

RANCANG BANGUN ALAT PERAGA PRAKTIKUM GERAK JATUH BEBAS

Obet A. Atani, Laura A. S. Laponi, Andreas Ch. Louk

Fisika, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Jl. Adisucipto Penfui Kupang NTT
Email: andreas.louk@staf.undana.ac.id

Abstrak

Telah dirancang sebuah sistem alat peraga praktikum gerak jatuh bebas dengan memanfaatkan fotodiode dan LED inframerah untuk mendeteksi gerak benda. Arduino Mega ADK sebagai pengontrol sistem, digunakan metode regresi non-linear polinomial orde dua dan bantuan bahasa pemrograman delphi 2010 untuk menganalisis persamaan gerak benda. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai waktu tempuh benda, percepatan gravitasi, kecepatan dan grafik ketinggian serta kecepatan terhadap waktu. Nilai waktu tempuh objek yang diperoleh dari sensor pertama hingga sensor duabelas secara berturut-turut adalah 0.013944 s, 0.12069 s, 0.187906 s, 0.242262 s, 0.289044 s, 0.330328 s, 0.36791 s, 0.402518 s, 0.435036 s, 0.465516 s, 0.494536 s, 0.522316 s. Nilai Kecepatan dari sensor pertama hingga sensor duabelas secara berturut-turut adalah -0.998308 m/s, 2.043109 m/s, -2.701001 m/s, -3.233022 m/s, -3.690912 m/s, -4.094988 m/s, -4.462831 m/s, -4.801565 m/s, -5.119842 m/s, -5.418172 m/s, -5.702212 m/s, -5.974115 m/s. Nilai percepatan gravitasi yang diperoleh pada lokasi dengan posisi lintang -10.155021° dan elevasi 43 meter adalah $-978,893.4689 \pm 26.453 \text{ milGal}$. Grafik ketinggian terhadap waktu menunjukkan grafik parabola dan grafik kecepatan terhadap waktu menunjukkan grafik linear.

Kata kunci: Gravitasi, gerak jatuh bebas, metode regresi non-linear polinomial orde dua, arduino mega ADK, fotodiode, LED inframerah, bahasa pemrograman delphi 2010.

Abstract

A free-fall motion practicum system has been designed by utilizing photodiodes and infrared LEDs to detect object motion. Arduino Mega ADK as a system controller used a second-order non-linear polynomial regression method and Delphi 2010 programming language to analyze the equations of motion of objects. This study aims to determine the value of travel time of objects, acceleration of gravity, speed, and graph of altitude and speed of time. The value of travel time of objects obtained from the first sensor to twelve sensors is respectively 0.013944 s, 0.12069 s, 0.187906 s, 0.242262 s, 0.289044 s, 0.330328 s, 0.36791 s, 0.402518 s, 0.435036 s, 0.465516 s, 0.494536 s, 0.522316 s. The value of the speed from the first sensor to twelve sensor is -0.998308 m/s, -2.043109 m/s, -2.701001 m/s, -3.233022 m/s, -3.690912 m/s, -4.094988 m/s, -4.462831 m/s, -4.801565 m/s, -5.119842 m/s, -5.418172 m/s, -5.702212 m/s, -5.974115 m/s. Gravity acceleration values obtained at locations with latitude -10.155021° and 43 meters elevation are $-978,893.4689 \pm 26.453 \text{ milGal}$. The height chart for time shows a parabolic chart and a speed-to-time graph shows a linear graph.

Keywords: Gravity, free fall motion, second-order polynomial non-linear regression method, Arduino Mega ADK, photodiode, infrared LED, delphi 2010 programming language.

PENDAHULUAN

Ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK) saat ini berkembang sangat pesat ditandai dengan kehidupan manusia yang berbasis teknologi. Seiring dengan perkembangan IPTEK maka manusia dituntut agar mampu memanfaatkan IPTEK dalam menyelesaikan berbagai fenomena alam dalam berbagai bidang, salah satunya dalam bidang fisika. Fisika merupakan salah satu cabang ilmu pengetahuan alam yang mempelajari tentang fenomena alam. Fenomena alam didalam fisika dapat ditinjau secara teoritis maupun eksperimen. Eksperimen dilakukan

untuk membuktikan kebenaran teori sedangkan teori digunakan untuk memandu jalannya sebuah eksperimen.

