

PEMBUATAN SET EKSPERIMEN GERAK JATUH BEBAS BERBASIS MIKROKONTROLER DENGAN TAMPILAN PC

Yohanna Dasriyani, Hufri, Yohandri

*Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang
Jl. Prof. Dr. Hamka Air Tawar Barat Padang 25131
Email:yohannady@rocketmail.com*

ABSTRACT

Experiment of free fall motion is one of phenomena in physic. Parameters of free fall motion still measured by *stopwatch* and meter. The purpose of research is development of free fall motion experiment set based on microcontroller with personal computer display. This instrument have highest precision and accuracy. Average of measured result is $9,821 \pm 0,025$ with average of precicion relative is 98,3% and average accuracy is 0,992.

Key words: free fall motion, microcontroller, pc

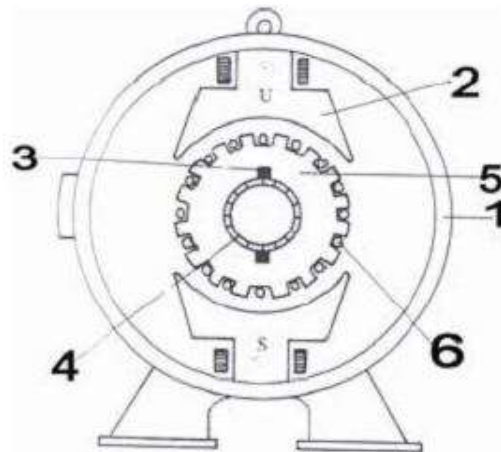
PENDAHULUAN

Fisika merupakan salah satu cabang ilmu pengetahuan alam yang mempelajari tentang gejala alam. Gejala alam didalam fisika dapat ditinjau secara teoritis maupun eksperimen. Eksperimen dilakukan untuk membuktikan kebenaran teori sedangkan teori digunakan untuk memandu jalanya sebuah eksperimen. Gerak jatuh bebas merupakan salah satu gejala alam yang dipelajari di dalam fisika.

Gerak jatuh bebas adalah gerak jatuh benda pada arah vertikal dari ketinggian tertentu tanpa kecepatan awal (Giancolli, 2001). Galileo menyatakan bahwa untuk gerak jatuh bebas semua benda akan jatuh dengan percepatan yang sama jika tidak ada udara dan hambatan lainnya (Young, 2002). Percepatan konstan untuk gerak jatuh bebas adalah percepatan akibat gravitasi bumi (g). Berdasarkan teori, peristiwa gerak jatuh bebas dipengaruhi oleh gaya gravitasi bumi, sehingga nilai percepatan benda pada saat mengalami gerak jatuh bebas adalah mendekati nilai percepatan gravitasi bumi. Untuk membuktikan teori tersebut maka perlu dilakukan eksperimen gerak jatuh bebas. Pengukuran parameter gerak jatuh bebas dalam eksperimen selama ini masih dilakukan secara manual. Beberapa set eksperimen gerak jatuh bebas yang telah di-

kembangkan masih terbatas pada pencatatan waktu secara otomatis. Pencatatan waktu masih menggunakan *stopwatch* sedangkan ketinggian benda masih diatur secara manual (Dian, 2013). Selain itu, pengolahan data untuk mendapatkan nilai percepatan gravitasi bumi masih dilakukan secara manual. Hal ini menyebabkan data hasil pengukuran memiliki ketelitian dan ketepatan yang cukup rendah. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengembangan terhadap set eksperimen gerak jatuh bebas untuk menghasilkan data dengan ketelitian dan ketepatan yang baik. Berdasarkan latar belakang ini, dalam penelitian ini telah dibuat set eksperimen gerak jatuh bebas berbasis mikrokontroler dengan tampilan PC. Sehingga pengukuran dapat dilakukan secara otomatis dan data yang dihasilkan lebih teliti dan akurat. Ketinggian benda dalam penelitian ini diatur menggunakan motor dc.

Motor merupakan sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik (Suroso, 2012). Polaritas dari tegangan yang diberikan pada dua terminal menentukan arah putaran motor sedangkan besar dari beda tegangan pada kedua terminal menentukan kecepatan motor (Deny, 2011). Konstruksi motor dc dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Konstruksi Motor DC

Gambar 1 menampilkan bagian –bagian dari sebuah motor dc yaitu (1) Badan mesin sebagai tempat mengalirnya fluks magnet yang dihasilkan kutub magnet, sehingga harus terbuat dari bahan ferromagnetik; (2) Inti kutub magnet dan belitan penguat magnet yang berfungsi mengalirkan arus listrik sehingga terjadi proses elektromagnetik; (3) Sikat-sikat yang berfungsi sebagai jembatan bagi aliran arus jangkar; (4) Komutator yang berfungsi sebagai penyearah mekanik; (5) Jangkar

Belitan jangkar berfungsi sebagai tempat timbulnya putaran motor; (6) Jenis motor dc yang digunakan dalam penelitian ini adalah motor dc *woarm gear* yang sudah dilengkapi dengan *gear reduce* didalamnya. Pemanfaatan dari *Woarm gear* dc motor ini adalah untuk otomatisasi membuka dan menutupnya kaca secara otomatis yang dikenal dengan *power window* (Niam, 2011).



