

PEMBUATAN AIR TRACK UNTUK EKSPERIMEN KINEMATIKA DAN DINAMIKA BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA328

Even Triaga¹⁾, Yulkifli²⁾, Yohandri²⁾

¹⁾Mahasiswa Fisika, FMIPA Universitas Negeri Padang

²⁾Staf Pengajar Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Negeri Padang
eventriaga1@gmail.com

ABSTRACT

Technological developments and the rapid advancement of science are caused by the increasing needs of human life. One of the disciplines that contributed considerably in the development of technology is physics. Important discoveries related to physics arise in the presence of physics experiments. The most important thing to consider in conducting a physics experiment is the set of experiments. The development of several sets of physics experiments with sensor-based digital systems has been developed, but not yet completely perfect, as in sets of kinematic experiments and dynamics. This study aims to determine the performance specifications and design specifications for the manufacture of Air Track For Kinematics and Atmega328 Microcontroller Based Instructions. This study included into laboratory experimental research. Data collection is done by measuring the quantities of physics contained in the magnitudes in kinematics experiments and dynamics. The measurement technique is a direct and indirect measurement. Direct measurements are made of the travel time of the object. Indirect measurements are made to determine speed, acceleration, and momentum. The data obtained through measurement and analyzed in two ways is statistically and graphically. Based on the results of data analysis can be disclosed some research results. First, this experimental set uses a promini microcontroller that works to process the output of the sensor and converts the sensor output to the desired output. The measurement result view of this experimental set uses the LCD. Sensor used is a photogate sensor that serves to measure the travel time of the object. Second, this experimental set has an average accuracy of 98.82% and an average accuracy of 92.13%. In addition, the phenomenon of perpendicular motion and straight-shifting motion can be well-regulated. Referring to the results of research that has been obtained stated that the developed air track can be used for kinematics experiments and dynamics.

Keywords : Air Track, GLB, GLBB, Mikrokontroler ATMEGA328P

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dan kemajuan ilmu pengetahuan yang pesat disebabkan oleh meningkatnya berbagai kebutuhan hidup manusia. Salah satu disiplin ilmu yang memberikan kontribusi cukup besar dalam perkembangan teknologi adalah fisika. Penemuan-penemuan penting yang berhubungan dengan fisika muncul dengan adanya eksperimen fisika. Hal terpenting yang harus diperhatikan dalam melakukan eksperimen fisika adalah set eksperimen. Saat ini, telah banyak industri yang mengembangkan set eksperimen fisika seperti set eksperimen mekanika dan dinamika. Namun, set eksperimen ini masih memiliki kelemahan seperti penggunaan bidang luncur yang gaya gesekannya terlalu besar. Selain itu, set eksperimen ini masih dilakukan dengan cara manual.

Berdasarkan masalah yang di paparkan di atas, maka perlu dirancang sebuah set eksperimen kinematika dan dinamika dengan spesifikasi desain dan spesifikasi performansi yang lebih baik. Pengembangan beberapa set eksperimen fisika dengan sistem digital dan penggunaan sensor telah berhasil dikembangkan oleh Yulkifli dan Yohandri^[1]. Alat-alat praktikum fisika menggunakan sensor diyakini lebih efektif dan efisien, sehingga tujuan

pembelajaran dapat terlaksana sesuai yang diharapkan. Untuk itu, Dalam penelitian ini set eksperimen dirancang menggunakan sistem digital dan menggunakan sensor.

Keunggulan dari set eksperimen kinematika dan dinamika bertujuan untuk memudahkan penarikan kesimpulan. Adapun keunggulan dari set eksperimen ini yaitu: set eksperimen ini telah menggunakan sensor dan telah digitalisasi, bidang luncur benda menggunakan air track yang mampu memberikan tekanan udara pada bawah benda. Sehingga, benda dapat terangkat dari bidang luncur. Dengan demikian, gaya gesek antara benda dengan bidang luncur dapat dinormalisir. Sebagai judul dari penelitian ini adalah "Pembuatan Air Track untuk Eksperimen Kinematika dan Dinamika Berbasis Mikrokontroler ATMEGA 328"

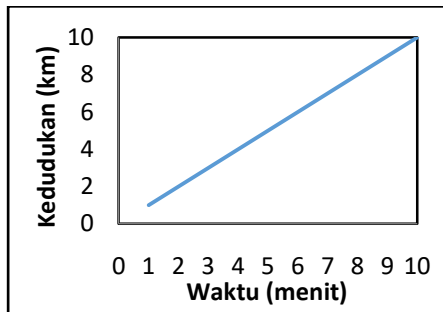
Sistem pengukuran dirancang untuk memenuhi spesifikasi tertentu. Spesifikasi performansi adalah mengidentifikasi fungsi-fungsi dari setiap komponen pembentuk sistem, sedangkan spesifikasi desain nilai yang harus dicapai oleh suatu produk^[6].

Gerak lurus beraturan didefinisikan sebagai gerak suatu benda yang lintasannya lurus dan kecepatannya tetap. Untuk kecepatan rata-rata,

perpindahan, dan selang waktu dapat dinyatakan hubungannya seperti pada persamaan (1).

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \dots\dots\dots(1)$$

Hubungan antara kedudukan dan waktu pada gerak lurus beraturan dapat dilukiskan grafik hubungannya seperti pada Gambar 1:



Gambar 1. Grafik Kedudukan terhadap Waktu dari Suatu Gerak Lurus Beraturan.

Berdasarkan Gambar 1 dapat dilihat garis miring yang terbentuk menyatakan kecepatan tetap dari gerak lurus beraturan. Semakin curam garis miring, semakin besar kecepatannya. Karena dalam gerak lurus beraturan kecepatan adalah konstan^[2].