Gerak jatuh bebas merupakan salah satu fenomena alam yang dipelajari di dalam fisika. Gerak jatuh bebas adalah gerak jatuh benda pada arah vertikal dari ketinggian tertentu tanpa kecepatan awal,[1].Galileo Menyatakan bahwa untuk gerak jatuh bebas semua benda akan jatuh dengan percepatan yang sama jika tidak ada udara dan hambatan lainnya, [2].Percepatan ini disebut percepatan gravitasi (g) yang besarnya sama dengan 9.83 m/s^2 . Dalam hal ini percepatan benda disebabkan

oleh gaya gravitasi. Percepatan gravitasi selalu mengarah ke pusat bumi. Percepatan gravitasi tidak bergantung pada sifat material. Pada daerah equator nilai $g = 9.78 \text{ m/s}^2$ sedangkan pada daerah kutub utara $g = 9.83 \text{ m/s}^2$ [3].

Gerakan benda jatuh bebas adalah contoh gerak yang paling sederhana dan paling umum dengan kecepatan berubah. Dilihat dari persamaan gerak jatuh bebas maka merupakan fungsi parabola sehingga grafik perbandingan posisi terhadap waktu seharusnya menunjukkan grafik parabolik. Gerak jatuh bebas merupakan contoh gerak lurus berubah beraturan, dengan ciri-ciri lintasannya lurus, kecepatan benda berubah secara beraturan dan percepatan benda konstan. [3].

Berdasarkan teori gerak jatuh bebas bahwa peristiwa gerak jatuh bebas dipengaruhi oleh gaya gravitasi bumi, grafik perbandingan posisi terhadap waktu merupakan grafik parabola, grafik kecepatan terhadap waktu merupakan grafik linear, kecepatan benda berubah secara beraturan dan nilai percepatan benda pada saat mengalami gerak jatuh bebas adalah sama dengan nilai percepatan gravitasi bumi. Untuk mempermudah dalam memahami teori tersebut maka di perlukan suatu alat peraga gerak jatuh bebas.

Fotodioda merupakan piranti semikonduktor dengan struktur p-n yang dirancang untuk beroperasi bila dibiaskan dalam keadaan terbalik, untuk mendeteksi cahaya.



Gambar 1. Fotodioda

Ketika energi cahaya dengan panjang gelombang yang benar jatuh pada sambungan photodioda, arus mengalir dalam sirkuit eksternal. Komponen ini kemudian akan bekerja sebagai generator arus, yang arusnya sebanding dengan intensitas cahaya itu. Cahaya diserap di daerah penyambungan atau daerah intrinsik menimbulkan pasangan elektron-hole yang mengalami perubahan karakteristik elektrik ketika energi cahaya melepaskan pembawa muatan dalam bahan itu, sehingga menyebabkan berubahnya konduktivitas.

LED adalah dioda yang menghasilkan cahaya saat diberi energi listrik. Dalam bias maju sambungan p-n terdapat rekombinasi antara elektron bebas dan lubang (hole). Energi ini tidak seluruhnya diubah kedalam bentuk energi cahaya atau photon tetapi dalam bentuk panas sebagian.

Mengapa LED dapat memancarkan cahaya? Sebabnya adalah sebagai berikut: Bila suatu dioda diberi prategangan maju, elektron-elektron bebas akan bergabung kembali dengan hole-hole disekitar persambungan. Ketika meluruh dari tingkat energi lebih tinggi ketingkat energi lebih rendah, elektron-elektron bebas tersebut akan mengeluarkan energinya dalam bentuk radiasi. Dalam dioda penyearah hampir seluruh energi ini diubah dalam bentuk panas, tetapi dalam LED sebagian dari selisih energi ini dilepaskan sebagai radiasi cahaya. Proses pemancaran cahaya akibat adanya energi listrik yang diberikan terhadap suatu bahan disebut dengan sifat elektroluminesensi. Material lain misalnya Galium Arsenida Pospat (GaAsP) atau Galium Pospat (GaP): Photon energi cahaya dipancarkan untuk menghasilkan cahaya tampak. Jenis lain dari LED digunakan untuk menghasilkan energi tidak tampak seperti yang dipancarkan laser atau inframerah.

Pemancaran inframerah adalah dioda solid state yang terbuat dari bahan Arsenida (GaAs) yang mampu memancarkan fluks cahaya ketika dioda ini dibias maju. Bila diberi bias maju elektron dari daerah-n akan menutup lubang elektron yang ada didaerah-p. Selama proses rekombinasi ini, energi dipancarkan keluar dari permukaan p dan n dalam bentuk foton. Foton-foton yang dihasilkan ini ada yang diserap lagi dan ada yang meninggalkan permukaan dalam bentuk radiasi energi.

