

PEMBUATAN ALAT PENENTUAN PERCEPATAN GRAVITASI BUMI MENGUNAKAN METODE PENDULUM BERBASIS SENSOR CAHAYA LDR

Eka Putri Rinanthi¹⁾, Hufri²⁾, Zuhendri Kamus²⁾

¹⁾Mahasiswa Fisika, FMIPA Universitas Negeri Padang

²⁾Staf Pengajar Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Negeri Padang
Ririe.rinanthi@yahoo.com

ABSTRACT

The acceleration of gravity on the second floor at laboratory of electronics and Instrumentation UNP, Padang city by gravity meter is 9.83 m/s². The acceleration of gravity can be determined through several experiments, including experiments using pendulum method. Parameters of pendulum method still measured manually. The research was designed and created the determination of the earth's gravity acceleration appliance using a pendulum method based on light sensor (LDR). Measurement techniques directly at the output of the sensor LDR as the detector. This research is a laboratory experiment. There are three results of this research. First, performance specifications system consists of a mechanical system that pendulum framework as a holder with two boxes. Box where the circuit box system builder tool and laser as the detector. Second, the Arduino UNO microcontroller is used to process the input data determination earth's gravity acceleration appliance and the results of this research is value the acceleration of gravity on the second floor at laboratory of electronics and Instrumentation UNP, Padang city by determination earth's gravity acceleration appliance is 9,84 m/s². Third, This instrument have highest precision and accuracy, the relative accuracy of the average percentage is 99.77% with an average error of 0.23%, and accuracy average of 0.999 with a standard deviation by an average of 0.017 and a relative error an average of 0.171%.

Keywords : *The acceleration of gravity, pendulum, light sensor, Arduino UNO*

PENDAHULUAN

Setiap benda mempunyai suatu gaya yang dinamakan dengan gaya berat. Berat sebuah benda adalah gaya tarik bumi terhadap benda tersebut atau hasil kali massa dengan percepatan gravitasi bumi. Berbeda dengan massa benda yang tetap, gaya berat benda selalu berubah ubah tergantung dengan besar percepatan gravitasi yang ada di tempat tersebut. Percepatan gravitasi bumi yang disimbolkan dengan 'g' menunjukkan rata-rata percepatan yang dihasilkan medan gravitasi pada permukaan bumi dengan satuan m/s²[1].

Mengetahui besar nilai percepatan gravitasi sangat penting karena gravitasi mempengaruhi sebagian besar aktifitas manusia di muka bumi. Contohnya dalam ilmu penerbangan, semua perangkat penerbangan dibuat dengan cara menghitung besar nilai percepatan gravitasi agar pesawat yang dihasilkan dapat melayang di udara. Dalam bidang ekonomi, perbedaan besar nilai percepatan gravitasi di suatu daerah menyebabkan berbeda pula berat benda di tempat tersebut dengan daerah lainnya, sehingga perbedaan berat akan mempengaruhi perbedaan harga barang.

Nilai percepatan gravitasi bumi yang pertama ditemukan oleh Galileo pada eksperimennya yang terkenal di Pisa, dimana ia menjatuhkan objek dari puncak menara. Besar nilai yang didapat pada permukaan bumi adalah sekitar 980cm/sec². Untuk menghormati Galileo, satuan percepatan gaya berat 1 cm/sec² disebut "gal"[2]. Nilai gravitasi (g) berbeda

dari suatu titik ke titik yang lain dipermukaan bumi tergantung dengan jarak dari pusat bumi. Untuk menentukan percepatan gravitasi, alat yang diharapkan adalah alat yang otomatis dan akurat.

Ada beberapa metode untuk menentukan percepatan gravitasi, diantaranya dengan metode pegas, metode pesawat atwood, metode pendulum, dan masih banyak lagi. Pendulum adalah benda yang terikat pada sebuah tali dan dapat berayun secara bebas dan periodik^[3]. Penentuan percepatan gravitasi menggunakan metode pendulum biasanya menggunakan cara manual. Secara umum sistem pengukuran dapat dibagi menjadi tiga tahap, yaitu Tahap detektor untuk mendeteksi adanya perubahan, kedua tahap pengkondisian sinyal, dan yang ketiga tahap pembacaan^[4].

Penelitian ini mendesain dan membuat alat penentuan percepatan gravitasi bumi menggunakan metode pendulum. Agar lebih akurat pada alat penentu percepatan gravitasi ini dipasang sebuah sensor cahaya LDR. LDR atau *light Dependent Resistor* adalah salah satu jenis resistor yang nilai hambatannya dipengaruhi oleh cahaya yang diterima olehnya. Saat cahaya menerangi LDR, foton akan menabrak ikatan *Cadmium Sulfida* dan melepaskan elektron. Semakin besar intensitas cahaya yang datang, semakin banyak elektron yang terlepas dari ikatan. Sehingga hambatan LDR akan turun saat cahaya meneranginya. Jadi, nilai tahanan sebuah LDR semakin berkurang dengan meningkatnya intensitas cahaya. Sensor ini berfungsi untuk mendeteksi ayunan pendulum (getaran) dengan

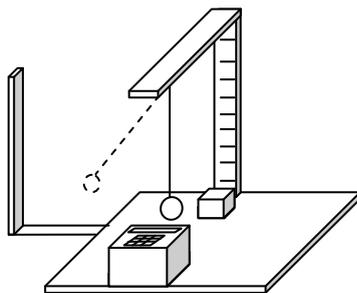
jumlah ayunan dan panjang tali yang sudah diinputkan melalui keypad 4x4. Keypad sering digunakan untuk *input* pada beberapa peralatan yang berbasis mikrokontroler. Keypad terdiri dari sejumlah saklar, yang terhubung sebagai baris dan kolom^[5].