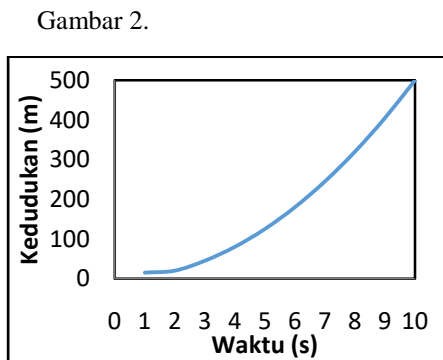
Pada peristiwa gerak lurus berubah beraturan, benda mempunyai percepatan konstan setiap waktu. Adanya percepatan ini berarti kecepatan benda selalu berubah-ubah setiap waktu.^[2]

GLBB adalah gerak benda pada lintasan lurus dengan percepatan tetap pada selang waktu tertentu. Percepatan rata-rata didefinisikan sebagai hasil perubahan kecepatan dengan selang waktu yang dibutuhkan untuk perubahan kecepatan, ditulis seperti pada persamaan (2) dan (3).

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \dots\dots\dots(2)$$

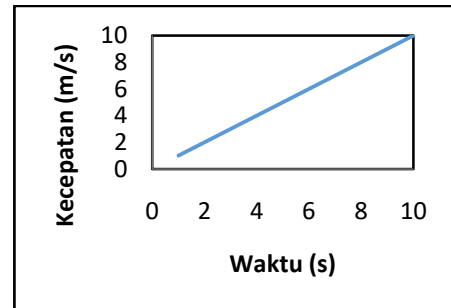
$$a = \frac{v - v}{t - t} \dots\dots\dots(3)$$

Untuk gerak lurus berubah beraturan, hubungan antara kedudukan dan waktu dapat dilukiskan dengan grafik seperti

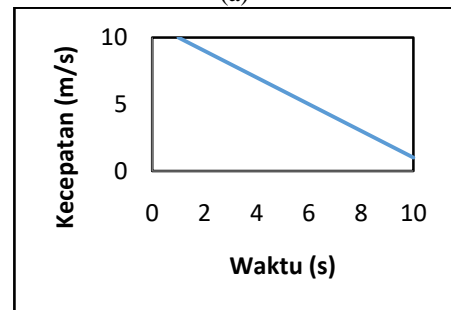


Gambar 2. Grafik kedudukan terhadap waktu dari suatu gerak lurus berubah beraturan dipercepat. (Tjondro Indrasutanto. 2009)

Sedangkan hubungan antara kecepatan dan waktu dilukiskan dengan grafik seperti pada Gambar 3.



(a)



(b)

Gambar 3. Grafik kecepatan terhadap waktu dari suatu gerak lurus berubah beraturan. (a) Dipercepat, (b) Diperlambat

Momentum didefinisikan sebagai perkalian massa benda dengan kecepatannya dan dapat dinyatakan sebagai ukuran kesulitan mengubah kecenderungan gerak benda dengan rumus $\vec{p} = m\vec{v}$. Momentum suatu objek tidak dapat diubah melainkan diubahkan oleh suatu gaya luar^[3]. Sedangkan impuls linear adalah perubahan momentum linear dan dapat dituliskan dalam persamaan (4).

$$\vec{I} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F} dt = \int_{\vec{p}}^{\vec{p}_2} d\vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1 \dots\dots\dots(4)$$

Tumbukan adalah salah satu impuls yang berlangsung dalam waktu yang singkat. Pada tumbukan selalu berlaku hukum konservasi momentum linear^[4].

Koefisien restitusi (e) dalam persamaan (5) adalah suatu ukuran “pemulihan” tumbukan antara dua objek: seberapa besar energi kinetik yang dipertahankan oleh objek untuk memantulkan tumbukan satu sama lain dibandingkan seberapa banyak kehilangan panas atau kerja yang dilakukan untuk mendeformasi objek tersebut. Semakin besar nilai e , maka tingkat kelentingannya semakin tinggi, begitu pula sebaliknya.

$$e = -\frac{(v_2' - v_1')}{(v_2 - v_1)} \dots\dots\dots(5)$$

Ada tiga jenis tumbukan, yaitu tumbukan lenting sempurna ($e = 1$), tumbukan lenting tidak sempurna $0 < (e) < 1$ dan tumbukan tidak lenting sama sekali ($e = 0$). Pada tumbukan lenting sempurna tidak ada energi kinetik yang hilang sehingga energi kinetik awal sama dengan energi kinetik akhir (hukum konservasi energi kinetik berlaku). Pada tumbukan lenting sebagian maka terdapat energi kinetik yang hilang sehingga energi kinetik awal tidak sama dengan energi kinetik akhir. Sedangkan pada tumbukan tak lenting kedua benda yang bertumbukan bergerak bersama dengan kecepatan yang sama.

Linear Air Track adalah sebuah alat yang menyediakan lintasan lurus dan menggunakan udara untuk meminimalisasikan gesekan bahkan dapat dikatakan bebas gesekan antara benda dengan lintasannya. Salah satu keuntungan dari alat ini adalah tingkat kestabilan gerak benda yang berjalan sepanjang lintasan sehingga memiliki tingkat akurasi yang tinggi^[2].

Adapun komponen elektronika pendukung set eksperimen ini adalah sensor *photogate*, modul mikrokontroler ATMEGA 328, dan *power supply*. Sensor *photogate* adalah alat pengatur waktu yang berfungsi untuk mendeteksi sebuah objek sehingga dapat dihitung lamanya waktu objek menghalangi sensor. Sensor *photogate* ini digunakan untuk pengukuran yang sangat tepat pada kecepatan yang berdurasi tinggi maupun rendah.