Gambar 2. Fotodioda



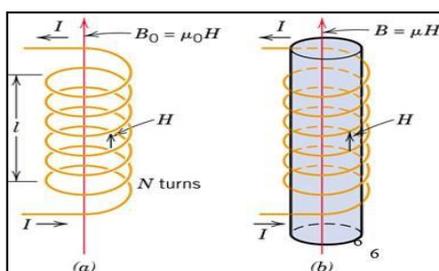
Induksi magnet adalah besar medan magnet yang ditimbulkan oleh arus listrik. Solenoida merupakan kawat berbahan konduktor yang disusun sehingga membentuk

kumparan (koil) dan dapat dialiri arus listrik (Priyambodo, 2010) [4]

. Jika sepotong besi ditempatkan di dalam medan magnet akan bersifat seperti magnet, karena induksi kemagnetan. Logam ferromagnetik lebih mudah dijadikan magnet dari pada logam paramagnet. Dengan demikian jumlah garis gaya di dalam besi adalah jauh lebih besar dari pada didalam medan magnet di luar besi (diudara) (Suryatmo, 2005) [5].

Jika dalam suatu kumparan kawat ditempatkan sebuah inti besi lunak dan dialiri arus listrik, maka pada kumparan tadi akan dibangkitkan medan magnet, sehingga pada ujung-ujung inti besi lunak akan dipermagnet (menjadi magnet) [5]. Bahan ferromagnetik bila diradiasi medan magnet menyebabkan kuat medan magnet di dalam bahan itu menjadi besar sekali. Sebagai contoh, kuat medan magnet (ketika di udara) $2.0 \times 10^{-4} T$, maka ketika di dalam bahan ferromagnetik menjadi 1.0 atau 5000 kali lebih besar. Contoh bahan ferromagnetik adalah besi, kobalt, nikel, disprosium dan gadolinium [5].

Jika penghantar itu berbentuk lilitan atau kumparan kawat dan dialiri arus listrik maka akan timbul medan magnet. Salah satu ujung menjadi kutub utara (U) sedangkan ujung yang lain menjadi kutub Selatan (S). Sebuah rangkaian solenoida adalah rangkaian yang terdiri dari beberapa loop lingkaran koaksial dengan jari-jari sama besar dan semuanya mengalirkan arus yang sama.[6]



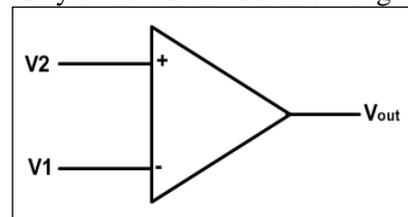
Gambar 3. Induksi magnet pada solenoida
 (a) Solenoida dengan inti udara (b) Solenoida dengan inti besi [7]

LM324 adalah salah satu IC Penguat Operasional (Op-Amp) yang berfungsi untuk penguat sinyal. Aplikasi op-amp yang paling dasar, yaitu sebagai pembanding tegangan (komparator). Komparator digunakan sebagai pembanding dua buah tegangan. Sebuah Op-Amp memiliki 2 tegangan masukan (V_1 dan V_2) dan 1 tegangan keluaran (V_{out}). Tegangan

V_1 merupakan masukan membalik (*inverting*) dan tegangan V_2 merupakan masukan tak membalik (*noninverting*).[8]

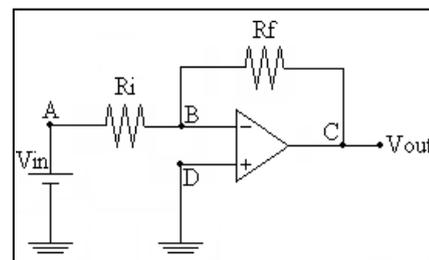
Penguat Membalik

Rangkaian penguat membalik merupakan rangkaian penguat operasional yang membalikkan sinyal masukan (*input*). Artinya, jika sinyal masukan bernilai positif maka sinyal keluaran bernilai negatif dan



sebaliknya.

Gambar 4. Simbol LM324



Gambar 5. Rangkaian membalik LM324.