Mikrokontroler sudah dilengkapi dengan peripheral pendukung sehingga membentuk sebuah komputer lengkap dalam level chip, secara sederhana mikrokontroler adalah sebuah IC yang terdiri atas ROM, RAM, parallel I/O, serial I/O, counter, dan *clock circuit*^[6]. Dalam penelitian ini mikrokontroler yang digunakan adalah arduino UNO. Arduino Uno adalah kit berbasis mikrokontroler ATmega328. Kit ini memiliki 14 pin *input / output* digital dan 6 pin output PWM dan 6 *input* analog, 16 MHz osilator kristal, terdapat koneksi USB dan tombol reset. Input pada arduino berupa jumlah ayunan dan panjang tali yang digunakan dalam sistem. Keluaran dari arduino akan ditampilkan pada layar LCD. *Liquid Crystal Display* (LCD) merupakan perangkat yang digunakan untuk menampilkan data yang hemat energi, ringan dan proses perancangan yang mudah.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi. Kegiatan ini dilaksanakan dari bulan juli 2015. Variabel penelitian dalam penelitian ini terdiri dari variabel bebas waktu, variabel terikat adalah jumlah ayunan dan panjang tali, variabel kontrol komponen elektronika. Model penelitian yakni penelitian eksperimen laboratorium.

Adapun tujuannya adalah untuk mendeskripsikan spesifikasi performansi dan spesifikasi desain. Setelah tujuan ditetapkan kemudian dilakukan perencanaan dan persiapan untuk melakukan eksperimen. Setelah pelaksanaan penyusunan alat dilakukan pengontrolan, dimana dilakukan pengukuran waktu dan periode untuk menentukan hasil, pengambilan data pengukuran ini dilaksanakan secara berulang, kemudian data dianalisis dan hasil dibandingkan dengan nilai standar yang telah ditetapkan, lalu diambil kesimpulan dan melaporkan hasil kesimpulan. Rancangan sistem mekanik alat penentuan percepatan gravitasi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Bentuk rancangan alat

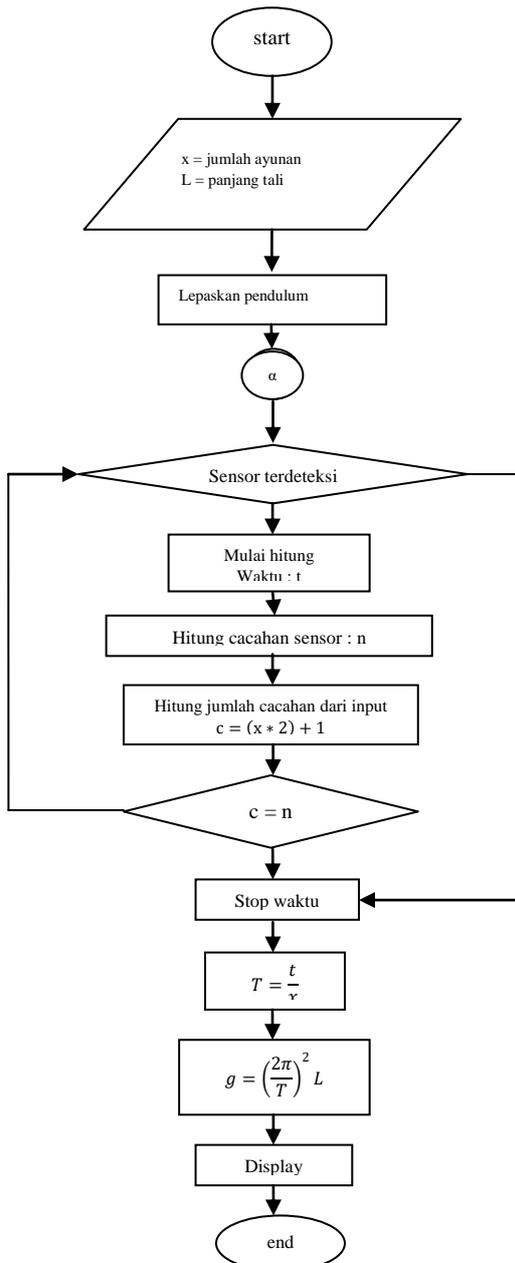
Sistem penentuan percepatan gravitasi ini terdiri dari empat bagian sistem, Sensor cahaya LDR, laser, rangkaian Arduino UNO, keypad 4x4, dan display LCD. Awalnya, Pada blok *input keypad*, jumlah ayunan dan panjang tali sebagai masukan pada Arduino UNO dan diinput melalui keypad, dan masuk ke Arduino UNO. Pada keypad juga terdapat tombol enter yang akan mengirimkan sinyal ke Arduino untuk memulai seluruh sistem yang akan mengaktifkan pemulai waktu saat sensor terdeteksi.

Pada blok pendulum, blok ini berfungsi sebagai alat uji atau metode yang dipakai. Disini terdapat beberapa komponen pembangun pendulum yang terdiri atas bola pendulum dan tali. Pendulum disimpangkan dengan sudut kecil lalu dilepaskan, Pendulum akan mengganggu sinar laser yang ditembakkan tepat pada sensor LDR.

Pada blok sensor berfungsi sebagai alat untuk mendeteksi pergerakan pada pendulum. Pada saat pendulum mulai bergerak, sensor akan terganggu dan mengirim sinyal ke Arduino UNO dan mengaktifkan penghitung waktu *start/stop* pada Arduino UNO. Sinyal inilah yang akan diproses, sinyal yang masuk berupa sinyal high dan low pada Arduino. *Start/stop* berfungsi sebagai pemulai dan pemberhenti sistem, maka saat sensor mendeteksi pendulum dan menghitung jumlah cacahan, penghitung waktu dimulai (*start*) dan saat jumlah ayunan pendulum yang ditentukan telah tercapai (*stop*), sensor tidak lagi mendeteksi pergerakan yang terjadi pada pendulum.