Gambar 4. Sensor photogate

Gambar 4 menunjukkan bahwa sebuah *photogate* terdiri dari sumber cahaya dan detektor cahaya. Setiap kali sebuah objek bergerak melalui blok sinar cahaya antara sumber dan detektor, sinyal yang dihasilkan dapat dideteksi sensor untuk memulai dan menghentikan waktu operasi.

Mikrokontroler merupakan suatu komponen elektronika yang dapat diprogram dan memiliki kemampuan untuk mengeksekusi langkah-langkah yang telah diprogram. 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^[5]. Istilah lain dalam

menggambarkan mikrokontroler adalah pengontrol yang kecil, karena fungsinya dapat sebagai pengontrol objek, proses atau kejadian.

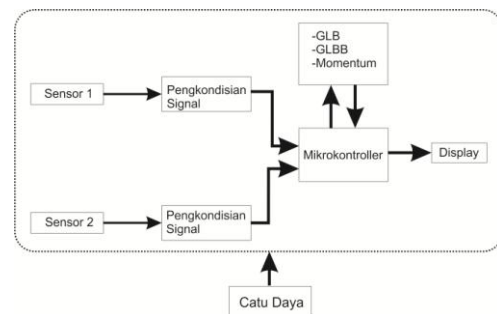
METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang. Pelaksanaan kegiatan dimulai bulan Januari 2017 sampai selesai dengan beberapa tahap kegiatan, meliputi penulisan proposal, penelitian, perancangan sistem, perakitan komponen, pengambilan data, dan pengolahan data.

Sebagai variabel bebas dalam penelitian ini adalah jarak tempuh benda. Variabel terikatnya adalah waktu tempuh benda yang ditampilkan pada LCD. Sedangkan variabel kontrolnya adalah komponen elektronika.

1. Desain Blok Diagram Sistem Elektronika

Sistem set eksperimen ini terdiri dari beberapa rangkaian, diantaranya rangkaian sensor *photogate*, rangkaian pengolah signal *photogate*, rangkaian mikrokontroler ATmega328, rangkaian *liquid crystal display*. Blok diagram set eksperimen *air track* seperti pada terlihat pada Gambar 5.



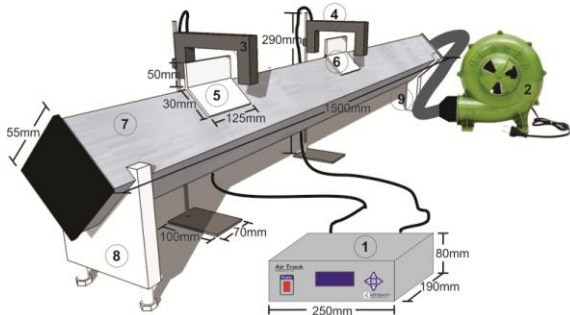
Gambar 5. Blok Diagram Sistem Air Track

Berdasarkan Gambar 5, dapat dilihat bahwa sistem set eksperimen menggunakan dua sensor *photogate* dan mikrokontroler ATmega328. Sistem eksperimen ini bekerja menggunakan catu daya. Sinyal input yang berasal dari sensor akan diolah oleh mikrokontroler. Mikrokontroler akan bekerja sesuai dengan sinyal input untuk jenis eksperimen. Data sensor *photogate* akan dikirim oleh arduino ke sistem. Keluaran dari sensor akan terbaca oleh *Liquid Crystal Display*. Pada *display* akan tertera waktu tempuh benda sebelum dan sesudah tumbukan.

2. Desain Sistem Mekanik

Desain mekanik set eksperimen *air track* seperti ditampilkan dalam Gambar 7. *Start-stop timer* yang dikendalikan oleh sensor *photogate* seperti yang ditunjukkan nomor 1. Nomor 2 merupakan *blower* sebagai *supply* udara. Sensor *photogate* terdiri atas dua unit seperti yang ditunjukkan nomor 3 dan 4. Benda luncur seperti terlihat pada nomor 5 dan 6. *Track* luncur seperti pada nomor 7, dan pengatur ketinggian *track* dapat dilakukan dengan memutar

sekrup yang ada pada nomor 8. Sementara itu, salah satu dibuat tetap seperti pada nomor 9.



Gambar 6. Desain Set Eksperimen Air Track

Berdasarkan Gambar 6, pembuatan *air track* dengan memasang 2 buah sensor *photogate* akan mendeteksi waktu tempuh benda. Untuk eksperimen Gerak Lurus Beraturan (GLB), dengan memvariasikan jarak antara dua sensor maka akan didapatkan kecepatan benda. Untuk eksperimen Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB), yang divariasikan adalah kemiringan *track* dan jarak antara kedua sensor untuk mendapatkan percepatan. Untuk eksperimen Momentum, yang divariasikan adalah kecepatan awal benda. Dari pengukuran tersebut sinyal-sinyal yang telah terdeteksi akan dikirim ke arduino dan diolah kemudian ditampilkan melalui *Liquid Crystal Display (LCD)* 4x20 karakter.

Analisis data pada set eksperimen air track ini meliputi persentase kesalahan, ketepatan pengukuran, standar deviasi, kesalahan relatif, dan ketelitian.