Gambar 2 Motor DC *Woarm Gear*

Motor dc *woarm gear* digunakan karena memiliki torsi yang besar. Selain menggunakan motor dc, untuk mendeteksi keinggian benda digunakan *limit switch*. *Limit switch* merupakan saklar yang dilengkapi dengan katup yang berfungsi menggantikan tombol (Dianto, 2012).

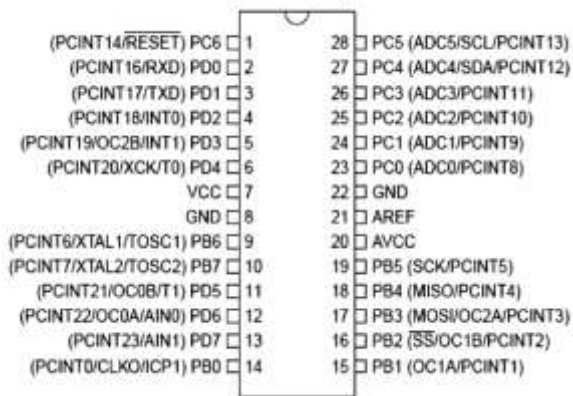
Limit switch berfungsi untuk memutuskan dan menghubungkan arus. *Limit switch* merupakan saklar mekanik yang pada umumnya digunakan untuk otomatisasi suatu rangkaian. Bentuk dari *limit switch* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Bentuk Limit Switch (Aang, 2013)

Berdasarkan Gambar 3, *limit switch* terdiri dari aktuator dan *microswitch* di dalamnya yang berfungsi sebagai pengontak. Pada *microswitch* terdapat kontak NO dan NC yang memiliki beban 5 A yang dapat dihubungkan ke perangkat lainnya. Pada penelitian ini digunakan *limit switch* jenis *normally open*. Mikrokontroler adalah suatu komponen elektronika

yang dapat diprogram dan memiliki kemampuan untuk mengeksekusi langkah-langkah yang telah deprogram (Agfianto, 2002). Arduino Uno merupakan *board* mikrokontroler berbasis atmega 328. Konfigurasi pin mikrokontroler Atmega328 dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Konfigurasi Pin Mikrokontroler Atmega 328

Mikrokontroler Atmega 328 merupakan komponen utama dari kit mikrokontroler arduino. Arduino uno memiliki 14 pin input/output digital, USB, 16 MHz osilator

kristal, ICSP, sambungan SV1, 6 pin input analog, dan tombol reset. Bentuk boar arduino uno dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Bentuk Board Arduino Uno

Arduino memiliki beberapa kelebihan diantaranya adalah arduino telah dilengkapi dengan *bootloader* didalamnya sehingga tidak perlu menggunakan *chip* programmer karena *bootloader* akan menangani *upload* program dari komputer. Arduino memiliki sarana komunikasi USB, sehingga untuk laptop yang tidak memiliki port komunikasi serial bisa menggunakannya. *Software* arduino telah dilengkapi dengan *library* yang cukup lengkap sehingga pemrogramannya relatif mudah. Arduino memiliki modul siap pakai seperti ethernet, SD card, dll yang dapat ditancapkan pada *board* Arduino (Guntoro, 2013).

Power supply (catu daya) adalah suatu sistem yang menyalurkan energi listrik, menurunkan tegangan AC serta mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC. Catu daya teregulasi dibangun dengan menggunakan IC regulator tegangan. Regulasi tegangan yang tak terlalu besar dapat menggunakan IC tiga terminal yang dikenal dengan 78xx dan 79xx (Sutrisno, 1999).