Pada blok Arduino UNO, Blok ini berfungsi sebagai pemroses semua sinyal *input* yang diberikan oleh sistem kepadanya, karena jumlah ayunan yang akan dihitung sudah ditentukan, maka saat yang bersamaan ketika sensor mendeteksi pergerakan pendulum sinyal start waktu untuk memulai menghitung waktu serta menghitung data jumlah ayunan yang terdeteksi oleh sensor LDR langsung masuk dan diproses dalam Arduino UNO lalu menghitung jumlah periode ayunan. Setelah didapat hasil periode maka dapat dicari besar nilai percepatan gravitasi di tempat tersebut. Lalu hasil tersebut masuk pada blok display, blok ini berfungsi menampilkan hasil proses Arduino UNO. Hasil yang ditampilkan berupa besar percepatan gravitasi dan waktu yang didapat dari hasil penentuan percepatan gravitasi sesuai dengan program pada display.

Perangkat lunak pada sistem Arduino UNO menggunakan bahasa pemrograman Arduino C. Perangkat lunak memberikan instruksi dan menjalankan Arduino UNO. Instruksi yang dilakukan adalah untuk menghitung waktu cacahan, mendeteksi jumlah ayunan yang telah ditentukan sebelumnya, mengaktifkan start-stop, dan menampilkan nilai percepatan gravitasi dan waktu pada LCD. Instruksi instruksi yang diprogram dalam arduino digambarkan dalam flowchart pada Gambar 2.



Gambar 2. Flowchart sistem

program dimulai dan diinput jumlah ayunan sebagai variabel (x) dan panjang tali sebagai variabel (L). Setelah input, pendulum dilepaskan dan saat pendulum terdeteksi oleh sensor maka sistem akan mulai menghitung waktu dengan variabel (t). Pergerakan pendulum saat menutupi sensor akan terbaca sebagai variabel (n) atau disebut cacahan pada sistem. Namun agar mudah mengidentifikasi variabel, cacahan yang didapat dari sensor (n) dibedakan dengan cacahan yang didapat dari jumlah ayunan yg diinput di awal yaitu (c). Hubungan antara ayunan (x) dengan cacahan (c) adalah :

$$x = \frac{c-1}{2}$$

Satu kali osilasi pada ayunan adalah saat pendulum bergerak dari satu titik dan kembali ke titik

semula, dimana saat pertama kali menutupi sensor sistem menghitung 1 cacahan. Saat pendulum menutupi sensor kedua kali dihitung 2 cacahan, saat menutupi sensor untuk ke tiga kali disinilah 3 cacahan atau satu kali ayunan, karena pendulum kembali ke titik semula. Untuk ayunan kedua pada cacahan 3 adalah titik pendulum memulai sehingga cacahan ke 4 adalah setengah kali ayunan dan cacahan ke 5 terhitung satu ayunan. Namun karena disini variabel yang diketahui adalah x atau jumlah ayunan, maka yang harus dicari oleh program adalah nilai cacahan (c) sehingga didapat :

$$c = (x * 2) + 1$$

Saat jumlah dari variabel cacahan (c) yg didapat dari (x) input awal dengan jumlah variabel cacahan sama, maka sistem akan menghentikan waktu dan menghitung perioda:

$$T = \frac{t}{x}$$

Setelah didapatkan perioda, sistem langsung mencari nilai percepatan gravitasi dari besaran besaran yang telah didapat menggunakan rumus :

$$g = \left(\frac{2\pi}{\frac{t}{x}}\right)^2 \cdot L$$

$$g = \left(\frac{2\pi}{t}\right)^2 \cdot x^2 \cdot L$$

jika variabel (c) dan (n) tidak sama maka sensor akan terus mendeteksi cacahan dan menghitung waktu sampai variabel (c) dan (n) bernilai sama. Setelah didapat nilai percepatan gravitasi, sistem akan mengirim sinyal ke LCD untuk menampilkan hasil pengukuran berupa waktu dan menampilkan nilai percepatan gravitasi yang telah didapatkan.

Prosedur dalam penelitian ini berupa ;

1. Spesifikasi Performansi Alat Penentuan Percepatan Gravitasi

Mengidentifikasi fungsi-fungsi setiap bagian pembentuk sistem dilakukan dengan dua langkah. Langkah pertama, melakukan pemotretan setiap bagian sistem. Kedua, mendiskripsikan fungsi-fungsi dari setiap bagian tersebut.
2. Spesifikasi Desain Alat Penentuan Percepatan Gravitasi
 - a. Penentuan pengaruh x ayunan dan panjang tali terhadap waktu dan nilai percepatan gravitasi
 - i. Menghubungkan sistem dengan sumber tegangan (ON).
 - ii. Menginput jumlah ayunan sebesar x ayunan dan panjang tali L cm.
 - iii. Menarik pendulum dan melepaskan pendulum dengan sudut kecil dari 15°.
 - iv. Melihat hasil nilai percepatan gravitasi dan waktu yang ditampilkan pada LCD.
 - b. Penentuan ketepatan sistem

Ketepatan adalah nilai atau hasil pengukuran yang mendekati nilai (6) pengukuran yang sebenarnya. Langkah - langkah dalam menentukan ketepatan pada sistem ini adalah :