Untuk mencari persentase kesalahan alat ukur kuantitas aliran air dapat menggunakan persamaan 5.

$$\text{Persentase kesalahan} = \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \times 100\% \quad \dots\dots(5)$$

Dimana Y_n = Nilai sebenarnya dan X_n = Nilai yang terbaca pada alat ukur. Sedangkan untuk mencari ketepatan alat ukur kuantitas aliran air menggunakan persamaan 6.

$$A = 1 - \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right| \quad \dots\dots\dots(6)$$

Dimana A merupakan nilai dari ketepatan.

Untuk mencari nilai ketelitian set eksperimen *air track*, menggunakan persamaan 7.

$$\text{ketelitian} = 1 - \left| \frac{X_n - \bar{X}_n}{\bar{X}_n} \right| \quad \dots\dots\dots(7)$$

Dimana perbedaan antara mencari nilai ketelitian dengan ketepatan hanya pada menukar pengali Y_n dengan \bar{X}_n . \bar{X}_n = rata-rata dari set n pengukuran. Sedangkan untuk mencari standar deviasi dari pengukuran kuantitas aliran air menggunakan persamaan 8

$$\Delta X = \frac{1}{n} \sqrt{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad \dots\dots\dots(8)$$

Dan untuk mencari nilai kesalahan relatif menggunakan persamaan 9.

$$KR = \frac{\Delta X}{X} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(9)$$

Dimana KR merupakan nilai dari kesalahan relatif, ΔX merupakan nilai standar deviasi.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

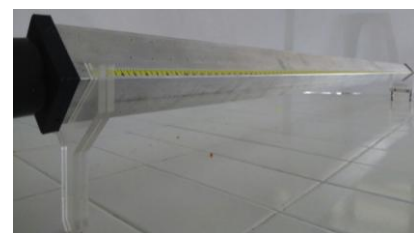
A. Hasil Penelitian

Hasil penelitian dijabarkan dengan menjelaskan spesifikasi performansi, spesifikasi desain, dan analisis data hasil penelitian, sehingga diperoleh hubungan antara variabel-variabel terkait untuk menjelaskan tujuan penelitian yang ditetapkan.

1. Spesifikasi Performansi Sistem

Spesifikasi performansi *Air Track* merupakan pengidentifikasian atau penguraian fungsi setiap bagian pembentuk sistem. *Air Track* dirancang untuk dapat melakukan eksperimen Kinematika dan Dinamika berupa eksperimen Gerak Lurus Beraturan (GLB), kecepatan, percepatan dan momentum. Data yang diperoleh dari set eksperimen ini berupa waktu tempuh benda yang ditampilkan pada LCD. Sistem *Air Track* dibangun dari berbagai komponen diantaranya:

- Lintasan Luncur terbuat dari Aluminium Batang dengan panjang 150 cm. Lintasan Luncur digunakan sebagai *track* luncur. Lintasan Luncur bekerja dengan cara memberikan tekanan pada bawah benda luncur. Lintasan Luncur dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Lintasan Luncur

Pada lintasan luncur terdapat lubang dengan diameter 1mm dengan jarak antar lubang 2 cm. Lubang-lubang ini berfungsi untuk mengalirkan udara dari dalam batang Aluminium untuk mengangkat bendanya. Pada lintasan luncur juga terdapat skala yang menunjukkan jarak. Kedudukan lintasan benda terdiri dari penyangga dengan panjang konstan dan penyangga dengan panjangnya dapat disesuaikan untuk mengatur kemiringan lintasan.

- Blower* digunakan sebagai penyuplai udara untuk lintasan benda. Bentuk fisis dari *blower* yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Blower

Ukuran blower yang digunakan sebesar 3 inch. Blower ini memiliki diameter pipa keluaran sebesar 3 inch. Kecepatan putar baling-baling blower sebesar 3000/3600 rpm. Blower ini dihidupkan dengan tegangan 220 V, dengan arus sebesar 2 A. Blower dapat mengalirkan udara dengan kecepatan minimum sebesar 15.5 m/s dan kecepatan maksimum 21.5 m/s.

- c. Benda Luncur merupakan benda yang digunakan pada set eksperimen Air Track. Benda yang digunakan dirancang untuk dapat terangkat pada saat di lintasan dan dapat mengaktifkan sensor. Bentuk benda yang digunakan seperti yang terlihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Benda Luncur

Benda yang digunakan terbuat dari kombinasi Aluminium dan akrilik. Akrilik yang digunakan berwarna hitam solid. Pemberian warna hitam solid ini bertujuan agar sensor photogate dapat mendeteksi pergerakan Benda Luncur tersebut. Aluminium yang digunakan adalah aluminium dengan bentuk L. pada bagian dalam aluminium ini dirancang agar dapat meluncur bebas pada track. Ada dua benda yang digunakan dengan berat masing-masing 75,5 gram dan 74,5 gram. Benda yang digunakan disini memiliki panjang 12.5 cm.

- d. Sensor Photogate, ada dua sensor photogate yang digunakan yang memiliki fungsi yang berbeda untuk setiap percobaannya. Sensor photogate dapat dilihat seperti pada Gambar 10.



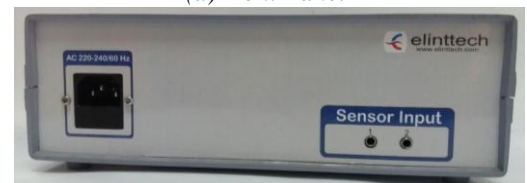
Gambar 10. Sensor Photogate

Sensor photogate terdiri dari beberapa komponen elektronika seperti IC NE555, infrared, phototransistor, dan resistor. Keluaran dari rangkaian sensor photogate ini berupa tegangan 0 dan 5 volt. Tegangan keluaran dari sensor photogate akan bernilai nol volt pada saat cahaya infrared tidak mengenai phototransistor dan akan bernilai 5 volt pada saat cahaya infrared mengenai phototransistor. Sehingga, sensor photogate ini disebut aktif LOW.