Pengolahan data dilakukan pada PC dengan menggunakan visual basic. Visual basic merupakan bahasa pemrograman yang terstruktur yang memiliki semua sarana yang dibutuhkan untuk membangun program dengan

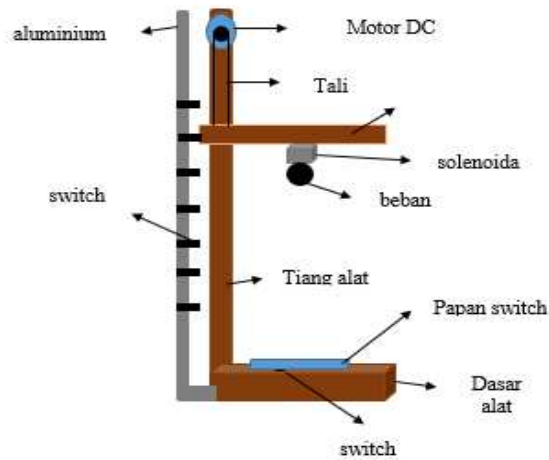
cepat dan efisien (Ayuni, 2009) Struktur visual basic terdiri dari (a) *Form* yaitu tampilan yang merupakan antar muka program; (b) *Control* yaitu tampilan yang berbasis grafis yang dimasukan pada form untuk interaksi tabel, grafik dan lain-lain ; (c) *Properties* yaitu nilai atau karakter yang dimiliki oleh aplikasi visual basic seperti name, size; (d) *Methods* yaitu serangkaian perintah yang telah tersedia dan (e) *Even procedures* yaitu kode yang berhubungan dengan suatu objek yang dapat diminta untuk melakukan tugas khusus.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fisika Universitas Negeri Padang. Peneliiian ini dilakukan pada bulan januari 2014 hingga bulan juli 2014. Tahap-tahap penelitian ini meliputi penulisan proposal penelitian, perancangan sistem, perakitan komponen, pengambilan data dan pengolahan data.

Desain Perangkat Keras

Desain sistem alat ukur ini terdiri dari desain sistem mekanik dan desain rangkaian elektronika dari sisem. Desain mekanik sistem seperti terlihat pada Gambar 5.

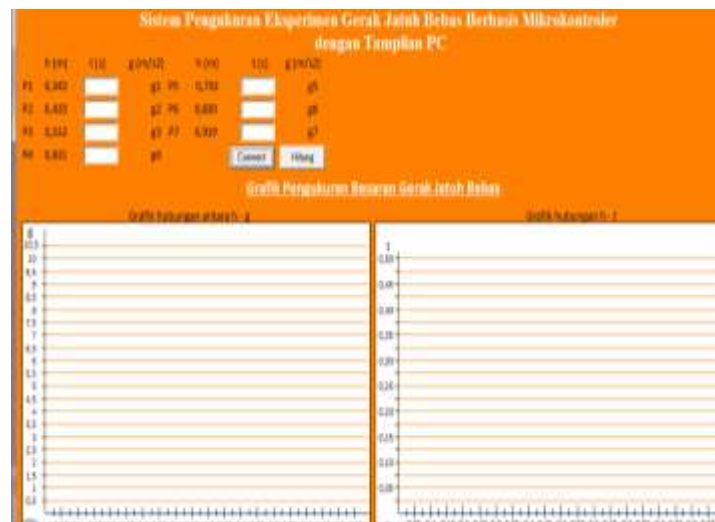


Gambar 5 Desain Mekanik Sistem

Desain mekanik dari penelitian ini terdiri dari tiang alat, lengan alat dan dasar alat. Motor dc digunakan untuk menggerakkan lengan alat. Sedangkan desain rangkaian elektronika dari sistem terdiri dari beberapa blok yaitu blok rangkaian power supply, rangkaian mikrokontroler, *switch*, motor dc dan komunikasi serial ke PC.

Desain Perangkat Lunak

Perangkat lunak merupakan pendukung dari perangkat keras. Perangkat lunak dalam penelitian ini berfungsi untuk memberikan instruksi kepada mikrokontroler serta berfungsi menampilkan hasil pengukuran pada PC. perangkat lunak yang digunakan adalah visual basic. Data hasil pengukuran akan ditampilkan pada PC dalam bentuk tabel dan grafik seperti pada Gambar 6.



Gambar 6 Tampilan Data Eksperimen Gerak Jatuh Bebas Menggunakan Visual Basic Pada PC

Berdasarkan Gambar 12, rancangan tampilan data hasil penelitian terdiri dari tujuh buah kolom waktu dan percepatan gravitasi bumi, sedangkan ketinggian benda telah ditetapkan. Setelah diperoleh data dari alat ukur maka akan muncul grafik hubungan antara ketinggian, waktu dengan percepatan gravitasi bumi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Spesifikasi Performansi Set Eksperimen Gerak Jatuh Bebas

Spesifikasi performansi dari set eksperimen ini merupakan identifikasi dan penguraian dari penyusun sistem. Set eksperimen ini dirancang agar dapat melakukan perhitungan besaran fisis gerak jatuh bebas secara otomatis dengan tampilan pc. hasil rancangan dari set eksperimen ini adalah sebagai berikut.