Arduino ADK adalah papan mikrokontroler berbasis ATmega2560. Terdapat USB host interface untuk koneksi pada handphone berbasis Android, berbasis MAX3421eIC. Mempunyai 54 pin digital input/output dimana, 14 pin dapat digunakan sebagai output PWM, 16 analog input, 4 UARTs (hardware serial ports), 16 MHz crystal oscillator, sambungan USB, power jack, ICSP header dan tombol reset [9].

Gambar 6. Arduino Mega ADK



METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Perancangan dan pengujian alat dilakukan di Laboratorium Fisika Fakultas Sains dan Teknik Universitas Nusa Cendana pada bulan Maret 2017- Oktober 2018.

Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini dikelompokkan menjadi dua bagian yaitu perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Perangkat lunak IDE Arduino, IDE Delphi 2010 dan Fritzing. Sedangkan perangkat keras seperti Modul Arduino Mega ADK, Sensor Fotodiode, LED IR, LED Merah, LED Hijau, LED Putih, LED kuning, IC LM324, Resistor, Power Supply, Step Down DC to DC, Driver Motor L298N, Kawat enamel-email, Besi, Bola pejal, Kabel pelangi dan Pin header male.

Prosedur Kerja

Prosedur kerja ini di bagi dalam dua bagian yaitu perancangan perangkat keras (*Hardware*) dan perancangan perangkat lunak (*Software*) masing-masing adalah sebagai berikut:

1. Perancangan Sensor

Menggunakan 12 Fotodiode, 12 LED inframerah dan 12 Penguat sinyal (3 buah IC LM324), 12 buah Diode 1N4148, 12 LED merah, 12 LED hijau, LED putih, LED kuning, LED biru masing-masing 1 buah dan 16 Resistor 100 ohm dan 13 resistor 1K.

2. Perancangan Solenoida

Perancangan solenoida ini memanfaatkan konsep bahwa disekitar kawat berarus listrik terdapat medan magnet. Pada kasus solenoida kemudian diletakkan bahan ferromagnetik di dalam solenoida yang berfungsi memperbesar kuat medan magnet. Perancangan solenoida menggunakan kawat enamel email, paralon dengan panjang 3 cm dan diameter 22,21 mm, besi dengan Panjang 3 cm dan diameter 18,35 mm, isolasi kertas dan bahan pembatas bidang. Perancangan ini bertujuan untuk menghasilkan medan magnet yang akan berfungsi menarik bola besi (bahan ferromagnetik) jadi ketika arus yang mengalir pada solenoida diputuskan maka solenoida akan kehilangan kemagnetannya sehingga bola besi akan mengalami gerak jatuh bebas menuju permukaan bumi.

3. Perancangan Alat

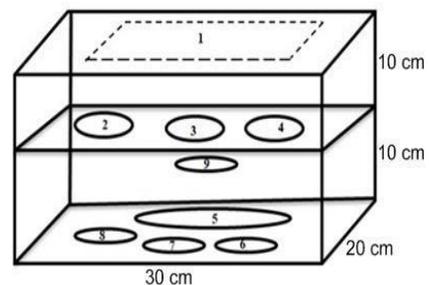
Secara garis besar alat dirancang menjadi 2 bagian, bagian pertama yaitu bagian kotak pengontrol dan indikator. Bagian kedua adalah bagian sistem perekam gerak benda. Bentuk pada bagian pertama dibuat seperti kotak sederhana seperti yang ditunjukkan pada

gambar 7. Tampilan luar tempat indikator berupa LED ditunjukkan pada Gambar 8.

Keterangan Untuk Gambar 7:

1. Pin Konektor IR dan Fotodiode
2. Rangkaian Sensor
3. Rangkaian LM324
4. Arduino Mega ADK Power Supply
5. Step Down 1
6. Step Down 2
7. Motor Driver (L298N8)
8. Kipas Angin

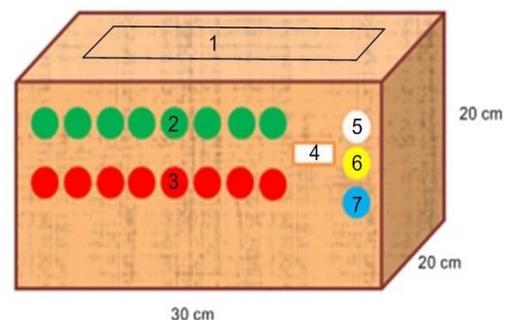
Gambar 7. Kerangka dalam kotak rangkaian