- e. Box kubus berukuran 25cm x 19cm x 8cm berguna sebagai penyimpanan rangkaian, peletakkan LCD dan push button. Box terdiri atas dua panel yaitu front panel dan back panel. Tampilan panel dapat dilihat pada Gambar 11.



(a)Front Panel



(b)Back Panel

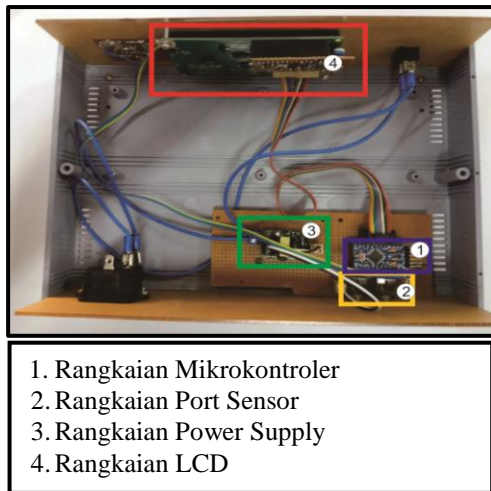
Gambar 11. Tampilan Panel

Pada front panel terdapat LCD dengan 20 x 4 karakter, tombol home, time, saklar on/off, tombol select. LCD berfungsi untuk menampilkan data pengukuran. Untuk mereset data pengukuran menggunakan tombol home. Tombol on/off berfungsi untuk menyalakan sistem sedangkan, untuk memilih jenis eksperimen digunakan tombol select. Tampilan front panel dapat dilihat pada Gambar 11(a)

Back panel terdapat port input sensor, port AC, dan puse. Ada dua input sensor yang terdapat pada back panel yaitu sensor 1 dan sensor 2. Port AC berfungsi sebagai soket input tegangan AC 220-240 Volt / 60 Hz. Adapun fungsi puse sebagai pemutus arus jika terjadi konsleting pada rangkaian. Back panel dapat dilihat pada Gambar 11(b).

- f. Rangkaian elektronika pembangun sistem dirancang sedemikian rupa dan ditempatkan dalam sebuah box. Dimana sistem pembangun ini terdiri dari papan mikrokontroler Arduino Promini yang sudah terintegrasi dengan mikrokontroler 328, dan rangkaian power supply. Hasil desain rangkaian elektronika sistem dapat dilihat pada

- g.
- h.
- i. Gambar 12.



1. Rangkaian Mikrokontroler
2. Rangkaian Port Sensor
3. Rangkaian Power Supply
4. Rangkaian LCD

Gambar 12. Foto Rangkaian Elektronika Pembangunan Set eksperimen

Pada

Gambar 12 dapat dilihat secara umum rangkaian elektronika pembangunan sistem. Sistem ini dibangun oleh beberapa blok rangkaian diantaranya rangkaian port sensor *photogate*, rangkaian LCD, blok mikrokontroler Arduino promini, dan blok rangkaian catu daya.

2. Spesifikasi Desain Sistem

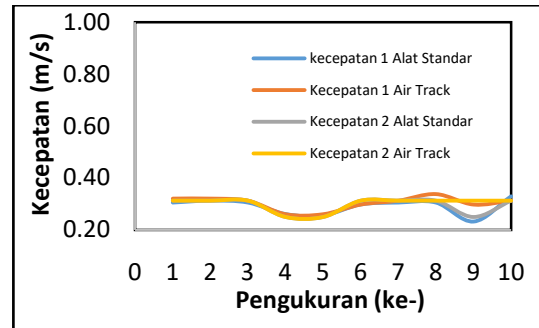
Spesifikasi desain sering juga disebut sebagai spesifikasi produk. Spesifikasi tergantung pada sifat alami dari material yang digunakan. Spesifikasi desain menjelaskan tentang karakteristik statik produk, toleransi, bahan pembentuk sistem, ukuran sistem, dan dimensi sistem. Karakteristik statik secara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

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

a. Ketepatan Pengukuran pada Percobaan GLB

Pada percobaan GLB menggunakan dua *timer* yang bekerja menggunakan dua sensor. Sistem kerja

sensor pada percobaan ini yaitu sensor 1 berfungsi untuk menjalankan *timer 1* dan sensor 2 berfungsi untuk menjalankan *timer 2*. Adapun grafik ketepatan pengukuran pada percobaan GLB dapat dilihat pada Gambar 13.

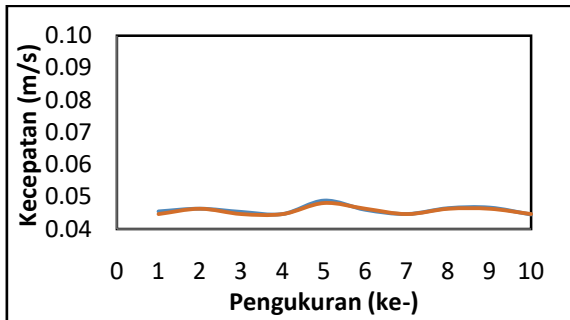


Gambar 13. Perbandingan Kecepatan Benda menggunakan Alat Ukur Standar dan Sistem pada percobaan GLB dan GLBB untuk 10 kali Pengukuran