Gambar 7 Foto Hasil Rancangan Sistem

Berdasarkan Gambar 7, set eksperimen gerak jatuh bebas terdiri dari tiang alat yang berukuran 1,5 m, lengan alat yang berukuran 0,46 m dan dasar alat yang berukuran 30x60 cm. Pada bagian tiang terdapat motor dc yang berfungsi menggerakkan lengan, switch yang berfungsi mengatur ketinggian benda dan solenoida yang berfungsi menahan beban. Pada bagian box alat terdapat tiga tombol yaitu tombol naik, turun dan tombol tahan/jatuh. Tombol tahan/jatuh merupakan tombol yang berfungsi menahan beban dan menjatuhkan beban. Tombol naik dan turun merupakan tombol yang berfungsi menggerakkan lengan naik dan turun yang digunakan sebagai alternatif. Bagian elektronik dari set eksperimen gerak jatuh bebas dapat dilihat pada Gambar 8. Berdasarkan Gambar 8 sistem elektronik set eksperimen gerak jatuh bebas terdiri dari rangkaian minimum mikrokontroler, rangkaian driver motor dc dan solenoida, rangkaian power supply 5 volt dan 12 volt.

Spesifikasi Desain Set Eksperimen Gerak Jatuh Bebas

Ketepatan Set Eksperimen

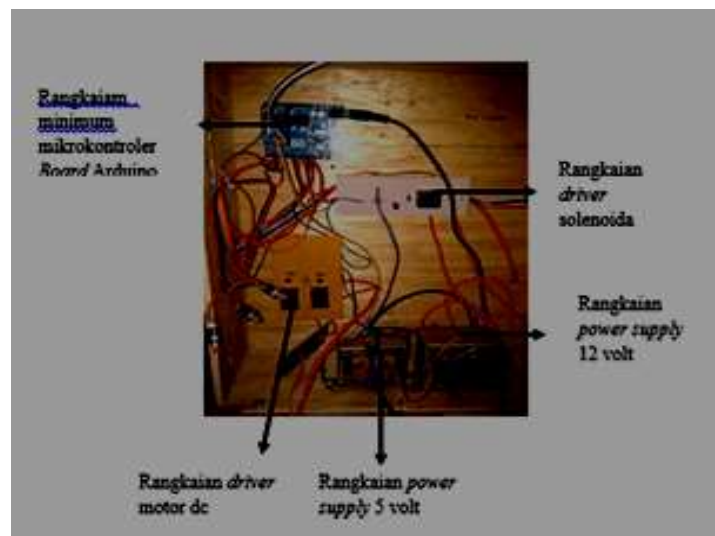
Ketepatan set eksperimen gerak jatuh bebas diperoleh dengan cara membandingkan hasil pengukuran dengan alat ukur standar. Pengukuran waktu yang dihasilkan oleh set eksperimen dibandingkan dengan pengukuran yang dilakukan oleh *sopwatch* yang diparalelkan dengan set eksperimen. Ketepatan pengukuran waktu berkisar antara 0,933 hingga 1 dan ketepatan rata-rata adalah 0,987. Ketepatan relatif rata-rata dari pengukuran waktu adalah 98,7%. Kesalahan pengukuran terbesar adalah 0,067% dan terkecil adalah 0%. Hal ini menunjukkan set eksperimen gerak jatuh bebas memiliki ketepatan yang tinggi untuk perhitungan waktu. Sementara itu, ketepatan pengukuran ketinggian set eksperimen gerak jatuh bebas ini dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran dengan menggunakan meteran. Berdasarkan hasil analisis data diperoleh bahwa perbedaan antara pengukuran ketinggian benda oleh set eksperimen gerak jatuh bebas dengan pengukuran ketinggian benda menggunakan

meteran tidak terlalu besar dengan kesalahan pengukuran terbesar adalah 2,5% dan terkecil adalah 0%. Ketepatan rata-rata adalah 0,985 dengan ketepatan relatif rata-rata 98,5 %.

