

PEMBUATAN SISTEM PENENTUAN KOEFISIEN GESEK STATIS BENDA PADA BIDANG MIRING SECARA DIGITAL BERBASIS MIKROKONTROLER

Maisa Fitri¹⁾ Hufri²⁾ Yohandri²⁾

¹⁾Mahasiswa Fisika, FMIPA Universitas Negeri Padang

²⁾Staf Pengajar Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Negeri Padang

maisa.fitri27@yahoo.com¹⁾ hufri_unp@yahoo.co.id²⁾ yohandri.unp@gmail.com²⁾

ABSTRACT

Research has been done to design a system of determination of the static friction coefficient of the object on inclined plane digitally. The purpose of this research is to explain the performance specifications, accuracy and precision of the system. There are three results of this research. First, The system is designed with the surface of the slip object size 8.7 x 15 cm and glide plane 9 x 100 cm. Second, average of precision relative sensor accelerometer is 95,58%. Third, average accuracy is 0,977.

Keywords : Static friction coefficient, accelerometer, tilt sensor

PENDAHULUAN

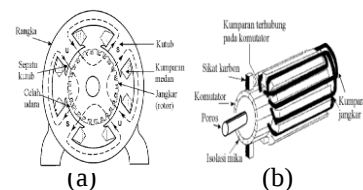
Eksperimen fisika memiliki peranan yang sangat penting. Perkembangan ilmu pengetahuan khususnya yang berhubungan dengan fisika muncul dengan adanya eksperimen fisika. Hal terpenting yang harus diperhatikan dalam melakukan eksperimen fisika adalah set eksperimen yang digunakan. Set eksperimen sangat menentukan hasil yang didapatkan pada suatu penelitian. Saat ini telah banyak industri yang mengembangkan set eksperimen fisika untuk memudahkan siswa dan mahasiswa dalam memahami pelajaran fisika. Set eksperimen tersebut dapat berupa analog maupun digital.

Pengembangan set eksperimen fisika digital dapat dilakukan oleh mahasiswa Jurusan Fisika khususnya bidang kajian elektronika dan instrumentasi. Beberapa contoh tugas akhir mahasiswa bidang kajian elektronika dan instrumentasi adalah alat ukur suhu dan kelembapan udara secara digital, timbangan digital serta alat ukur intensitas cahaya matahari secara digital. Namun, pengembangan set eksperimen fisika belum optimal sehingga masih banyak set eksperimen fisika yang berupa analog. Salah satunya adalah set eksperimen bidang miring untuk menentukan koefisien gesek statis.

Penentuan koefisien gesek dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu dengan menggunakan balok yang ditarik dengan katrol pada bidang datar, balok yang meluncur pada bidang miring, dan balok yang ditarik dengan katrol pada bidang miring^[1]. Pada penelitian ini, penentuan koefisien gesek statis digunakan balok yang meluncur pada bidang miring. Berdasarkan hukum II Newton, maka didapatkan rumus untuk menentukan koefisien gesek dua permukaan bersentuhan yang meluncur pada bidang miring adalah nilai tangensial dari sudut ketika benda tepat saat akan bergerak.

Cara kerja alat analog untuk menentukan koefisien gesek statis adalah dengan cara mengangkat bidang luncur perlahan-lahan secara manual. Pada kemiringan tertentu, benda yang terdapat di atas bidang akan meluncur. Saat benda meluncur, bidang luncur berhenti bergerak. Tangen dari sudut ketika benda tepat akan bergerak adalah koefisien gesek statis dua permukaan benda yang bersentuhan.

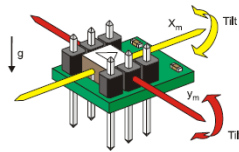
Bidang luncur dapat diangkat secara otomatis menggunakan motor DC. Motor DC (motor arus searah) adalah mesin yang merubah energi listrik arus searah menjadi energi mekanis. Motor DC terdiri atas bagian yang diam (stator) dan bagian yang berputar (rotor). Gambar 1 merupakan konstruksi motor arus searah bagian stator dan rotor.



Gambar 1. Konstruksi Motor Arus Searah Bagian Stator (a) dan Rotor (b)^[2]

Penentuan sudut ketika benda tepat saat akan bergerak adalah menggunakan sensor *accelerometer*. *Accelerometer* adalah sebuah sensor yang berfungsi untuk mengukur percepatan suatu objek. Sensor *accelerometer* MEMSIC 2125 bekerja dengan memanfaatkan ruang gas dengan elemen pemanas di tengah dan empat sensor suhu di tepi^[3]. *Accelerometer* juga dapat digunakan untuk mengukur kemiringan tanah dengan cara membandingkan percepatan pada posisi bidang miring dengan posisi vertikal. *Accelerometer* yang digunakan adalah

MEMSIC 2125. Bentuk *Accelerometer* MEMSIC 2125 ditunjukkan oleh Gambar 2.