Pada Gambar 13, kecepatan 1 alat standar merupakan waktu yang dibutuhkan benda untuk melewati sensor 1 yang diukur dengan menggunakan *stopwatch*. Kecepatan 2 alat standar merupakan waktu yang dibutuhkan benda untuk melewati sensor 2 yang diukur dengan menggunakan *stopwatch*. Kecepatan 1 *air track* merupakan hasil pengukuran waktu oleh set eksperimen saat benda 1 melewati sensor 1. Sedangkan, kecepatan 2 *air track* merupakan hasil pengukuran waktu oleh set eksperimen saat benda melewati sensor 2. Pada Gambar 21 terdapat dua perbandingan kecepatan yaitu perbandingan kecepatan 1 dan perbandingan Kecepatan 2. Dari Gambar 21 dapat dilihat perbandingan untuk masing-masing kecepatan. Persentase ketepatan untuk Kecepatan 1 sebesar 98,9 % dan untuk Kecepatan 2 sebesar 98,93%. Kesalahan maksimum untuk kecepatan 1 terjadi pada pengukuran ke-9. Kesalahan maksimum untuk Kecepatan 2 terjadi pada pengukuran ke-8.

b. Ketepatan Pengukuran pada Percobaan Kecepatan

Pada percobaan kecepatan juga menggunakan dua sensor untuk menghidupkan dan mematikan *timer*. *Timer* akan jalan jika benda memasuki sensor 1 dan *timer* akan berhenti jika benda memasuki sensor 2. Adapun grafik ketepatan pengukuran pada percobaan Kecepatan seperti pada Gambar 14.

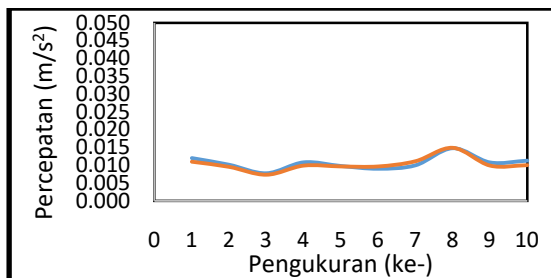


Gambar 14. Perbandingan Kecepatan Benda dengan Alat Ukur Standar dan Sistem pada percobaan Kecepatan untuk 10 kali pengukuran

Alat standar yang digunakan adalah *stopwatch*. Pada Gambar 14, grafik yang berwarna biru (alat standar) merupakan hasil pengukuran menggunakan *stopwatch*. Sedangkan, grafik yang berwarna oranye (*air track*) merupakan hasil pengukuran menggunakan set eksperimen.

c. Ketepatan Pengukuran pada Percobaan Percepatan

Pada percobaan Percepatan masih menggunakan dua sensor. Masing-masing sensor berkerja dua kali. Sensor 1 berfungsi untuk menghidupkan timer 1 benda dan timer jarak. Sedangkan, sensor 2 digunakan untuk menghidupkan timer 2 benda dan mematikan timer jarak. Adapun grafik ketepatan pengukuran percepatan pada percobaan percepatan dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Perbandingan Pengukuran Percepatan Menggunakan Alat Ukur Standar dan Sistem pada percobaan Percepatan

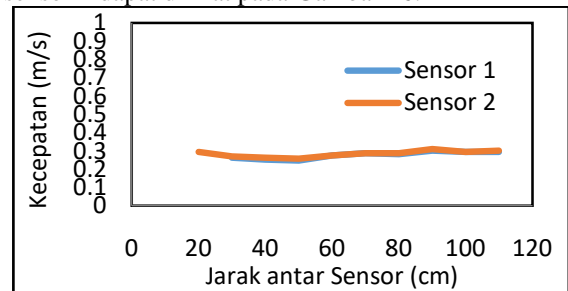
Pada Gambar 15, percepatan alat standar merupakan hasil pengukuran percepatan benda yang diukur dengan *stopwatch*. Percepatan *air track* merupakan hasil pengukuran percepatan benda yang terukur oleh set eksperimen. Persentase Ketepatan pengukuran percepatan sebesar 96,79%. Kesalahan maksimum pengukuran pada percepatan terjadi pada pengukuran kesepuluh.

Penentuan tingkat ketelitian sistem dapat diketahui dengan cara melakukan pengukuran berulang sebanyak 10 kali pengukuran. Berdasarkan hal tersebut dapat ditentukan nilai rata-rata, standar deviasi, persentase kesalahan dan ketelitian.

Ketelitian set eksperimen *Air Track* untuk masing-masing percobaan dibedakan sebagai berikut:

a. Ketelitian pada Percobaan GLB

Pada set eksperimen *Air Track* untuk percobaan GLB didapatkan ketelitian kecepatan rata-rata benda melalui sensor 1 sebesar 85,72%, kecepatan rata-rata benda melalui sensor 2 sebesar 87,21%. Kesalahan Relatif untuk kecepatan pada sensor 1 didapat sebesar 4,04%, dan untuk kecepatan pada sensor 2 sebesar 3,46%. Standar deviasi yang didapat untuk kecepatan benda melalui sensor 1 sebesar 0.0114 dan untuk kecepatan benda melalui sensor 2 sebesar 0.0099. Adapun grafik perbandingan kecepatan benda pada sensor 1 dengan kecepatan benda pada sensor 2 dapat dilihat pada Gambar 16.