- i. Menghidupkan alat penentuan percepatan gravitasi.
 - ii. Menginput jumlah ayunan sebesar x ayunan dan panjang tali L cm.
 - iii. Menarik pendulum dan melepaskan pendulum dengan sudut kecil dari 15° .
 - iv. Melihat hasil percepatan gravitasi dan waktu yang ditampilkan pada LCD.
 - v. Mencari referensi nilai percepatan gravitasi standar.
 - vi. Membandingkan hasil yang didapat dengan nilai standar percepatan gravitasi pada wilayah Air Tawar Barat, Kota Padang.
 - vii. Menentukan persentase kesalahan.
- c. Penentuan ketelitian sistem
- Dilakukan dengan melakukan pengukuran berulang sebanyak sepuluh kali, dan memasukkan data kedalam tabel dan menyelidiki ketelitian dari sistem.
- i. Menghidupkan alat penentuan percepatan gravitasi.
 - ii. Menginput jumlah ayunan sebesar x ayunan dan panjang tali L cm.
 - iii. Menarik pendulum dan melepaskan pendulum dengan sudut kecil dari 15° .
 - iv. Melihat hasil percepatan gravitasi dan waktu yang ditampilkan pada LCD.
 - v. Melakukan pengukuran berulang sebanyak 10 kali pengukuran.
 - vi. Menentukan nilai rata-rata, standar deviasi, kesalahan mutlak dan kesalahan relatif serta melaporkan hasil.

Teknik pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan melalui dua cara yaitu secara langsung dan tidak langsung. Data yang diperoleh secara langsung adalah waktu, jumlah periode, dan besar percepatan gravitasi. Data yang diperoleh secara tidak langsung adalah ketepatan dan ketelitian dari sistem pengukuran alat ukur percepatan gravitasi.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Spesifikasi performansi dari sistem alat ini merupakan pengidentifikasian atau penguraian fungsi setiap bagian pembentuk dari sistem ini. Sistem alat ini dirancang mampu mengukur dan menampilkan waktu serta menentukan besar nilai percepatan gravitasi dari sensor LDR yang mendeteksi cacahan dengan *input* jumlah ayunan dan panjang tali pendulum.

Secara umum alat ini terdiri dari dua bagian. Bagian pertama adalah bagian sistem mekanik alat penentuan percepatan gravitasi bumi yang terdiri dari: kerangka bangun dengan bagian tiang untuk menyangga lengan tiang, lengan tiang tempat menggantungkan tali pendulum, dan alas sebagai dudukan sistem pada kerangka bangun alat penentuan percepatan gravitasi. Kemudian yang kedua yaitu 2 buah *box* atau kotak yang berfungsi

untuk meletakkan rangkaian elektronika pembangun sistem dan tempat laser. Adapun bentuk sistem alat penentuan percepatan gravitasi bumi menggunakan metode pendulum berbasis sensor cahaya LDR dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. hasil desain

Box yang berisi rangkaian Arduino, LCD, sensor dan *keypad* berukuran $13 \times 13 \times 15$ cm dan *box* kecil yang berisi laser berukuran $8 \times 8 \times 11$ cm. Rangkaian sensor LDR dalam sistem ini diletakkan berjarak 22 cm dan sejajar di depan laser. *Box* didesain dilapisi dengan warna hitam agar sensor tidak terpengaruh oleh cahaya dari luar, serta diletakkan menjorok kedalam agar cahaya yang terdeteksi hanya cahaya dari laser. Pada bagian tiang kerangka dipasang meteran untuk mengukur panjang tali yang digunakan. Selanjutnya pada tiang dengan tinggi 57 cm terpasang lengan tiang dengan sudut siku siku yang berukuran 30 cm. Pada lengan tiang dipasang pengait tali dan busur untuk memastikan sudut simpangan pendulum tidak lebih dari 15° .

Alat penentuan percepatan gravitasi bumi ini dilengkapi dengan sistem *input* dan *output*. Sistem *input* terdiri dari *keypad* 4×4 yang mempunyai fungsi masing-masing, sedangkan sistem *output* terdiri dari LCD. Tampilan *output* menggunakan LCD 2×16 dapat dilihat pada Gambar 4.

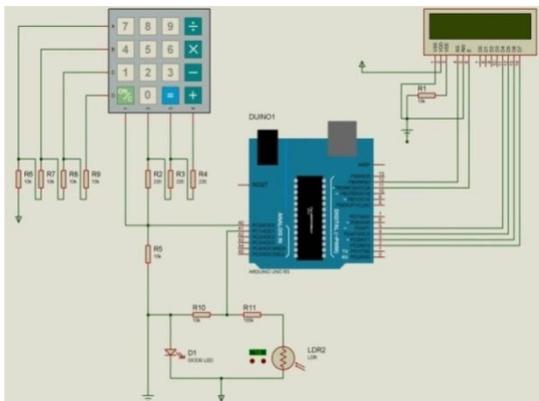


Gambar 4. Tampilan LCD

tampilan hasil dari alat penentuan percepatan gravitasi. Baris pertama akan menampilkan waktu (t) yang didapat dengan satuan detik (s) dengan besar nilai percepatan gravitasi (g) dengan satuan (m/s^2) dan pada baris kedua akan menampilkan nilai periode yang didapat dengan simbol (T) dengan nilai frekuensi dengan simbol (f). Sedangkan *keypad* pada sistem input terdiri atas beberapa tombol. Tombol tombol pada *keypad* memiliki fungsi tersendiri, tombol angka 1 sampai 0 berfungsi sebagai *input* angka dalam menginput jumlah ayunan dan panjang

tali. Tombol ‘A’ berfungsi sebagai judul yang menampilkan nama alat berupa ‘Alat Penentuan g, Eka P. Rinanthy’. Tombol ‘B’ berfungsi untuk menampilkan nilai cacahan yang terdeteksi oleh sensor. Tombol ‘C’ berfungsi sebagai clear atau menghapus data waktu dan nilai percepatan gravitasi bumi yang telah didapat tanpa harus menginput kembali jumlah ayunan dan panjang tali. Tombol ‘D’ berfungsi sebagai reset semua data dan mengembalikan semua variabel ke 0. Tombol ‘*’ berfungsi untuk *input* panjang tali dan menghentikan sinyal dari sistem. Tombol ‘#’ berfungsi sebagai start atau memulai semua sistem..