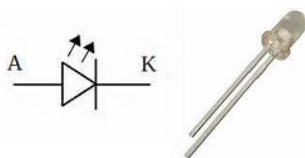
Gambar2. *Accelerometer* MEMSIC 2125^[4]

Selain *accelerometer*, diperlukan *phototransistor* dan LED inframerah sebagai pendeteksi ketika benda tepat saat akan bergerak. *Phototransistor* merupakan suatu komponen yang dapat mengubah efek cahaya menjadi sinyal listrik. Bentuk fisik *phototransistor* ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 3. *Phototransistor*^[5]

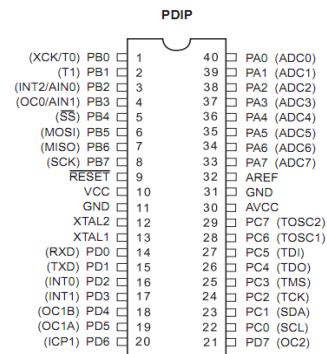
LED Inframerah adalah sebuah dioda yang memancarkan cahaya. Arus yang diperlukan LED untuk menghasilkan cahaya yang cerah adalah 220 mA^[6]. Simbol dan bentuk fisik LED Inframerah ditunjukkan oleh Gambar 4.



Gambar 4. Lambang LED Inframerah dan Bentuk Fisiknya

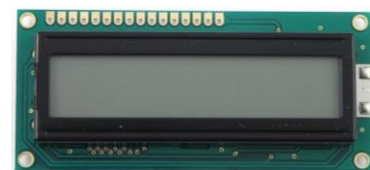
Phototransistor dan LED Inframerah diletakkan di sisi bidang lurus, tepat di depan benda yang akan meluncur. Posisi awal adalah *phototransistor* terkena cahaya dari LED Inframerah. Namun, pada sudut tertentu benda akan meluncur sehingga cahaya dari LED Inframerah ke *phototransistor* dihalangi oleh benda. Pada kondisi ini, *phototransistor* tidak dialiri arus. *Phototransistor* berlogika low dengan tegangan keluaran 0 Volt. Pada kondisi ini, *phototransistor* tidak dialiri arus dan memberikan sinyal kepada mikrokontroler.

Mikrokontroler adalah mikrokomputer yang berbentuk chip-tunggal untuk aplikasi-aplikasi kontrol dan bukan untuk aplikasi-aplikasi serbaguna^[7]. Mikrokontroler yang digunakan adalah mikrokontroler ATmega16A. Mikrokontroler ini mempunyai 40 pin dengan konfigurasi pin diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Konfigurasi Pin ATmega16A^[8]

Data yang diolah oleh mikrokontroler ditampilkan pada LCD. LCD (*Liquid Crystal Display*) merupakan media untuk menampilkan angka atau karakter. LCD banyak digunakan untuk berbagai keperluan karena memiliki banyak keuntungan. Diantaranya adalah menampilkan data baik digital maupun analog, mudah dalam pengoperasian, membutuhkan tegangan yang kecil dan dapat menampilkan berbagai karakter. Bentuk LCD dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. *Liquid Crystal Display*^[9]

Power supply atau catu daya diperlukan untuk mengubah arus AC menjadi DC^[10]. Catu daya sebaiknya dilengkapi dengan regulator tegangan^[11]. IC yang digunakan sebagai regulator tegangan adalah 78xx dan 79xx. IC 78xx merupakan regulator positif yang menghasilkan tegangan xx volt, dan IC 79xx merupakan regulator negatif yang menghasilkan tegangan xx volt^[12].

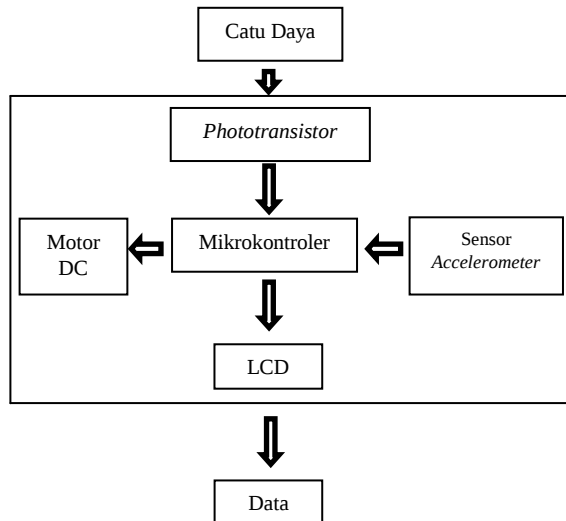
Berdasarkan permasalahan seperti uraian di atas, maka dalam artikel ini akan diuraikan suatu sistem yang mampu menentukan koefisien gesek statis secara digital. Sistem ini dibangun menggunakan sebuah bidang miring yang dikendalikan oleh motor dan berbasis mikrokontroler.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang. Pelaksanaan kegiatan dimulai pada bulan November 2013 sampai dengan bulan Juni 2014 dengan beberapa tahap kegiatan. Kegiatan tersebut meliputi penulisan proposal, penelitian, perancangan sistem, perakitan komponen, pengambilan serta pengolahan data.