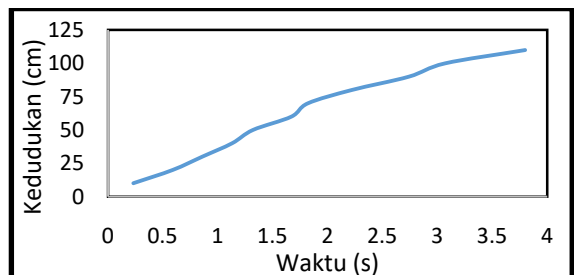


Gambar 16. Grafik Perbandingan Kecepatan Benda Pada Sensor 1 dan Sensor 2

Pada Gambar 16, grafik sensor 1 merupakan grafik kecepatan benda saat melewati sensor 1. Sedangkan, grafik sensor 2 merupakan grafik kecepatan benda saat melewati sensor 2. Pada Gambar 26 dapat dilihat perbandingan kecepatan benda melewati sensor 1 dengan kecepatan benda melewati sensor 2. Dari grafik diketahui kecepatan benda saat melewati sensor 1 mendekati kecepatan benda saat melewati sensor 2 meskipun jarak antar sensor diperbesar.

b. Ketelitian pada Percobaan Kecepatan

Pada percobaan Kecepatan didapatkan ketelitian rata-rata sebesar 94,15%. Kesalahan Relatif didapatkan sebesar 2,34% dengan standar deviasi sebesar 0.0048. Adapun grafik hubungan antara jarak tempuh dengan waktu tempuh dapat dilihat pada Gambar 17.

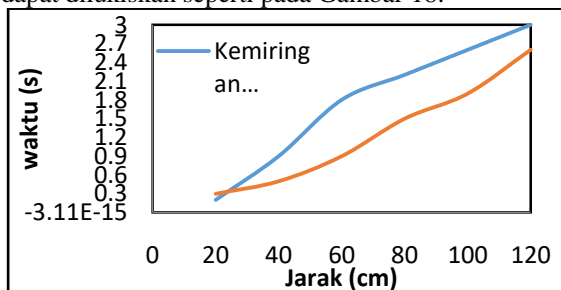


Gambar 17. Grafik Hubungan Jarak Tempuh dengan Waktu Tempuh

Pada Gambar 17 terlihat hubungan antara waktu tempuh benda terhadap Kedudukan benda. Pada grafik dapat diketahui semakin besar waktu tempuh suatu benda, semakin jauh pula kedudukan benda dari kedudukan awalnya.

c. Ketelitian pada Percobaan Percepatan

Ketelitian pengukuran timer pada percobaan Percepatan terdiri dari tiga timer yaitu timer 1, timer 2, dan timer jarak begitu juga untuk standar deviasi, dan kesalahan relatifnya. Adapun ketelitian untuk timer 1 sebesar 96.56%, timer 2 sebesar 96.90%, dan timer jarak sebesar 98.96% dengan standar deviasi timer 1 sebesar 0.01039 timer 2 sebesar 0.01236, dan timer jarak 0.03274 Kesalahan Relatif untuk masing-masing timer berturut-turut adalah 1.27%, 1.95%, dan 0.53%. Pada percobaan percepatan, hubungan antara kedudukan dan waktu dapat dilukiskan seperti pada Gambar 18.

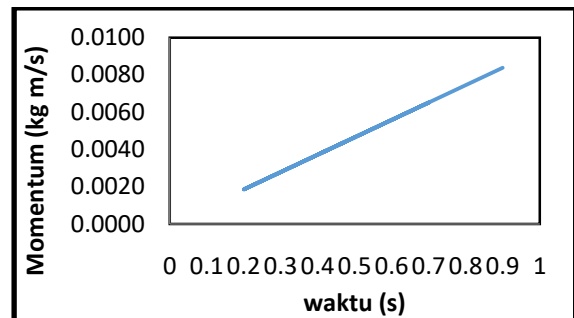


Gambar 18. Grafik Hubungan Jarak dengan Waktu Tempuh Benda pada Percobaan Percepatan

Berdasarkan Gambar 18 dapat dilihat grafik hubungan antara jarak dengan waktu tempuh benda pada percobaan percepatan. Dari grafik dapat diketahui kemiringan gradient dipengaruhi oleh sudut kemiringan track. Semakin besar sudut kemiringan track, semakin curam gradient percepatannya.

d. Percobaan Momentum

Pada percobaan momentum didapatkan ketelitian pengukuran *timer* melalui pengukuran berulang sebanyak 10 kali pengukuran. Ada empat *timer* yang akan ditentukan ketelitiannya diantaranya t_1 , t_2 , t_1' , dan t_2' . Untuk t_1 memiliki ketelitian sebesar 62.75% dengan standar deviasi sebesar 0.0706 dan kesalahan relatif sebesar 13.85%. Untuk t_2 memiliki ketelitian sebesar 85.25% dengan standar deviasi sebesar 0.0526, dan kesalahan relatif sebesar 8.62%. untuk t_1' didapatkan ketelitian sebesar 95.10% dengan standar deviasi sebesar 0.2895, dan kesalahan relatif sebesar 8.34%. Sedangkan untuk t_2' diperoleh ketelitian sebesar 93.81% dengan standar deviasi sebesar 0.1449 dan kesalahan relatif sebesar 4.27%. Pada percobaan momentum, hubungan antara kedudukan dan waktu dapat dilukiskan dengan grafik seperti pada Gambar 19.