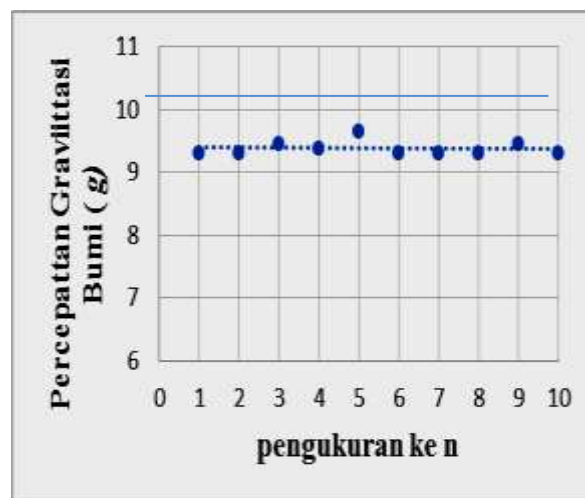
Ketelitian Set Eksperimen

Ketelitian pengukuran ini diperoleh dengan cara melakukan pengukuran secara berulang. Setiap variasi ketinggian dilakukan pengukuran sebanyak 10 kali. Berdasarkan data pengukuran dapat ditentukan nilai rata-rata,

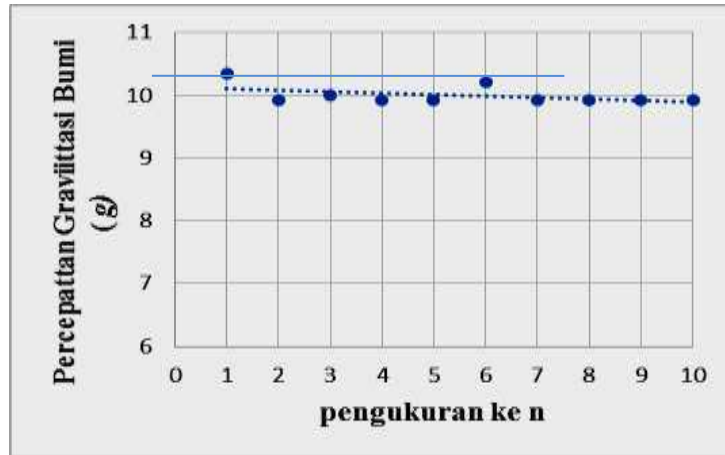
standar deviasi, persentase simpangan dan ketelitian. Hasil pengukuran percepatan gravitasi bumi oleh set eksperimen gerak jatuh bebas dibandingkan dengan nilai percepatan gravitasi bumi yang diperoleh secara teori yaitu $9,8 \text{ m/s}^2$ dan nilai percepatan gravitasi bumi di laboratorium fisika Universitas Negeri Padang yaitu $9,849 \text{ m/s}^2$. Grafik ketelitian set eksperimen gerak jatuh bebas untuk masing-masing ketinggian adalah sebagai berikut.



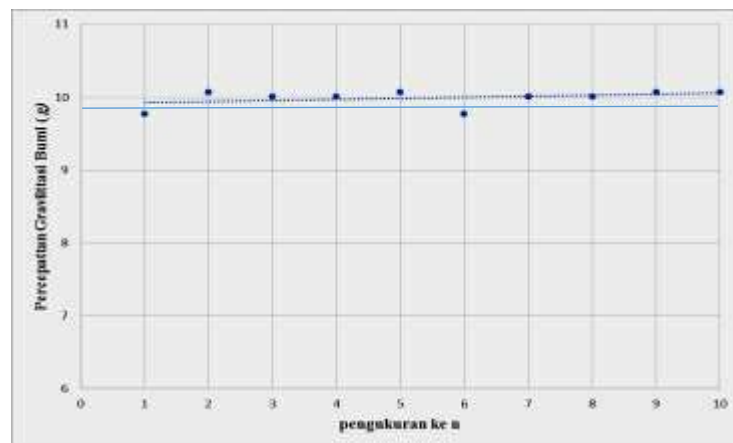
Gambar 8 Rangkaian Elektronika Set Eksperimen Gerak Jatuh Bebas



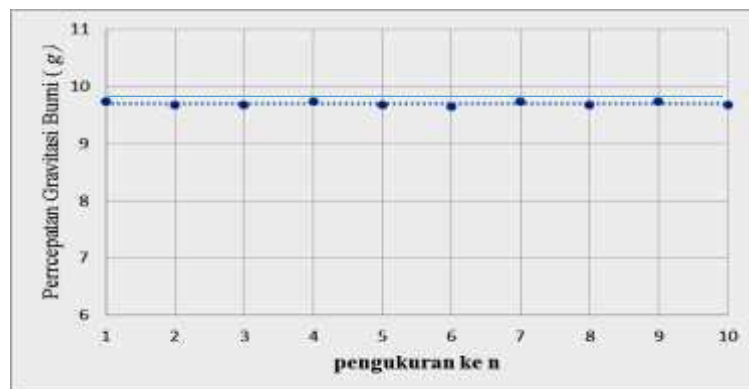
Gambar 9 Grafik ketelitian Set Eksperimen Gerak Jatuh Bebas pada ketinggian 0,342 m
 Garis Lurus Pada Grafik Diatas Merupakan Nilai Percepatan Gravitasi Bumi yang Diperoleh secara Teori yaitu $9,8 \text{ m/s}^2$.