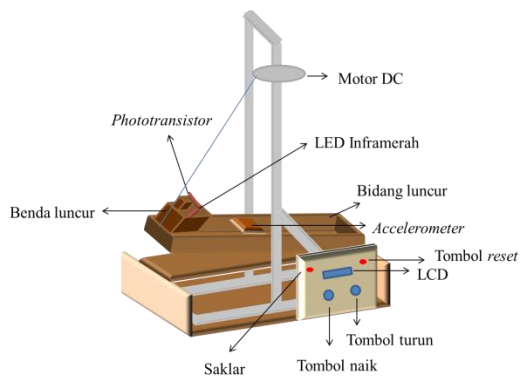
1. Desain Perangkat Keras

Tahapan mendesain perangkat keras sistem ada dua: *pertama* desain rangkaian elektronika yang terdiri dari beberapa blok rangkaian, seperti rangkaian motor DC, sensor *accelerometer*, *phototransistor*, mikrokontroler dan *display* LCD. Blok diagram sistem ini diperlihatkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Blok Diagram Sistem Penentuan Koefisien Gesek Statis Benda pada Bidang Miring

Kedua, rancangan set eksperimen. Rancangan set eksperimen ini tidak jauh berbeda dibandingkan dengan set eksperimen standar yang terdapat di Laboratorium Fisika Universitas Negeri Padang. Rancangan set eksperimen dapat dilihat pada Gambar 8.

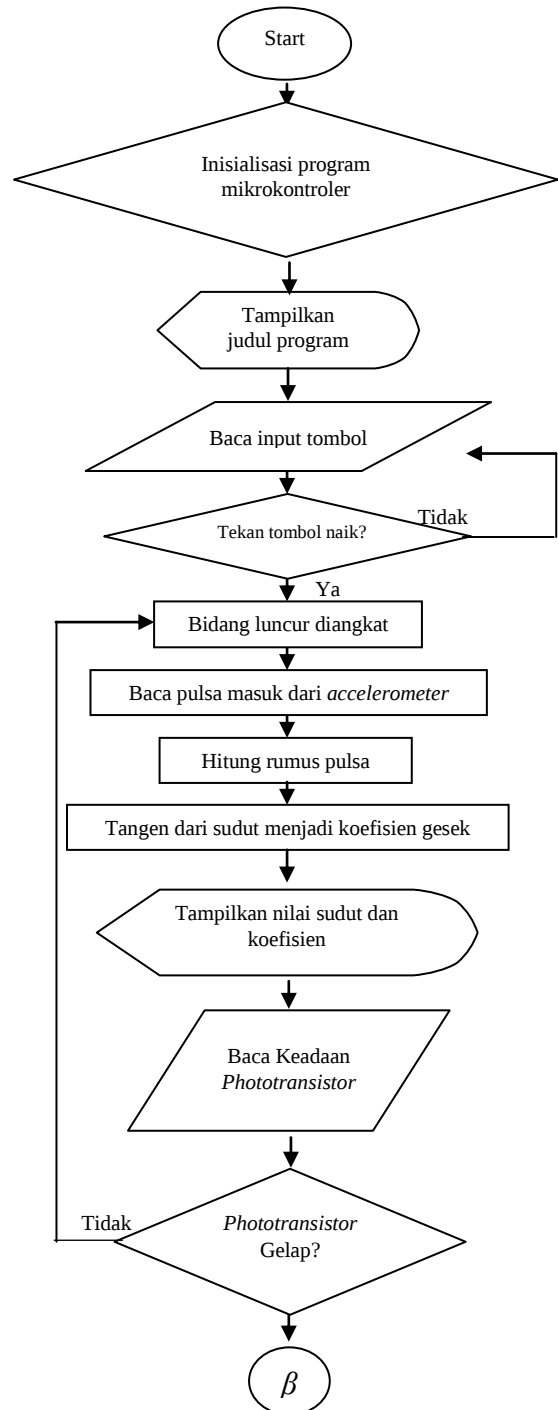


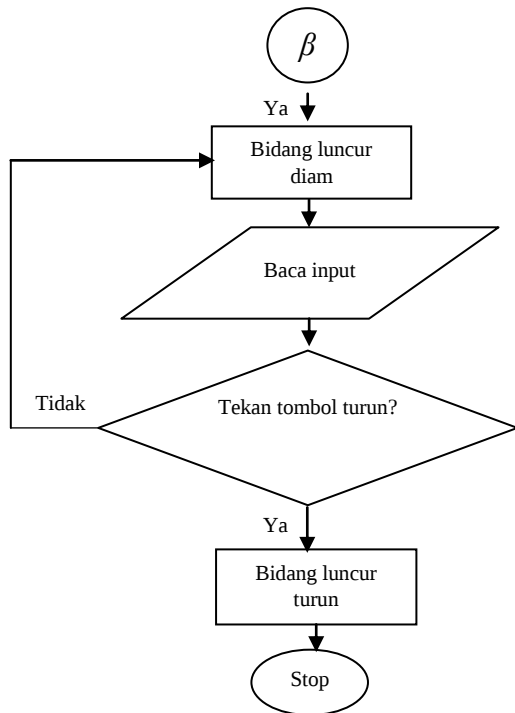
Gambar 8. Ilustrasi Set Eksperimen Penentuan Koefisien Gesek Statis Benda pada Bidang Miring Berbasis Mikrokontroler