Gambar 19. Grafik Hubungan Momentum dengan Waktu Tempuh Benda sebelum Tumbukan

B. Pembahasan

Set eksperimen *Air Track* ini terdiri dari dua bagian, yaitu bagian rangkaian elektronik dan bagian mekanik. Bagian rangkaian elektronik meliputi rangkaian penyusun sistem set eksperimen *Air Track*, seperti rangkaian LCD, rangkaian *power supply* dan *board* rangkaian mikrokontroler. Bagian mekanik terdiri dari tempat *track* lurus, benda lurus, dan *blower*

Prinsip kerja dari set eksperimen *Air Track* adalah ketika benda bergerak pada bidang lurus maka sensor *photogate* akan mencatat pergerakan benda tersebut. Adapun prinsip kerja dari sensor fotodiode adalah ketika sensor dalam keadaan terhalang maka sensor akan berlogika *LOW*, sebaliknya ketika sensor dalam keadaan tidak terhalang maka sensor akan berlogika *HIGH*. Hasil keluaran dari sensor *photogate* ini yang akan diolah dengan mikrokontroler arduino untuk mendapatkan waktu pergerakan benda.

Pengujian set eksperimen *air track* ini dilakukan dengan cara membandingkan hasil pengukuran dengan hasil pengukuran menggunakan alat standar untuk mengukur *timer* pada percobaan GLB dan GLBB, kecepatan, percepatan, dan momentum. Dari hasil pengukuran didapatkan sedikit perbedaan yang didapat dengan pengukuran menggunakan alat standar. Hal ini disebabkan karena pada bagian elektronika sistem memiliki *delay program* sehingga terjadi *delay* perhitungan waktu. Oleh sebab itu, perlu dilakukan perbaikan pada bagian elektronik set eksperimen *air track* ini.

Kelebihan dari set eksperimen *air track* ini adalah set eksperimen ini memiliki sistem mekanik yang sederhana dengan perhitungan yang dilakukan secara digital kemudian tampilan keluaran dari set eksperimen ini ditampilkan pada LCD. Sehingga dalam penarikan kesimpulan pada praktikum dan teori lebih mudah dan cepat didapatkan. Tetapi sistem *air track* ini masih memiliki keterbatasan pada jenis praktikum yang dapat dilakukan.

KESIMPULAN

Dari pembahasan mengenai set eksperimen *air track* berbasis mikrokontroler dan sensor *photogate* yang telah diuraikan, maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Spesifikasi performansi set eksperimen *air track* terdiri dari rangkaian *power supply*, rangkaian mikrokontroler arduino promini, sensor *photogate*, dan LCD. Rangkaian *power supply* berfungsi sebagai catu daya dengan keluaran 5 volt. Sensor yang digunakan adalah sensor *photogate* yang berfungsi sebagai pencacah waktu tempuh benda. Rangkaian mikrokontroler Arduino promini berfungsi untuk mengolah keluaran sensor agar sesuai dengan keluaran yang diharapkan.
2. Set eksperimen *air track* ini dapat digunakan untuk percobaan GLB, GLBB, Kecepatan, Percepatan, dan Momentum. Pada percobaan GLB alat ini hanya mampu digunakan untuk melihat kecepatan benda pada dua titik yang berbeda yaitu kecepatan benda pada sensor 1 dan kecepatan benda pada sensor 2. Pada percobaan Kecepatan set eksperimen ini dapat digunakan untuk menentukan kecepatan suatu benda dari sensor 1 ke sensor 2. Pada percobaan Percepatan set eksperimen ini dapat digunakan untuk menentukan percepatan suatu benda dengan cara menentukan kecepatan sesaat benda pada saat benda melewati sensor 1 yang dihitung sebagai kecepatan awal. Kemudian kecepatan akhir didapatkan dari kecepatan sesaat benda melewati sensor 2. Sedangkan, waktu tempuh benda didapatkan dari waktu yang dibutuhkan benda untuk menempuh jarak antara sensor 1 dan sensor 2. Pada percobaan momentum, set eksperimen ini hanya dapat bekerja dengan baik jika benda 1 melewati sensor 1 bersamaan dengan benda 2 melewati sensor 2 dan Setelah terjadi tumbukan antara dua benda, benda 1 bergerak melewati sensor 1 dan benda 2 melewati sensor 2.
2. Hasil penentuan spesifikasi desain dari alat ukur kuantitas aliran air ini adalah sebagai berikut :
 - a. Ketepatan dari set eksperimen *air track* ini cukup baik, dimana rata-rata ketepatan pengukurannya mencapai 98,82%.
 - b. Persentase ketelitian dari set eksperimen *air track* ini juga cukup baik. Dimana rata-rata ketelitian yang didapat 92,13%.
3. Dapat menunjukan fenomena gerak lurus beraturan dan gerak lurus berubah beraturan dengan baik.
4. Set eksperimen Air Track ini telah bisa digunakan untuk eksperimen kinematika dan dinamika

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yulkifli, dan Yohandri. 2016. *Desain Pembuatan Alat-alat Praktikum Berbasis Teknologi Digital sebagai Pendukung Perangkat Matakuliah Pengembangan Alat Laboratorium Fisika Berbasis KKNI untuk Mahasiswa Pendidikan Fisika PPS UNP*. Laporan Penelitian.
- [2] Indrasusanto, Tjondro. *Pendayagunaan Air Track untuk Percobaan Gerak Lurus Beraturan dan Gerak Lurus Berubah Beraturan*. Megister Scientiae ISSN: 0852-078X. Edisi No. 26 Oktober 2009
- [3] Halliday and Resnick, “*Fundamentals of Physics*”, Wiley, United State, 10th Edition. 2014, p.226
- [4] M. Hamron, dan Tim Koordinator Asisten LFD 2015/2016, “*Modul Eksperimen Fisika Dasar I*”, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2015 p.69-77
- [5] Yohandri. (2013). *Mikrokontroler dan Antar Muka*. Padang: UNP.
- [6] Bakri, Ilham. (2010). *Spesifikasi awal produk*. <http://www.scribd.com/>. Diakses 24 Januari 2011