan maksimal 30 derajat serta membawa massa beban statis yang berubah-ubah. Hasil pengujian dapat dilihat di bawah ini.

Tabel 8. Hasil Pengujian *Mobile* Robot melalui Medan Uji

Kemiringan Medan Uji (derajat)	Massa Beban Statis (gram)	Melalui Medan Uji		% Tingkat Keberhasilan
		Berhasil	Tidak	
5°	50	5	0	100 %
	100	5	0	
	150	5	0	
	200	5	0	
	250	5	0	
	300	5	0	
	350	5	0	
10°	50	5	0	100 %
	100	5	0	
	150	5	0	
	200	5	0	
	250	5	0	
	300	5	0	
	350	5	0	
15°	50	5	0	100 %
	100	5	0	
	150	5	0	
	200	5	0	
	250	5	0	
	300	5	0	
	350	5	0	
20°	50	5	0	100 %
	100	5	0	
	150	5	0	
	200	5	0	
	250	5	0	
	300	5	0	
	350	5	0	
25°	50	5	0	100 %
	100	5	0	
	150	5	0	
	200	5	0	
	250	5	0	
	300	5	0	
	350	5	0	
30°	50	5	0	88,57 %
	100	5	0	
	150	5	0	
	200	5	0	
	250	4	1	

	300	4	1	
	350	3	2	
<b>% Tingkat Keberhasilan Rata-Rata</b>				<b>98,10 %</b>

Berdasarkan data pada Tabel 8 dapat dilihat bahwa mobile robot dapat melewati medan uji dengan kemiringan mulai dari  $5^{\circ}$  hingga  $25^{\circ}$  memiliki persentase tingkat keberhasilan sebesar 100 % sedangkan pada kemiringan  $30^{\circ}$  memiliki persentase tingkat keberhasilan sebesar 88,57 % sehingga *mobile robot* memiliki persentase tingkat keberhasilan rata-rata sebesar 98,10 %. Berdasarkan data tersebut juga diketahui bahwa massa beban statis maksimum yang dapat dibawa dan dilakukan kompensasi oleh *mobile robot* adalah sebesar 350 gram dan kemiringan maksimum medan uji yang dapat dilalui adalah  $30^{\circ}$ .

#### IV. KESIMPULAN

Telah dibuat sebuah mobile robot yang memiliki massa total sebesar 2550 gram dan tinggi beban statis pada posisi 40 cm yang titik berat beban dinamisnya dapat dirubah pada saat kemiringan medan berubah. Dari hasil pengujian diperoleh :

- Massa beban statis maksimum yang dapat dilakukan kompensasi oleh beban dinamis adalah sebesar 350 gram pada kemiringan medan uji  $30^{\circ}$  dengan perpindahan beban dinamis sebesar 11 cm pada  $30^{\circ}$  dan 10 cm pada  $-30^{\circ}$ .
- Pembacaan kemiringan oleh sensor *accelerometer* memiliki persentase kesalahan rata-rata sebesar 5,88 %.
- Perpindahan beban dinamis yang dilakukan oleh program Arduino sudah sesuai dengan hasil perhitungan yang dilakukan oleh Arduino
- Persentase tingkat keberhasilan *mobile robot* melalui medan uji dengan kemiringan maksimal  $30^{\circ}$  adalah sebesar 98,10 %.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Reddy, a. H., Kalyan, B., & Murthy, C. S. N. (2015). Mine rescue robot system – A review. *Procedia Earth and Planetary Science*, 11, 457–462. <http://doi.org/10.1016/j.proeps.2015.06.045>
- [2] Ghotbi, B., González, F., Kövecses, J., & Angeles, J. (2015). A novel concept for analysis and performance evaluation of wheeled rovers. *Mechanism and Machine Theory*, 83, 137–151. <http://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2014.08.017>
- [3] Li, Y., Ge, S., Zhu, H., Fang, H., & Gao, J. (2010). Mobile platform of rocker-type coal mine rescue robot. *Mining Science and Technology*, 20(3), 466–471. [http://doi.org/10.1016/S1674-5264\(09\)60227-1](http://doi.org/10.1016/S1674-5264(09)60227-1)
- [4] Nistler, J. R., & Selekwa, M. F. (2011). Gravity compensation in accelerometer measurements for robot navigation on inclined surfaces. *Procedia Computer Science*, 6, 413–418. <http://doi.org/10.1016/j.procs.2011.08.077>
- [5] De Luca, A., Siciliano, B., & Zollo, L. (2005). PD control with on-line gravity compensation for robots with elastic joints: Theory and experiments.