2. Desain Perangkat Lunak

Perangkat lunak sangat erat hubungannya dengan kinerja perangkat keras. Perangkat lunak pada sistem mikrokontroler biasa juga disebut *firmware*. Perangkat lunak ini berfungsi untuk memberikan

instruksi dan menjalankan mikrokontroler. Instruksi yang dilakukan adalah menyalakan motor DC, membaca sinyal dari phototransistor, mematikan motor DC, membaca pulsa dari sensor *accelerometer*, menghitung kemiringan benda, membaca *database* sudut kemiringan dan tangen dari sudut, hingga menampilkan data pada LCD. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah *Basic .Compiler software* yang digunakan adalah BASCOM-AVR. *Flowchart* perangkat lunak sistem dapat dilihat pada Gambar 9.





Gambar 9. Desain *flowchart* Perangkat Lunak Sistem

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran memiliki arti yang sangat penting dalam suatu penelitian eksperimen. Berdasarkan data yang diperoleh dapat digambarkan hubungan antara suatu variabel bebas dengan variabel terikat yang terdapat pada sistem penentuan koefisien gesek statis. Untuk mengetahui bagaimana hubungan antara besaran pada variabel bebas dengan variabel terikat dalam sistem untuk penentuan koefisien gesek statis ini diperlukan analisis terhadap data yang diperoleh. Penyajian data dinyatakan dalam bentuk tabel dan grafik.

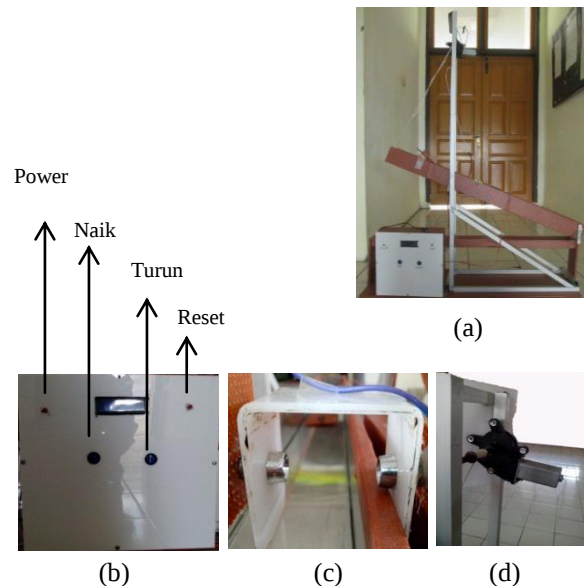
Analisis data yang dilakukan meliputi spesifikasi performansi sistem, penentuan ketepatan dan ketelitian sistem.

1. Spesifikasi Performansi Sistem

Spesifikasi performansi dari sistem penentuan koefisien gesek statis benda ini merupakan pengidentifikasian atau penguraian fungsi setiap bagian pembentuk sistem. Sistem penentuan koefisien gesek statis benda ini dirancang mampu menentukan sudut kemiringan ketika benda meluncur dan koefisien gesek antarbidang dan benda luncur. Data yang diperoleh dari pengukuran ditampilkan pada LCD berupa sudut dan nilai tangen dari sudut yang diidentifikasi sebagai koefisien gesek statis benda.

a. Hasil Rancangan Sistem

Sistem ini dirancang dengan ukuran permukaan benda luncur 8,7 x 15 cm dan bidang luncur 9 x 100 cm. Hasil rancangan sistem alat ukur ini dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Foto Hasil Rancangan Sistem: a) Set Eksperimen, b) Panel Depan, c) Sensor *Phototransistor* dan LED, d) Motor DC

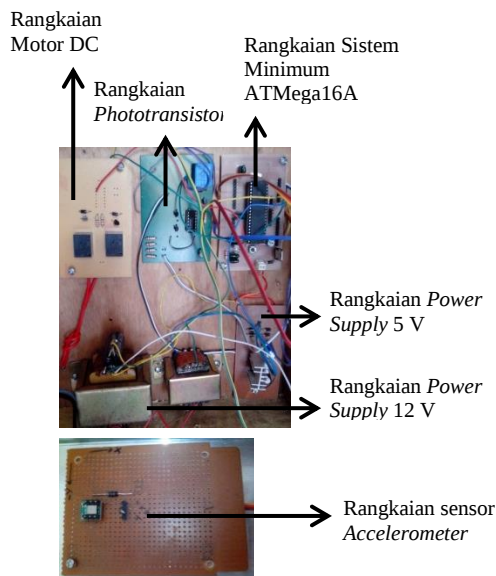
Pada Gambar 10 terlihat bahwa secara umum, sistem ini terdiri dari sistem mekanik dan sistem elektronik yang terdapat di dalam *box* berwarna putih. Sistem elektronik berfungsi untuk menghidupkan, menggerakkan serta mengontrol sistem mekanik sehingga diperoleh tujuan yang diinginkan, yaitu menentukan koefisien gesek benda pada bidang luncur.