Rangkaian elektronika pembangun sistem yang dirancang sedemikian rupa ditempatkan pada *box*. Skematik rangkaian elektronika pembangun sistem alat penentuan percepatan gravitasi bumi ini dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Skematik rangkaian

Rangkaian sistem minimum mikrokontroler berfungsi untuk mengaktifkan kerja Arduino UNO yang bertugas memproses data masukan, deteksi sensor, 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.

Arduino Uno adalah kit berbasis mikrokontroler ATmega328. Pada analog *input* pin A0 digunakan untuk *input keypad*, pin A1 digunakan untuk *input* sensor LDR yang terhubung dengan rangkaian pembagi tegangan dengan laser. Sedangkan untuk *output* LCD menggunakan pin 2,3,4, dan 5 pada pin *output* PWM. Arduino Uno dapat aktif apabila terhubung ke komputer dengan kabel USB atau sumber tegangan yang bisa diperoleh dari adaptor AC-DC ataupun baterai untuk menggunakannya.

Spesifikasi desain sering juga disebut sebagai spesifikasi produk. Spesifikasi desain tergantung pada sifat alami dari material yang digunakan. Spesifikasi desain menjelaskan tentang karakteristik statik produk, toleransi, bahan pembentuk sistem, ukuran sistem, dan dimensi sistem. Karakteristik

statik secara umum terdiri dari ketepatan dan ketelitian dari alat.

Ketepatan didefinisikan sebagai beda atau kedekatan antara nilai yang terbaca dari alat dengan nilai sebenarnya. Secara umum akurasi sebuah alat ditentukan dengan cara kalibrasi pada kondisi operasi tertentu dan dapat diekspresikan dalam bentuk plus-minus atau persentase atau pada titik pengukuran yang spesifik. Suatu alat yang baik memiliki akurasi mendekati 1 atau 100%, sedangkan ketelitian membandingkan hasil pengukuran sistem dengan perhitungan secara teoritis, kemudian dilakukan pengukuran berulang.

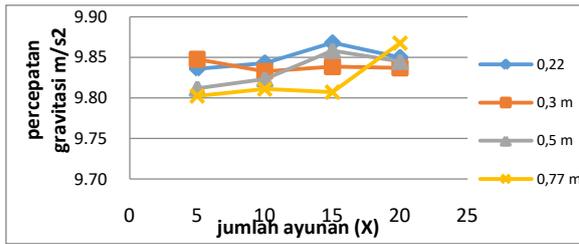
a. Ketepatan dan ketelitian dari sensor LDR

Saat cahaya menerangi LDR, foton akan menabrak ikatan *Cadmium Sulfida* dan melepaskan elektron. Semakin besar intensitas cahaya yang datang, semakin banyak elektron yang terlepas dari ikatan. Sehingga tahanan LDR akan turun saat cahaya meneranginya. Jadi nilai tahanan sebuah LDR semakin berkurang dengan meningkatnya intensitas cahaya. Karena nilai tahanan sebanding dengan nilai tegangan, maka saat intensitas cahaya meningkat maka nilai tegangan juga semakin berkurang. Nilai tegangan tersebut dapat diukur menggunakan multimeter digital. Pada keadaan terhalang sensor memiliki tegangan yaitu 4,99Volt, sedangkan saat sensor tidak terhalang maka tegangan keluaran sensor menjadi 0,057 Volt. Untuk tegangan keluaran sensor yang dituliskan pada datasheet mencapai 5 Volt, sedangkan yang didapatkan secara pengukuran adalah 4,99 Volt.

Ketepatan dari sensor yang terpasang pada alat ini yaitu 97,12%. Perbedaan nilai yang didapat disebabkan pengaruh dari jarak antara laser dan sensor yang berjarak kurang lebih 22 cm. Untuk ketelitian sensor didapatkan dengan cara melakukan pengukuran berulang pada sensor baik pada saat terhalang maupun tidak terhalang. Saat sensor LDR terhalang ketelitiannya adalah 0,004, sedangkan pada saat tidak terhalang ketelitian sensor adalah 0,057.

b. Pengaruh x ayunan dan panjang tali terhadap waktu dan nilai percepatan gravitasi

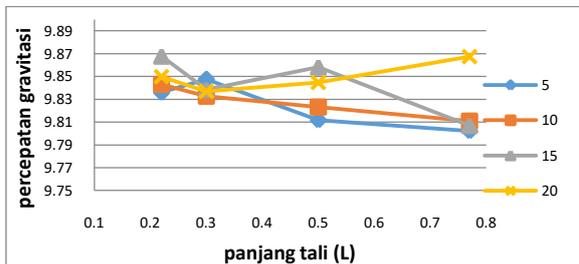
Secara teoritis, Jika panjang tali L dibuat tetap, maka percepatan gravitasi bergantung pada besar periode suatu ayunan pendulum, makin besar periode yang didapat, makin kecil percepatan gravitasi di daerah tersebut. Dari hasil pengukuran yang didapatkan, dapat dianalisis pengaruh dari variabel variabel input pada alat penentuan percepatan gravitasi bumi menggunakan metode pendulum yakni hubungan jumlah ayunan dan panjang tali terhadap waktu dan nilai percepatan gravitasi bumi. Berikut grafik yang didapatkan dari hasil penentuan percepatan gravitasi dengan variasi ayunan dengan ukuran panjang tali tetap pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik pengaruh jumlah ayunan terhadap nilai percepatan gravitasi bumi