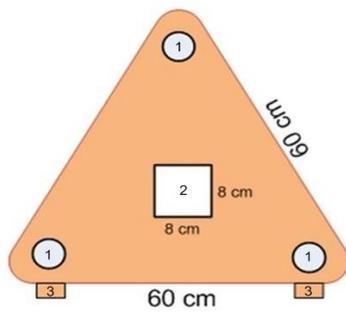
Gambar 8. Kotak rangkaian dilihat dari depan

Keterangan Untuk Gambar 8:

1. Pin Konektor IR dan Fotodiode.
2. LED indikator Fotodiode
3. LED indikator LED Inframerah
4. Lubang Port USB Arduino
5. LED indikator Solenoida
6. LED indikator Data dibaca Arduino
7. LED indikator LM324.



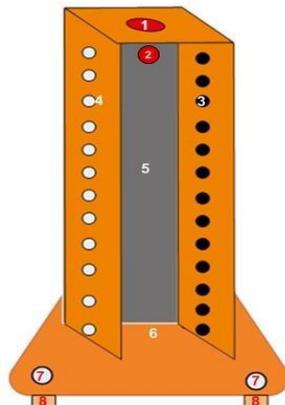
Untuk Bagian kedua yaitu bagian perekam gerak benda, dibuat sebuah alas kaki untuk mendirikan tiang perekam gerak benda. Alas kaki dibuat berbentuk segitiga dengan diletakkan pengatur ketinggian pada sudut-sudutnya seperti dapat dilihat pada gambar 9, sehingga dapat diatur sedemikian rupa agar tiang perekam dapat berdiri tegak lurus terhadap lantai dan tiang dapat sejajar dengan arah gravitasi.



Gambar 9. Alas Mekanik
Keterangan Untuk Gambar 9:

1. Water Pass.
2. Lubang Lintasan Objek.
3. Kaki mekanik (Bot full drat).

Tiang perekam gerak benda dibuat agar dapat menempatkan solenoida yang menahan benda dan juga sepasang detektor inframerah (LED dan fotodiode saling berhadap-hadapan) yang diletakkan dengan jarak 16.1 cm antara setiap pasang dari atas kebawah.



Gambar 10. Tiang Perekam gerak benda.

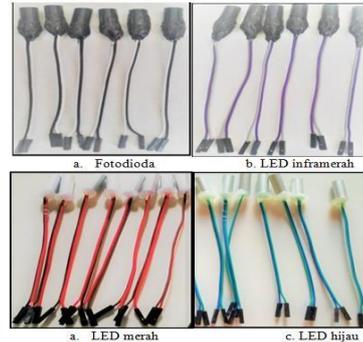
Keterangan:

1. Solenoida
2. Objek
3. LED Inframerah
4. Fotodiode
5. Lintasan Objek
6. Lubang Lintasan Objek
7. Water Pass
8. Kaki mekanik (Bot full drat).

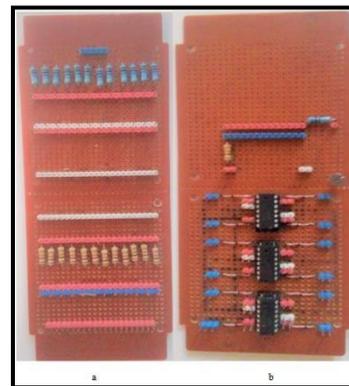
HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan dan Pengujian Sensor

Sensor Fotodiode dan LED Inframerah yang digunakan masing- masing berjumlah 12 buah. Digunakan 12 buah LED merah, LED hijau, LED kuning dan LED putih.



Gambar 11. Hasil perancangan fotodiode, LED IR, LED merah dan hijau



Gambar 12. Bentuk fisik Rangkaian

- a) Rangkaian sensor
- b) Rangkaian LM324

Prinsip dari rangkaian sensor adalah ketika cahaya inframerah yang dipancarkan oleh LED inframerah ke fotodiode terhalang maka keluaran dari rangkaian LM324 akan berlogika HIGH dan sebaliknya jika cahaya inframerah tidak terhalang maka keluaran rangkaian LM324 akan berlogika LOW. Dari kondisi sensor LOW dan HIGH maka mode interupsi Arduino yang digunakan untuk mendapatkan waktu adalah mode *CHANGE* yaitu sensor akan mendeteksi objek setiap kali terjadi perubahan logika.