Sistem penentuan koefisien gesek statis benda pada bidang luncur secara digital ini dilengkapi dengan sistem *input* dan *output*. Sistem *input* terdiri dari tombol *power* yang berfungsi untuk menghidup dan mematikan sistem, tombol *naik* untuk menaikkan bidang luncur, tombol *turun* untuk menurunkan bidang luncur, serta tombol *reset* untuk mengembalikan mikrokontroler ke *setting* awal. Sedangkan sistem *output* terdiri dari LCD dan data sudut serta koefisien.

Phototransistor dan LED Inframerah pada Gambar 10 diletakkan di dekat benda luncur sehingga dapat mendeteksi benda ketika benda tepat saat akan bergerak. Ketika benda bergerak, motor DC berhenti berputar. Motor DC seperti pada Gambar 10 berfungsi mengangkat dan menurunkan bidang luncur.

Terdapat beberapa rangkaian elektronika pembangun sistem, diantaranya adalah *power supply* 5 dan 12 volt, rangkaian motor DC, sistem minimum mikrokontroler ATmega16A, rangkaian sensor

accelerometer MEMSIC 2125 dan rangkaian *phototransistor*. Hasil desain rangkaian elektronika sistem penentuan koefisien gesek statis benda dapat dilihat pada Gambar 11.



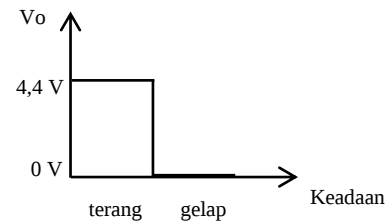
Gambar 11. Hasil Desain Rangkaian Elektronika Sistem Penentuan Koefisien Gesek Statis Benda

Rangkaian catu daya berfungsi sebagai sumber tegangan untuk mengaktifkan komponen elektronika. Rangkaian catu daya ini dibuat dengan tegangan keluaran 5 volt dan 12 volt. Tegangan 5 volt digunakan untuk menghidupkan sistem minimum mikrokontroler, LCD, *phototransistor*, dan sensor *accelerometer* MEMSIC 2125. Sedangkan tegangan 12 volt digunakan untuk menghidupkan motor DC. Rangkaian catu daya ini bersumber dari PLN yang terdiri dari *transformator stepdown*, *dioda*, *capasitor*, regulator tegangan 7805 untuk mendapatkan tegangan 5 volt serta sebuah *relay*. *Transformator step down* berfungsi untuk menurunkan tegangan dari 220 volt AC menjadi 6 volt AC. Tegangan 6 volt AC akan disearahkan oleh 4 buah *dioda* dan diratakan oleh *kapasitor*. Regulator tegangan 5 volt (7805) digunakan supaya keluaran yang dihasilkan tetap 5 volt meskipun terjadi perubahan pada tegangan masukan. *Relay* berfungsi untuk mengaktifkan salah satu sumber yang diperlukan.

Rangkaian sistem minimum mikrokontroler berfungsi untuk mengaktifkan kerja mikrokontroler ATmega16A. Mikrokontroler ATmega16A bertugas memproses sinyal *input*, mengolah data dan mengatur keluaran sesuai dengan fungsi sistem yang dikehendaki. Untuk menjalankan aktivitas tersebut mikrokontroler dihubungkan dengan beberapa perangkat eksternal baik itu sebagai masukan ataupun keluaran.

b. Karakteristik Phototransistor

Phototransistor menghantar ketika cahaya dari LED diterima oleh *phototransistor* (tidak ada benda yang menghalangi), yang berarti *phototransistor* dalam keadaan terang. Pada kondisi ini, tegangan keluaran dari *phototransistor* sekitar 4,4 Volt (*high*). Sebaliknya, ketika cahaya dari LED Inframerah terhalang oleh benda menuju *Phototransistor*, yang berarti *phototransistor* dalam keadaan gelap, maka tegangan keluarannya adalah 0 Volt (*low*). Hubungan ini dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Hubungan Keadaan *Phototransistor* dengan Tegangan Keluaran

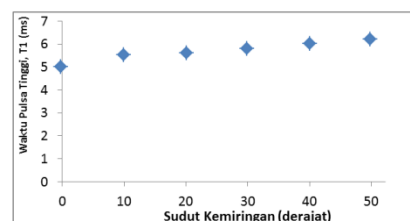
c. Karakteristik Sensor Accelerometer

Pengukuran waktu pulsa tinggi (T1) dan periode keluaran sensor *accelerometer* dapat ditentukan dengan menggunakan osiloskop. Bentuk pengukuran waktu pulsa tinggi dan periode keluaran sensor menggunakan osiloskop ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Osiloskop