Berdasarkan Gambar 6, dapat dilihat bahwa jumlah ayunan tidak berpengaruh langsung terhadap besar nilai percepatan gravitasi, nilai gravitasi yang relatif konstan dengan rata-rata nilai $9,84 \text{ m/s}^2$ dengan besar nilai maximum di $9,87 \text{ m/s}^2$ saat jumlah ayunan 15 kali dengan ukuran panjang tali $0,22 \text{ m}$ dan nilai minimum $9,80 \text{ m/s}^2$ saat jumlah ayunan 5 kali dengan ukuran panjang tali $0,77 \text{ m}$. Nilai yang konstan dikarenakan variabel X atau jumlah ayunan mempengaruhi nilai waktu yang sedangkan waktu mempengaruhi nilai perioda dalam proses pengukuran. Hubungan antara jumlah ayunan atau variabel X dengan variabel (t) atau waktu, dimana jumlah ayunan sebanding dengan waktu yang didapat, makin besar jumlah ayunan, makin besar juga besar waktu yang dihitung oleh sistem.

Pada Gambar 6 terdapat sedikit penyimpangan yang terjadi, hal ini dikarenakan kelemahan sensor yang tidak mampu mendeteksi pergerakan pendulum dalam gerakan cepat, sehingga sering kali pergerakan awal pendulum terlewatkan. Selain jumlah ayunan, panjang tali juga menjadi variabel yang divariasikan nilainya sehingga bisa dianalisis pengaruhnya terhadap nilai percepatan gravitasi. Hasil penentuan percepatan gravitasi dengan variasi panjang tali diperlihatkan pada Gambar 7



Gambar 7. Grafik pengaruh panjang tali terhadap penentuan nilai percepatan gravitasi bumi

Dari Gambar 7 terlihat bahwa variasi panjang tali juga tidak berpengaruh langsung terhadap nilai percepatan gravitasi. Secara teoritis, nilai panjang tali sebanding dengan besar nilai percepatan gravitasi yang didapat, makin panjang nilai panjang tali maka makin besar nilai percepatan gravitasi bumi, namun dalam hal ini panjang tali juga mempengaruhi waktu dari

pengukuran. Hubungan panjang tali sebanding dengan waktu tempuh pendulum, dimana makin panjang nilai panjang tali maka makin besar pula nilai waktu yang didapat. Waktu mempengaruhi nilai perioda dimana makin besar nilai panjang tali, makin besar pula nilai perioda. Sehingga besar nilai percepatan gravitasi bumi dipengaruhi oleh kedua variabel ini. Nilai panjang tali yang sebanding dengan nilai perioda yang didapat menyebabkan nilai gravitasi bernilai konstan atau tetap di suatu daerah.

Makin panjang nilai panjang tali pada pengukuran maka makin besar pula waktu yang diperlukan pendulum untuk bergerak. Namun semakin besar waktu yang diperlukan juga mempengaruhi hasil dari pengukuran. Hal ini disebabkan oleh faktor luar yang mempengaruhi sistem alat, seperti adanya angin yang berhembus atau pergerakan pendulum yang hampir berhenti sehingga selalu menutupi sensor juga mempengaruhi besar nilai percepatan gravitasi yang didapatkan. Untuk wilayah padang, sumatera barat rata-rata nilai percepatan gravitasi yang didapatkan adalah sebesar $9,84 \text{ m/s}^2$.

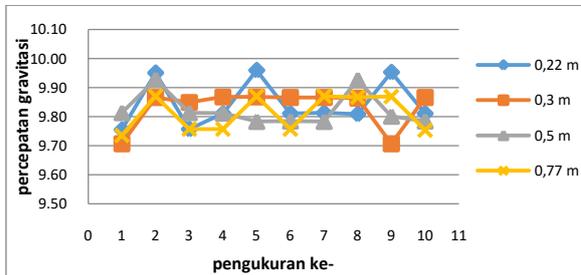
Ketepatan pada sistem alat ini yaitu dengan membandingkan hasil pengukuran dari sistem alat penentuan percepatan gravitasi bumi dengan hasil perhitungan secara teoritis. Percepatan gravitasi di kota padang (laboratorium elektronika dan instrumentasi UNP) rata-rata bernilai $9,83 \text{ m/s}^2$ berdasarkan aplikasi *gravity meter*.

nilai percepatan gravitasi dengan variasi ayunan dan variasi panjang tali yang didapat berkisar antara nilai percepatan gravitasi berkisar antara $9,78 \text{ m/s}^2$ sampai dengan $9,87 \text{ m/s}^2$ tidak jauh berbeda dari tetapan standar. Dari grafik direkomendasikan penggunaan alat penentuan gravitasi bumi menggunakan panjang tali dengan ukuran $0,5 \text{ meter}$ dengan jumlah ayunan 20 kali karena data yang didapat relatif lebih stabil dan mendekati nilai standar. Besar nilai yang didapat melalui alat penentuan percepatan gravitasi bumi menggunakan metode pendulum tidak jauh berbeda dengan standar nilai percepatan gravitasi di kota padang (laboratorium elektronika dan instrumentasi UNP) berdasarkan aplikasi *gravity meter*.