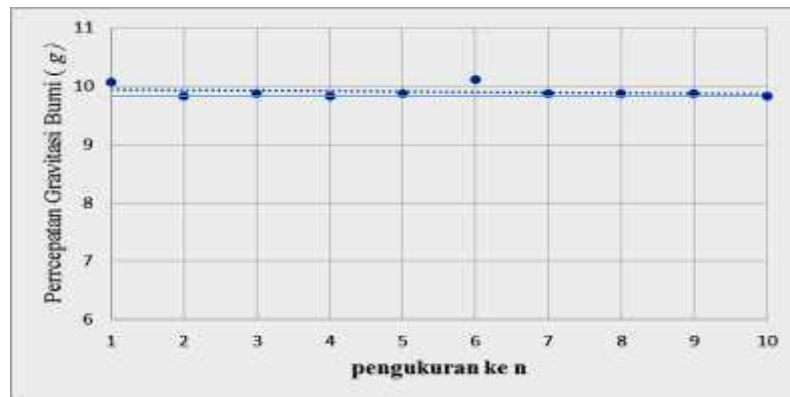
Gambar 10 Grafik ketelitian Set Eksperimen Gerak Jatuh Bebas pada Ketinggian 0,435 m



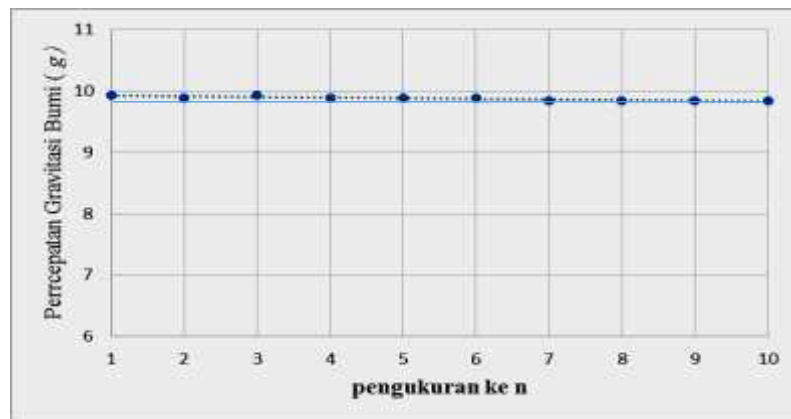
Gambar 10 Grafik ketelitian Set Eksperimen Gerak Jatuh Bebas pada Ketinggian 0,513 m



Gambar 14 Grafik ketelitian Set Eksperimen Gerak Jatuh Bebas pada Ketinggian 0,631 m



Gambar 13 Grafik ketelitian Set Eksperimen Gerak Jatuh Bebas pada ketinggian 0,83 m



Gambar 16 Grafik ketelitian Set Eksperimen Gerak Jatuh Bebas pada Ketinggian 0,919 m

Ketelitian pengukuran waktu oleh set eksperimen gerak jatuh bebas dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan Tabel 1 set eksperimen gerak jatuh bebas memiliki ketelitian yang tinggi untuk pengukuran waktu. Ketelitian rata-

rata untuk tujuh variasi ketinggian adalah 0,992 dengan standar deviasi rata-rata 0,006. Data ketelitian pengukuran ketinggian benda oleh set eksperimen gerak jatuh bebas dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1 Ketelitian Pengukuran Waktu Oleh Set Eksperimen Gerak Jatuh Bebas

Ketinggian (m)	Waktu Rata-Rata (s)	Ketelitian	Δt	Waktu $\pm \Delta t$
0,342	0,270	0,996	0,003	0,270 \pm 0,003
0,435	0,295	0,995	0,003	0,295 \pm 0,003
0,532	0,327	0,994	0,001	0,327 \pm 0,001
0,631	0,361	0,997	0,003	0,361 \pm 0,003
0,733	0,385	0,998	0,003	0,385 \pm 0,003
0,83	0,409	0,980	0,027	0,409 \pm 0,027
0,919	0,431	0,990	0,003	0,431 \pm 0,003

Tabel 2 Ketelitian Pengukuran Ketinggian Benda Oleh Set Eksperimen Gerak Jatuh Bebas

Ketinggian (m)	h rata-raata (m)	Ketelitian	Δh	$h \pm \Delta h$	KR%
0,342	0,344	0,997	0,0003	$0,344 \pm 0,0003$	0,556
0,435	0,434	0,996	0,0001	$0,434 \pm 0,00001$	0,391
0,532	0,529	0,997	0,0006	$0,529 \pm 0,0006$	0,526
0,631	0,628	0,995	0,003	$0,628 \pm 0,003$	0,539
0,731	0,728	0,998	0,001	$0,728 \pm 0,001$	0,628
0,83	0,824	0,993	0,0018	$0,824 \pm 0,0018$	0,734
0,919	0,919	0,999	0,0004	$0,919 \pm 0,0004$	0,120

Berdasarkan Tabel 2, pengukuran ketelitian ketinggian benda memiliki kesalahan relatif rata-rata set eksperimen gerak jatuh bebas adalah 0,499%. Ketelitian rata-rata 0,996 dan standar deviasi rata-rata adalah 0,001.