Perancangan dan Pengujian Solenoida

Kawat enamel email dililitkan sebanyak 1700 lilitan pada sebuah paralon plastik yang berdiameter luar 21.22 mm dan panjangnya 3 cm, ujung-ujung dari paralon diberikan bahan pembatas, kemudian diletakan sebuah besi/baja lunak yang panjangnya 3 cm dan berdiameter 18.35 mm yang mempunyai permeabilitas 150 ke dalam paralon plastik tersebut. Solenoida yang sudah jadi dimasukkan ke dalam sebuah wadah yang bersifat isolator.

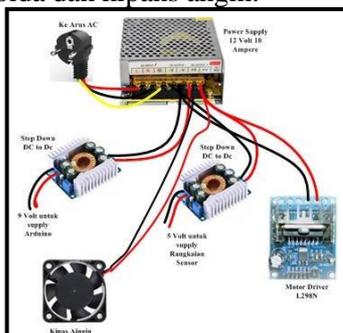


Gambar 13. Solenoida

Paralon dan kawat enamel yang terbungkus isolasi kertas;
Kabel;
Bahan pembatas bidang;
Inti besi;
pelindung solenoida.

Perancangan dan Pengujian Catu Daya dan Kipas Angin

Catu daya yang digunakan adalah power supply 12 volt 10 ampere kemudian tegangan 12 volt ini diturunkan menjadi 9 volt dan 5 volt menggunakan 2 buah modul step down DC to DC. Tegangan 9 volt menjadi catu daya untuk Arduino, tegangan 5 volt menjadi catu daya untuk rangkaian sensor dan 12 volt menjadi catu daya untuk motor driver sekaligus solenoida dan kipas angin.



Gambar 14. Susunan catu daya dan kipas angin

Analisis Keseluruhan Sistem

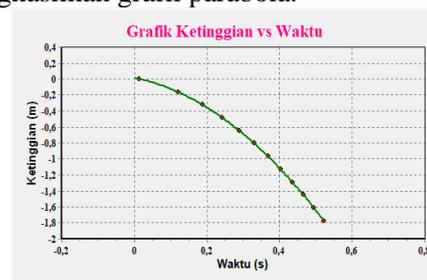
Terdapat dua parameter yaitu parameter waktu dan ketinggian, waktu sebagai variabel terikat dan ketinggian sebagai variabel bebas. Jarak antara kedua belas sensor adalah 16,1 cm.

Tabel 1. Ketinggian benda terhadap waktu.

No	h (m)	t (s)
1	0	0.01394
2	-0.161	0.12069
3	-0.322	0.187906
4	-0.483	0.242262
5	-0.644	0.289044
6	-0.805	0.330328
7	-0.966	0.36791

8	-1.127	0.402518
9	-1.288	0.435036
10	-1.449	0.465516
11	-1.61	0.494536
12	-1.771	0.522316

Dari data waktu ini terlihat bahwa lintasan yang ditempuh objek semakin besar maka waktu semakin besar juga, kemudian diplot data ketinggian terhadap waktu menghasilkan grafil parabola.



Gambar 15. Grafik ketinggian vs waktu

Kemudian diolah dengan metode regresi non-linear polinomial orde dua maka di dapatkan parameter ketinggian awal yang besarnya 0,0133 meter, kecepatan awal sebesar -0,861828 m/s dan percepatan sebesar -978772,82261907 miliGal atau -9,7877282261907m/s² yang adalah nilai percepatan gravitasi bumi.

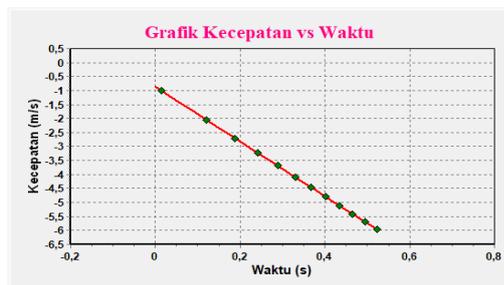
Ketinggian awal dan kecepatan awal pada gerak jatuh bebas harusnya bernilai nol tetapi pada penelitian ini tidak nol melainkan memiliki nilai lebih besar dari nol, hal ini karena pengamatan dilakukan mulai pada sensor pertama bukan pada saat objek terlepas dari solenoida sehingga objek tersebut telah mempunyai ketinggian awal dan kecepatan awal. Dari nilai kecepatan awal, percepatan dan waktu maka secara analitik telah dihitung nilai kecepatan objek pada tiap sensor yaitu secara berturut-turut adalah