Persentase kesalahan dari alat mendekati 0, dimana persentase kesalahan alat berkisar antara 0,01% sampai dengan 0,68% dengan persentase kesalahan rata-rata sebesar 0,23%. Sedangkan ketepatan relatif alat berkisar antara 0,993 sampai dengan 0,999 dengan ketepatan relatif rata-rata 0,998. Persentase ketepatan alat berkisar antara 99,32% sampai 99,99% dengan persentase ketepatan rata-rata sistem 99,77%.

- c. Ketelitian Penentuan Percepatan Gravitasi Bumi
Ketelitian dari alat ini diperoleh dengan melakukan 4 variasi panjang tali, 4 variasi ayunan

dan 10 kali perulangan. Gambar 8 dibawah ini memperlihatkan hasil penentuan berulang untuk variasi panjang tali dengan jumlah ayunan tetap 10x.



Gambar 8. Grafik penentuan berulang variasi panjang tali

Berdasarkan Gambar 8, dapat dilihat bahwa hasil dari penentuan untuk variasi panjang tali dengan jumlah ayunan tetap 10 kali yang diukur secara berulang mempunyai rata 9,82 m/s². Disini juga terdapat beberapa penyimpangan yang terjadi hal ini disebabkan oleh faktor lingkungan dan kelemahan sensor. Dari pengukuran berulang, didapat ketelitian dari alat ini. Ketelitian pengukuran dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Ketelitian Penentuan Percepatan Gravitasi

x	L	Rata rata g	% kesalahan	% ketepatan	ketelitian	ΔX
5	0,22	9,84	0,367	99,63	0,991	0,0422
5	0,3	9,85	0,486	99,51	0,996	0,0187
5	0,5	9,81	0,120	99,88	0,995	0,0218
5	0,77	9,80	0,023	99,98	0,999	0,0034
10	0,22	9,84	0,439	99,56	0,993	0,0254
10	0,3	9,83	0,334	99,67	0,995	0,0210
10	0,5	9,82	0,237	99,76	0,996	0,0178
10	0,77	9,81	0,111	99,89	0,994	0,0197
15	0,22	9,87	0,692	99,31	0,993	0,0236
15	0,3	9,84	0,394	99,61	0,998	0,0154
15	0,5	9,86	0,594	99,41	0,998	0,0090
15	0,77	9,81	0,071	99,93	0,999	0,0038
20	0,22	9,85	0,507	99,49	0,995	0,0163
20	0,3	9,84	0,377	99,62	0,997	0,0114
20	0,5	9,84	0,457	99,54	0,996	0,0116
20	0,77	9,87	0,688	99,31	0,998	0,0070
RATA RATA		9,84	0,368	99,632	0,996	0,0170

Dari Tabel 1 terlihat bahwa alat ini memiliki ketelitian yang cukup tinggi. Dengan besar nilai gravitasi rata rata 9,84 m/sec², ketelitian rata-rata adalah 0.99 dengan standar deviasi rata-rata

0,017, ketepatan 99,48 % dan kesalahan relatif rata-rata yaitu 0,171%.

Pembahasan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan baik secara grafik maupun statistik memberikan hasil penelitian yang sesuai dengan tujuan penelitian. Adapun hasil penelitian yang diperoleh yaitu spesifikasi performansi sistem alat dan spesifikasi desain sistem alat. Hasil dari bagian spesifikasi performansi sistem ini terdiri dari dua bagian, yaitu bagian rangkaian elektronik dan bagian mekanik. Bagian rangkaian elektronik meliputi rangkaian penyusun sistem alat, yang terdiri dari rangkaian mikrokontroler Arduino Uno, rangkaian sensor LDR dan laser. Bagian mekanik terdiri dari kerangka bangun pendulum bagian tiang, lengan tiang, dan alas, tali, bola pendulum, serta busur.

Adapun prinsip kerja dari alat ini adalah, berawal dari *input* jumlah ayunan dan panjang tali melalui *keypad* 4 x 4 yang mempunyai fungsi masing masing. Salah satu nya tombol '#' yang berfungsi mengirim sinyal ke mikrokontroler. Sistem alat ini menggunakan Arduino Uno yang merupakan kit berbasis mikrokontroler ATmega328 untuk mengolah masukan dan mulai mendeteksi pergerakan pendulum. Saat pendulum dilepaskan, pendulum akan mengganggu sinar laser yang ditembakkan tepat pada sensor LDR. Sensor LDR memiliki keluaran berupa sinyal *high* dan *low*, sinyal keluaran dari sensor LDR yang terganggu oleh pendulum langsung dikirim ke mikrokontroler Arduino UNO sebagai penghitung cacahan pertama dan pemulai hitung waktu. Sinyal keluaran awal yang terdeteksi oleh sensor juga mengaktifkan *start/stop*. *Start/stop* berfungsi sebagai pemulai dan pemberhenti sistem. Saat sensor mendeteksi pendulum dan menghitung jumlah cacahan (n), penghitung waktu dimulai (*start*) sampai nilai cacahan (n) yang didapat dari keluaran sensor dan nilai cacahan (c) yg diinput dari jumlah ayunan dan dihitung dalam program sama, maka secara otomatis sistem tidak lagi menghitung waktu (*stop*) dan langsung memproses besaran besaran yang sudah didapat dalam sistem. Hasil pengukuran waktu dan penentuan gravitasi akan ditampilkan di LCD.