Berdasarkan analisa data, ketelitian set eksperimen gerak jatuh bebas berbasis mikrokontroler dibandingkan dengan nilai percepatan gravitasi bumi $9,8 \text{ m/s}^2$ memiliki ketelitian rata-rata 0,993, standar deviasi rata-rata adalah 0,025 dan kesalahan rata-rata 1,74 %. Kesalahan relatif rata-rata pengukuran percepatan gravitasi bumi set eksperimen gerak jatuh bebas dibandingkan dengan nilai percepatan gravitasi bumi di Laboratorium Fisika ($9,849 \text{ m/s}^2$) adalah 1,57%.

Berdasarkan analisis baik secara grafik maupun statistik menunjukkan hasil yang sesuai dengan tujuan. Adapun hasil yang diperoleh yaitu spesifikasi performansi sistem, ketepatan dan ketelitian pengukuran sistem set eksperimen gerak jatuh bebas berbasis mikrokontroler. Set eksperimen gerak jatuh bebas ini bekerja pada keadaan *low* (*active low*). Keseluruhan sistem set eksperimen pada keadaan awal diatur oleh mikrokontroler dalam keadaan *high*. Ketinggian benda diset secara otomatis menggunakan motor dc. Pada saat tombol connect pada PC di klik, maka motor akan bergerak menuju posisi ketinggian terendah. Solenoida akan aktif saat tombol tahan ditekan yang menyebabkan munculnya medan magnet pada solenoida sehingga dapat menarik beban. Beban akan jatuh saat tombol jatuh ditekan sehingga *timer* pada mikrokontroler aktif. Saat benda mengenai *switch* pada dasar alat maka timer mikrokontroler *off*. Sesaat setelah benda mengenai *switch* pada dasar alat, maka lengan alat

secara otomatis akan bergerak keposisi ketinggian berikutnya. Data ketinggian, waktu dan percepatan gravitasi bumi ditampilkan pada PC dalam bentuk tabel dan grafik. Tombol naik dan turun yang terdapat pada box alat berfungsi sebagai alternatif jika terdapat masalah pada *looping* program mikrokontroler untuk pengaturan ketinggian otomatis.

Kelebihan set eksperimen gerak jatuh bebas ini adalah pengukuran waktu dilakukan secara otomatis menggunakan mikrokontroler sehingga dapat meminimalisir kesalahan dibandingkan pengukuran dengan menggunakan *stopwatch*. Pada set eksperimen gerak jatuh bebas ini, ketinggian benda diatur secara otomatis dengan menggunakan motor dc dan *switch*. Selain itu, pengolahan data dan tampilan data dilakukan pada *Personal Computer* (PC).