Pulsa keluaran sensor *accelerometer* memiliki periode sebesar 10 ms jadi saat keadaan 0° memiliki pulsa *high* dengan waktu sebesar 5 ms. Setiap perubahan posisi sudut pada sensor *accelerometer* MEMSIC 2125 akan mengalami perubahan pada nilai T1. Grafik pengaruh sudut kemiringan terhadap waktu pulsa tinggi (T1) ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Grafik Pengaruh Sudut Kemiringan Terhadap Waktu Pulsa Tinggi (T1)

Pada Gambar 14 terlihat bahwa semakin besar sudut kemiringan sensor terhadap bidang datar, maka nilai T1 juga semakin besar.

2. Ketepatan Pengukuran Sistem

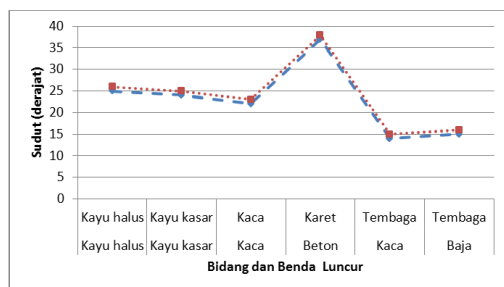
a. Ketepatan Pengukuran Sudut Kemiringan Sistem dibandingkan dengan Busur

Berdasarkan analisis data sudut kemiringan sistem dibandingkan dengan pengukuran sudut kemiringan menggunakan busur didapatkan kesalahan rata-rata sebesar 1,48%.

b. Ketepatan Pengukuran Sistem dibandingkan dengan Alat Standar

1) Ketepatan Sudut

Berdasarkan analisis data sudut kemiringan sistem dibandingkan dengan alat standar didapatkan grafik seperti pada Gambar 15.

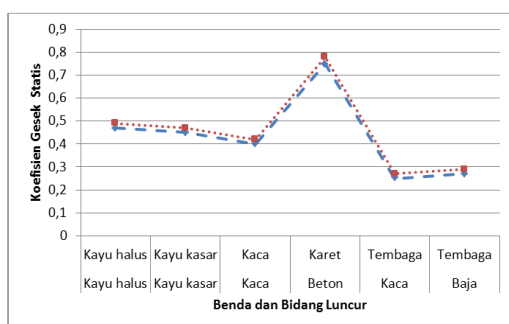


Gambar 15. Grafik Perbandingan Sudut Kemiringan Sistem dengan Alat Standar

Pada gambar 15, hasil pengukuran sudut kemiringan sistem dan alat standar tidak jauh berbeda. Ketepatan pengukuran berkisar antara 0,93 sampai 0,97. Ketepatan relatif rata-rata pengukuran adalah 95,38%. Kesalahan rata-rata yang terjadi adalah 4,62%.

2) Ketepatan Koefisien Gesek Statis

Berdasarkan analisis data koefisien gesek statis sistem dibandingkan dengan alat standar didapatkan grafik seperti pada Gambar 16.



Gambar 16. Grafik Perbandingan Koefisien Gesek Statis Sistem dengan Alat Standar

Pada gambar 16, hasil pengukuran koefisien gesek sistem dan alat standar tidak jauh berbeda. Ketepatan berkisar antara 0,93 sampai 0,96. Ketepatan relatif rata-rata pengukuran adalah 94,79%. Kesalahan rata-rata yang terjadi adalah 5,21%.

3. Ketelitian Pengukuran Sistem

Untuk menentukan ketelitian pengukuran ini, dilakukan pengukuran berulang. Dengan menetapkan sudut tertentu yang telah diukur dengan busur, dilakukan pengukuran berulang sebanyak 10 kali menggunakan alat ukur. Selain itu, juga dilakukan pengukuran berulang untuk menentukan sudut kemiringan ketika benda tepat saat akan bergerak dan koefisien gesek statis benda. Berdasarkan pengukuran dapat ditentukan nilai rata-rata, standar deviasi, persentase simpangan dan ketelitian.

a. Ketelitian Pengukuran Sudut Kemiringan Sistem

Ketelitian pengukuran sudut dari sistem ini diperoleh dengan mengukur sudut yang telah diukur dengan busur kemudian melakukan pengukuran sebanyak 10 kali menggunakan sistem yang telah dirancang. Sudut yang telah ditetapkan nilainya menggunakan busur adalah sudut 10°, 30° dan 45°. Ketelitian pengukuran sudut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Ketelitian Pengukuran Sudut Kemiringan Sistem

Sudut Referensi	Theta rata-rata	Ketelitian	Δtheta	Theta ±Δtheta	KR (%)
10	9,4	0,949	0,16	9,4 ± 0,16	1,71
30	28,7	0,985	0,15	28,7 ± 0,15	0,52
45	42,9	0,996	0,1	42,9 ± 0,1	0,23