Alat penentuan percepatan gravitasi bumi menggunakan metode pendulum ini sangat mudah untuk digunakan. Berikut panduan penggunaan alat penentuan percepatan gravitasi secara umum;

- 1) Memeriksa pendulum sudah terpasang dengan benar.
- 2) Menghubungkan alat penentuan percepatan gravitasi bumi dengan aliran listrik AC atau menghubungkan sistem rangkaian pembangun alat penentuan percepatan gravitasi dengan laptop atau komputer.
- 3) Menekan salah satu tombol angka "0-9" lalu menekan tombol "B" untuk memastikan sistem,

- keypad, dan LCD sudah bekerja seperti seharusnya.
- 4) Menekan tombol “C” dan menginput jumlah ayunan (X) yang diinginkan.
 - 5) Menekan tombol “*” untuk menginput panjang tali (L).
 - 6) Menekan tombol “#”, menarik pendulum dengan sudut tidak lebih dari 15° dan melepaskan pendulum.
 - 7) Mengamati pendulum berayun dan melihat hasil pengukuran pada tampilan LCD dan mencatat hasil nilai percepatan gravitasi.
 - 8) Menekan tombol “D” untuk mereset alat untuk dipergunakan kembali.

Pengujian alat dilakukan dengan cara membandingkan hasilnya dengan perhitungan yang dilakukan secara teoritis dan dengan tetapan nilai standar percepatan gravitasi. Percepatan gravitasi di kota padang (laboratorium elektronika dan instrumentasi UNP) rata-rata bernilai 9,83 m/s² berdasarkan aplikasi *gravity meter* dan dari data didapatkan nilai percepatan gravitasi rata-rata 9,84 m/s². Dan direkomendasikan saat penggunaan alat penentuan percepatan gravitasi diinput jumlah ayunan 20 kali dengan panjang tali 0,5 m. Karena saat jumlah ayunan kecil dari 20 kali terjadi sedikit penyimpangan begitu pula saat penggunaan ukuran panjang tali kecil atau besar dari 0,5 m. Hal ini disebabkan karena beberapa faktor, diantaranya faktor lingkungan yang mempengaruhi gerak pendulum seperti udara atau angin berhembus. Selain itu, kendala lain yang ditemui dalam penelitian ini yaitu bagian simpangan awal untuk pendulum, dikarenakan penyimpangan pendulum masih dilakukan secara manual yakni menarik pendulum kurang dari 15° sesuai pada busur yang telah terpasang. Namun hal ini dirasa masih kurang efektif sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut.

Dilihat dari spesifikasi desain alat ini, diperoleh ketepatan yang cukup tinggi dengan persentase penyimpangan yang kecil sesuai dengan hasil analisis pengukuran yakni mencapai 99,77% dengan persentase kesalahan rata-rata 0,23%. Sedangkan dari segi ketelitian alat ini juga memiliki ketelitian yang tinggi dengan rata-rata 0,996 dan kesalahan relatif rata-rata yaitu 0,171%.

KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis terhadap besaran fisika yang ada pada alat penentuan percepatan gravitasi bumi menggunakan metode pendulum ini dapat dikemukakan beberapa kesimpulan dari penelitian yaitu :

1. Hasil spesifikasi performansi alat ini terdiri dari dua bagian, yaitu bagian rangkaian elektronik yang meliputi rangkaian penyusun sistem alat penentuan percepatan gravitasi bumi, yaitu rangkaian Mikrokontroler Arduino Uno yang satu

set dengan LCD, keypad, dan rangkaian sensor LDR yang terletak pada satu *Box* besar dan laser dalam *box* kecil. Lalu bagian mekanik terdiri dari dari kerangka bangun pendulum dengan bagian tiang, lengan tiang, dan alas, tali, bola pendulum, serta busur.

2. Hasil spesifikasi desain alat ini adalah ketepatan dari sistem alat penentuan percepatan gravitasi bumi menggunakan metode pendulum ini cukup tinggi, nilai percepatan gravitasi di kota padang khususnya laboratorium elektronika menggunakan alat penentuan percepatan gravitasi bumi menggunakan metode pendulum berbasis sensor cahaya LDR adalah 9,84 m/s² dengan persentase kesalahan rata-rata 0,23 %, dengan persentase ketepatan sistem yaitu 99,77%. Untuk pengukuran berulang penentuan nilai percepatan gravitasi bumi diperoleh ketelitian rata-rata 0,996 dengan standar deviasi rata-rata 0,017 dan kesalahan relatif rata-rata 0,171%, sehingga alat ini dapat digunakan sebagai alat penentu percepatan gravitasi bumi yang otomatis dan akurat.

B. Saran

Berdasarkan pembahasan yang telah dipaparkan sebagai saran untuk tindak lanjut dan pengembangan penelitian ini yaitu :

1. Alat penentuan percepatan gravitasi bumi menggunakan metode pendulum ini dapat digunakan di Laboratorium Fisika Dasar Jurusan Fisika sebagai sarana praktikum menentukan nilai percepatan gravitasi.
2. Desain mekanik alat penentuan percepatan gravitasi bumi dikembangkan pada bagian simpangan awal pendulum agar lebih efisien, tepat, dan lebih mudah saat memulai sistem.
3. Sensor yang digunakan sebaiknya lebih sensitif agar lebih akurat dalam mendeteksi pendulum dengan ukuran kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Satriawan, Mirza. 2012. *Fisika Dasar*. Jakarta: book
- [2] Telford, Geldart dkk. 1976. *Applied Geophysics*. London; Cambridge University press.
- [3] Torge, wolfgang. 1989. *Gravimetry*. Newyork: Berlin.
- [4] Artono, Raldi.2004. *Pengukuran Teknik Untuk Mahasiswa*. Jakarta : Universitas Indonesia.
- [5] Andriyana, ngadiyono. 2011. *Pengukur percepatan gravitasi menggunakan gerak harmonik sederhana metode bandul*. Bandung : Universitas Komputer Indonesia
- [6] Yohandri. 2013. *Mikrokontroler dan Antar Muka*. Padang: Universitas Negeri Padang.