Kendala yang ditemui dapat diatasi dengan melakukan pengembangan penelitian lebih lanjut yaitu dengan menggunakan sensor jarak yang memiliki ketelitian yang cukup baik sehingga diperoleh variasi ketinggian yang lebih baik dan data yang lebih akurat. Penggunaan sensor jarak yang memiliki ketelitian yang cukup baik dapat meminimalisir dimensi sistem, sehingga tidak perlu dibutuhkan sistem yang terlalu tinggi. Sehingga variasi ketinggian benda dapat dimaksimalkan untuk menghasilkan data yang lebih akurat dan teliti.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis terhadap besaran fisika yang ada pada set eksperimen gerak jatuh bebas maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil Sistem performansi set eksperimen gerak jatuh bebas berbasis mikrokontroler dengan tampilan PC terdiri dari sistem mekanik dan elektronik. Sistem mekanik terdiri dari motor, solenoida, lengan alat, tiang alat, tiang *switch* dan dasar alat. Sistem elektronik set eksperimen gerak jatuh bebas terdiri dari rangkaian catu daya, rangkaian *driver* motor dc, rangkaian *driver* solenoida.
2. Set eksperimen gerak jatuh bebas berbasis mikrokontroler dengan tampilan PC memiliki ketepatan yang cukup tinggi. Hasil pengukuran waktu set eksperimen gerak jatuh bebas memiliki persentase kesalahan rata-rata 0,013% dan persentase ketepatan relatif rata-rata 98,704%. Hasil pengukuran percepatan gravitasi bumi oleh set eksperimen gerak jatuh bebas dibandingkan dengan nilai percepatan gravitasi bumi $9,8 \text{ m/s}^2$ memiliki kesalahan relatif rata-rata pengukuran adalah 1,743% dan ketepatan relatif rata-rata pengukuran adalah 98,25%. Data hasil pengukuran percepatan gravitasi bumi dibandingkan dengan nilai percepatan gravitasi bumi di Laboratorium Fisika Universitas Negeri Padang ($9,849 \text{ m/s}^2$) memiliki ketepatan relatif rata-rata 98,3% dengan kesalahan relatif rata-rata adalah 1,578%
3. Ketelitian set eksperimen gerak jatuh bebas berbasis mikrokontroler dengan tampilan PC cukup tinggi. Pengukuran waktu selama benda mengalami gerak jatuh bebas memiliki ketelitian rata-rata 0,992, kesalahan relatif rata-rata adalah 0,013% dengan standar deviasi rata-rata 0,006. Untuk pengukuran percepatan gravitasi bumi memiliki ketelitian rata-rata 0,993, standar deviasi rata-rata 0,025 dan kesalahan relatif rata-rata pengukuran jika dibandingkan dengan nilai percepatan gravitasi bumi $9,8 \text{ m/s}^2$ adalah 1,743%. Sedangkan kesalahan relatif rata-rata pengukuran jika dibandingkan dengan nilai percepatan gravitasi bumi di Laboratorium Fisika Universitas Negeri Padang adalah 1,578%. Rata-rata hasil pengukuran

percepatan gravitasi bumi menggunakan set eksperimen gerak jatuh bebas berbasis mikrokontroler dengan tampilan PC adalah $9,821 \pm 0,025 \text{ m/s}^2$.

Berdasarkan pembahasan yang telah dikemukakan maka sebagai saran untuk ditindak lanjuti dalam pengembangan penelitian ini adalah perlu dilakukan pengembangan set eksperimen gerak jatuh bebas berbasis mikrokontroler dengan tampilan PC yaitu menggunakan sensor jarak yang memiliki ketelitian dan ketepatan yang cukup baik serta praktis dalam aplikasinya sehingga tidak memerlukan dimensi sistem yang cukup besar dan data yang diperoleh lebih akurat. Data grafik hubungan ketinggian benda dengan waktu harusnya berbentuk ekponensial, sehingga diperlukan rancangan sistem dan program yang lebih baik dan teliti.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

- Aang dkk. 2013. Pembuatan Sistem Otomasi Untuk Pengaturan Mekanisme Kerja Mesin Cetak Kerupuk Menggunakan Mikrokontroler Atmega. *Jurnal Fema* Vol 1.No.1
- Agfianto EP. 2002. *Belajar mikrokontroler AT89S52/53*. Yogyakarta : Gava Media
- Ayuni, Wulan. 2009. *Sistem Informasi Data Pegawai Pada PT. Arun Ngl Co Menggunakan Visual Basic 6.0*. Medan : Universitas Sumatera Utara.
- Deny WN. 2011. *Sistem Pengaturan Mesin Pemotong Kentang Berbasis Programmable Logic Controller*. Palu : Universitas Tadulako.
- Dian ES. 2013. *Pengembangan Alat Gerak Jatuh Bebas Sebagai Media Pembelajaran Konsep Geerak Jatuh Bebas*. Bandar Lampung : Universitas Lampung
- Dianto, Ledi. 2012. *Alat Pendeteksi Warna Menggunakan Sensor TCS3200 Berbasis Mikrokontroler Atmega 8535*. Depok: Universitas Gunadarma
- Giancolli, Douglas C. 2001. *Fisika Jilid 2 edisi kelima*. Jakarta : Erlangga.
- Guntoro, Helmi dkk. 2013. *Rancang Bangun Magnetic Door lock Menggunakan Keypad Dan Solenoid Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno*. *Jurnal Elektrans* Vol. 12 No.1.

- Niam, Choirun. 2011. *Perancangan dan Pembuatan Prototipe Robot Inspeksi Rel Kereta Api*. Semarang: Universitas Diponegoro
- Suroso, dkk. 2012. *Rancang Bangun Sistem Mekanik Penggerak Sumber dan Penahan Radiasi*. Yogyakarta: Badan Tenaga Nuklir Nasional.
- Sutrisno, 1999. *Elektronika Lanjut Teori dan Penerapan*. ITB, Bandung.
- Young & freedman. (2002). *Fisika Universitas Edisi Kesepuluh*. Jakarta : Erlangga.