Dari Tabel 1 terlihat bahwa alat ukur memiliki ketelitian yang tinggi untuk pengukuran sudut. Ketelitian rata-rata untuk 3 variasi waktu pengukuran sudut adalah 0,977 dengan standar deviasi rata-rata 0,1367 dan kesalahan relatif (KR) rata-rata 0,82%

b. Ketelitian Pengukuran Sudut Kemiringan Ketika Benda Tepat saat akan Bergerak

Ketelitian pengukuran sudut kemiringan ketika benda tepat saat akan bergerak diperoleh dengan cara meletakkan benda luncur pada bidang luncur, lalu mengaktifkan sistem. Ketika benda meluncur, akan diperoleh sudut kemiringan benda yang ditampilkan pada LCD. Hal ini dilakukan sebanyak 10 kali untuk benda dan bidang luncur yang sama. Ketelitian pengukuran sudut kemiringan ketika benda tepat saat akan bergerak ditunjukkan oleh Tabel 2.

Tabel 2. Ketelitian Pengukuran Sudut Kemiringan Ketika Benda Tepat saat Akan Bergerak

Benda luncur	Bidang luncur	Sudut Rata-rata	Ketelitian	$\Delta\theta$	KR (%)
Kayu halus	Kayu halus	24,2	0,97	0,29	1,00
Kayu kasar	Kayu kasar	23,4	0,97	0,27	1,14
Kaca	Kaca	21,4	0,97	0,27	1,25
Beton	Karet	35,3	0,97	0,39	1,12
Kaca	Tembaga	14,7	0,93	0,37	2,50
Baja	Tembaga	13,3	0,94	0,30	2,27

Dari Tabel 2 terlihat bahwa alat ukur memiliki ketelitian yang tinggi untuk pengukuran sudut kemiringan ketika benda tepat saat akan bergerak. Persentase kesalahan relatif terbesar yaitu kaca dengan tembaga sebesar 2,5%. Sedangkan persentase kesalahan relatif terkecil yaitu kayu halus dengan kayu halus sebesar 1,00 %.

c. Ketelitian Pengukuran Koefisien Gesek Statis Beberapa Benda

Ketelitian pengukuran koefisien gesek statis beberapa benda diperoleh dengan cara meletakkan benda luncur pada bidang luncur, lalu mengaktifkan sistem. Ketika benda meluncur, akan diperoleh koefisien gesek statis benda yang ditampilkan pada LCD. Hal ini dilakukan sebanyak 10 kali untuk benda dan bidang luncur yang sama. Ketelitian pengukuran koefisien gesek statis beberapa benda ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Ketelitian Pengukuran Koefisien Gesek Statis Beberapa Benda

Benda luncur	Bidang luncur	Rata-rata	Ketelitian	μ_s	KR (%)
Kayu halus	Kayu halus	0,451	0,96	0,015	3,41
Kayu kasar	Kayu kasar	0,434	0,95	0,014	3,23
Kaca	Kaca	0,392	0,98	0,010	2,44
Beton	Karet	0,706	0,96	0,047	6,68
Kaca	Tembaga	0,264	0,93	0,005	1,82
Baja	Tembaga	0,236	0,94	0,005	2,21

Dari Tabel 3 terlihat bahwa alat ukur memiliki ketelitian yang tinggi untuk pengukuran koefisien gesek statis benda. Persentase kesalahan relatif terbesar yaitu beton dengan karet sebesar 6,68%. Sedangkan persentase kesalahan relatif terkecil yaitu kaca dengan tembaga sebesar 1,82 %.

Kelengkapan alat ini dibandingkan dengan alat analog yang terdapat di laboratorium Fisika adalah mengangkat bidang luncur tidak secara manual, tetapi menggunakan motor DC. Terdapat sensor *phototransistor* dan LED untuk mendeteksi ketika benda tepat saat akan bergerak, sehingga kesalahan yang timbul dapat diminimalisir. Selain itu, terdapat sensor *accelerometer* untuk menentukan sudut

kemiringan benda. Nilai koefisien gesek statis juga ditampilkan pada LCD dengan cara membuat tabel hubungan sudut dengan tangen sudut pada mikrokontroler. Untuk mengembalikan posisi bidang luncur ke posisi awal juga dilakukan secara otomatis menggunakan motor DC.