Tabel 2. Kecepatan Benda

No	V(m/s)	No	V (m/s)
1	-0.998308	7	-4.462831
2	-2.043109	8	-4.801565
3	-2.701001	9	-5.119842
4	-3.233022	10	-5.418172
5	-3.690912	11	-5.702212
6	-4.094988	12	-5.974115

Dari nilai kecepatan ini terlihat bahwa jarak antara sensor sama tetapi kecepatannya berbeda yaitu semakin besar ketika mendekati permukaan bumi hal ini dikarenakan kecepatan benda bergantung pada waktu, kecepatan yang

dialami objek berubah namun tidak beraturan. Kemudian diplot data kecepatan dan waktu maka grafik akan menunjukkan grafik liner.



Gambar 16. Grafik ketinggian vs waktu

Telah dilakukan 6 kali pengukuran secara berturut-turut di nilai percepatan gravitasi yang diperoleh pada lokasi dengan posisi lintang -10.155021° dan elevasi 43 meter dan hasilnya secara berturut-turut adalah

Tabel 3. Hasil Pengukuran

No	g(mGal)
1	-978951.79266359
2	-978950.59955875
3	-978844.23308586
4	-978914.86602263
5	-978911.33250585
6	-978787.98944994

Kemudian dihitung rata-rata dan ketidakpastiannya sehingga diperoleh hasil pengukuran nilai percepatan gravitasi bumi adalah $-978893.4689 \pm 64.79599$ miliGal.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini maka peneliti dapat menyimpulkan bahwa:

1. Berhasil dirancang mekanik alat gerak jatuh bebas.
2. Berhasil dibuat rangkaian sensor untuk mendeteksi waktu yang tempuh suatu objek/benda.
3. Telah berhasil merancang program akuisisi data untuk menampilkan waktu, kecepatan, percepatan dan grafik ketinggian serta kecepatan terhadap waktu.
4. Berhasil merancang software untuk menampilkan nilai t , v , g dan grafik.

Saran

Dalam suatu penelitian tidak terlepas dari kekurangan maka ada beberapa saran yang penulis dapat sampaikan sehingga

menjadi perbaikan dan penyempurnaan untuk penelitian kedepannya yaitu:

1. Memperhatikan desain alat agar lebih indah, simpel dan fleksibel.
2. Kedepannya dapat mengembangkan dengan menggunakan komponen-komponen elektronika yang lebih bagus dan berkualitas seperti laser dan mikrokontroler yang mempunyai timer lebih kecil dari mikrodetik.
3. Kedepannya dapat mengembangkan dengan meninjau parameter fisika lainnya seperti pengaruh udara.
4. Kedepannya dapat mengembangkan alat gravitimeter dengan metode lain.

DAFTAR PUSTAKA

1. Giancolli DC. Fisika Jilid 2. Erlangga, Jakarta. 2001.
2. Freedman dan Young. Fisika Universitas Edisi Kesepuluh. Erlangga, Jakarta. 2002.
3. Zakarias N. Fisika Dasar Jilid I. Undana Press, Kupang. 2008.
4. Priyambodo TK. Fisika Dasar. Andi, Yogyakarta. 2018.
5. Suryatmo F. Teknik Listrik Arus Searah. PT Bumi Aksara, Bandung. 1995.
6. Agustina I, Astuti D, Toifur M. Penentuan Kuat Kutub Magnet Batang dengan Metode Simpangan Kumputan Solenoida Berarus Listrik. Universitas Ahmad Dahlan. 2014.
7. Sinaga N, Marsono HS. 2013. Pemilihan Kawat Enamel untuk pembuatan solenoida dinamometer aru eddy dengan torsi maksimum 496 Nm. Eksergi Jurnal Teknik Energi. **9**(1): 5.
8. Kandou FM, Bahrun, Sompie SRUA, Narasiang BS. 2014. Rancang Bangun Alat Ukur Tekanan Darah Manusia Menggunakan Sensor 2SMPP Yang Dapat Menyimpan Data. JURNAL TEKNIK ELEKTRO DAN KOMPUTER. **3**(4): 57.
9. Syahwil M. Panduan Mudah Simulasi & Praktek Mikrokontroler Arduino. Andi, Yogyakarta. 2013.