Terdapat beberapa kendala dalam penelitian ini, yaitu dimensi sistem yang besar dan adanya getaran yang tidak diinginkan saat bidang luncur bergerak naik. Kendala ini dapat diatasi dengan melakukan penelitian tindak lanjut untuk mengembangkan penelitian dengan menggunakan bidang luncur yang lebih pendek dan mengganti tali yang menghubungkan motor dan bidang luncur dengan *window regulator*. Oleh karena itu, tidak diperlukan tiang yang tinggi untuk memposisikan motor sehingga efisien terhadap ruang. Selain itu, penggunaan *window regulator* dapat mengurangi getaran yang diinginkan saat bidang luncur bergerak naik.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis terhadap besaran fisika yang ada pada sistem penentuan koefisien gesek statis dapat dikemukakan beberapa kesimpulan dari penelitian ini yaitu:

- Hasil spesifikasi performansi sistem penentuan koefisien gesek statis benda pada bidang miring secara digital ini terdiri dari sistem mekanik dan ditunjang oleh sistem elektronik. Rangkaian elektronika pembangun sistem terdiri dari *power supply* 5 dan 12 volt, rangkaian motor DC, sistem minimum mikrokontroler ATmega16A, dan rangkaian *phototransistor*. *Phototransistor* bersifat *high* dengan tegangan 4,4 Volt ketika ada cahaya dari LED dan bersifat *low* dengan tegangan 0 Volt ketika tidak ada cahaya dari LED. Selain itu, terdapat rangkaian sensor *accelerometer* MEMSIC 2125 yang diletakkan pada bidang luncur untuk menentukan kemiringan bidang luncur terhadap bidang datar. Setiap perubahan posisi sudut pada sensor *accelerometer* MEMSIC 2125 akan mengalami perubahan pada nilai T1. Semakin besar sudut kemiringan sensor *accelerometer*, maka semakin besar nilai T1
- Hasil penentuan ketepatan pengukuran sistem penentuan koefisien gesek statis benda adalah sebagai berikut:
 - Ketepatan pengukuran sudut kemiringan sistem dibandingkan dengan pengukuran sudut kemiringan menggunakan busur didapatkan persentase kesalahan rata-rata 1,48% dan persentase ketepatan relatif rata-rata sistem 98,52%.
 - Ketepatan pengukuran sistem dibandingkan dengan alat standar untuk pengukuran sudut persentase kesalahan rata-rata sebesar 4,62% dan persentase ketepatan relatif rata-rata

sistem 95,38%. Untuk pengukuran koefisien gesek statis kesalahan rata-rata sebesar 5,21% dan persentase ketepatan relatif rata-rata sistem 94,79%.

3. Ketelitian pengukuran sistem penentuan koefisien gesek statis benda cukup tinggi. Untuk pengukuran sudut kemiringan ketelitian rata-ratanya adalah 0,977 dengan standar deviasi rata-rata 0,14 dan kesalahan relatif rata-rata 0,82%, untuk sudut kemiringan ketika benda tepat saat akan bergerak ketelitian rata-ratanya adalah 0,96 dengan standar deviasi rata-rata 0,32 dan kesalahan relatif rata-rata 1,55%, dan untuk koefisien gesek statis pada beberapa benda ketelitian rata-ratanya adalah 0,95 dengan standar deviasi rata-rata 0,016 dan kesalahan relatif rata-rata 3,30%.

DAFTAR PUSTAKA

- (1) Serway, Raymond A dan Jewett John W. 2004. *Physics for Scientists and Engineers*. Thomson Brooks: California
- (2) Purna, RN. 2011. *Motor Arus Searah*. Universitas Sumatera Utara: Medan
- (3) Haryanti, Munnik dan Kusumaningrum, Nurwijayanti. 2008. *Aplikasi Accelerometer 3 Axis Untuk Mengukur Sudut Kemiringan (Tilt) Engineering Model Satelit di Atas Air Bearing*. Jurnal Teknik Elektro Vol. 10 No. 2 Hlm. 55
- (4) Parallax, Inc. 2009. *Memsic 2125 Dual-Axis Accelerometer*. www.parallax.com diakses pada tanggal 12 Juni 2014
- (5) Hidayat, dkk. 2011. *Perancangan Robot Pemadam Api Divisi Senior Berkaki*. Jurnal Ilmiah Semesta Teknik Vol. 14
- (6) Kadir. Abdul. 2012. *Panduan Praktis Mempelajari Aplikasi Mikrokontroler dan Pemrogramannya Menggunakan Arduino*. Andi: Yogyakarta
- (7) Tooley, Mike. 2002. *Rangkaian Elektronik Prinsip dan Aplikasi*. Erlangga: Jakarta
- (8) Atmel. 2009. *Microcontroller with 16K Bytes In-System Programmable Flash*. Orchard Parkway: USA
- (9) Wulandari, Ika Puspita. 2009. *Pembuatan Alat Ukur Kecepatan Respon Manusia Berbasis Mikrokontroler AT 89S8252*. Jurnal Neutrino Vol. 1, No. 2
- (10) Bishop, Owen. 2004. *Dasar-Dasar Elektronika*. Erlangga: Jakarta
- (11) Ginting, Filemon, dkk. 2013. *Perancangan Alat Ukur Kekeruhan Air Menggunakan Light Dependent Resistor Berbasis Mikrokontroler Atmega 8535*. E-Journal Teknik Elektro dan Komputer
- (12) Sutrisno, 1999. *Elektronika Lanjut Teori dan Penerapan*. ITB, Bandung