

PERANCANGAN ALAT PRAKTIKUM FISIKA GERAK JATUH BEBAS BERBASIS *INTERNET OF THINGS*

Anildo Agustian¹⁾, Adian Aristia Anas^{2)*}, Romi Wilza²⁾, Ahmad Junaidi²⁾

¹⁾Program Studi Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Sriwijaya
Jl. Sriwijaya Negara, Bukit Besar, Palembang 30139, Indonesia

²⁾Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Sriwijaya
Jl. Sriwijaya Negara, Bukit Besar, Palembang 30139, Indonesia

*email korespondensi: adian1087@gmail.com

INFORMASI ARTIKEL

Received:
21/10/24

Received in revised:
16/11/24

Accepted:
21/11/24

Online-Published:
29/11/24

© 2024 The Authors. Published by
Machinery: Jurnal Teknologi Terapan
(Indexed in SINTA)

doi:
<http://doi.org/10.5281/zenodo.14241906>

ABSTRAK

Kinematika Gerak Jatuh Bebas (GJB) adalah salah satu materi pokok dalam mata kuliah fisika dan praktikum fisika. Namun, Laboratorium Fisika di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya belum memiliki alat peraga GJB. Penelitian ini bertujuan untuk membuat dan menguji kinerja alat praktikum GJB berbasis Internet of Things (IoT). Metode penelitian ini menggunakan metode kualitatif dengan pendekatan eksperimen. Variabel independen yang diambil adalah 3 tinggi jatuh (100 cm, 130 cm, dan 150 cm), serta 3 massa benda uji (100 g, 200 g, dan 500 g). Sedangkan variabel dependen yang digunakan adalah kecepatan akhir benda uji. Hasil kecepatan akhir yang diperoleh dari alat praktikum GJB dengan sistem IoT ini dibandingkan dengan hasil perhitungan kecepatan akhir secara manual menggunakan rumus GJB. Hasil perhitungan kecepatan akhir di dalam sistem IoT tetap menggunakan rumus GJB yang ditanam melalui baris coding ke modul Wi-Fi NodeMCU ESP8266 berdasarkan input pembacaan tinggi jatuh oleh sensor ultrasonik HC-SR04 dan deteksi benda jatuh di dasar alat oleh sensor proximity infrared E18-D80NK. Data di analisa dengan metode ANOVA untuk mendapatkan tingkat ketelitian alat dan hubungan antara tinggi jatuh dan massa benda terhadap hasil kecepatan akhir. Hasil pengujian pada penelitian menunjukkan bahwa alat praktikum GJB berbasis IoT memiliki kinerja sangat layak/sangat baik karena diperoleh rata – rata tingkat ketelitiannya mencapai 94,48% dan rata – rata Error diperoleh 5,52%. nilai maksimum Error didapat 12,06%. Hasil analisa dengan metode ANOVA juga membuktikan bahwa tinggi jatuh berpengaruh signifikan terhadap kecepatan akhir benda uji. Sebaliknya, massa tidak berpengaruh terhadap kecepatan akhir benda uji pada hasil rancangan alat praktikum GJB berbasis IoT.

Kata Kunci : Alat Praktikum Fisika, Gerak Jatuh Bebas, Internet of Things, Kecepatan Akhir, ANOVA

ABSTRACT

Kinematics of Free Fall Motion (FFM) is one of the important chapters in physics courses. However, the Physics Laboratory at the Department of Mechanical Engineering, State Polytechnic of Sriwijaya does not have practical tools of FFM yet. This study aims to design and determine the performance of the FFM physics lab based on the Internet of Things (IoT). This research method uses qualitative method and experimental approach. This physics lab is afterward compared to theoretical calculations from the FFM formula by testing it at 3 falling heights of 100 cm, 130 cm, and 150 cm, as well as at 3 different masses of 100 g, 200 g, and 500 g. All data collected need to be analyzed using ANOVA of linear regression to obtain the level of accuracy and the relationship between falling heights and masses towards final velocities of the test objects. The results of the study shows that the development of the lab physics FFM IoT-based has very decent performance as long as the average error percentage is 5.52%. The maximum error value 12,06%

as well as the level of average accuracy level is 94.48%. The results of the analysis showed that falling heights have a significant effect towards final velocities of the FFM's test objects. On the other hand, variety of masses barely has no effect towards final velocities of the physics lab.

Keywords : Physics Lab, Free Fall Motion, Internet of Things, Final Velocity, ANOVA

1 PENDAHULUAN

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya pada dasarnya sudah memiliki Laboratorium Fisika untuk pelaksanaan kegiatan praktikum fisika. Namun, sebagian besar alat praktikum yang ada di laboratorium tersebut sudah berumur cukup lama dan saat ini sudah dalam kondisi rusak atau tidak layak digunakan lagi untuk praktikum fisika. Kendala ini mengakibatkan kegiatan pembelajaran fisika terutama pada praktikum menjadi terbatas dan kurang optimal. Oleh karena itu, diperlukan pembaharuan alat praktikum fisika dan mengikuti perkembangan teknologi untuk mendukung capaian pembelajaran dan kelancaran aktivitas praktikum di Laboratorium Fisika. Di dalam kurikulum Program Studi D-IV Teknik Mesin Produksi dan Perawatan di jurusan tersebut terdapat mata kuliah wajib di Semester 1, yaitu Fisika Rekayasa. Mata kuliah ini terdiri dari 1 SKS teori di kelas dan 1 SKS praktikum di Laboratorium Fisika Jurusan Teknik Mesin. Salah satu materi pokok dan capaian pembelajaran mata kuliah ini adalah Gerak Jatuh Bebas (GJB). GJB adalah salah satu konsep kinematika gerak ketika gravitasi adalah satu – satunya gaya dan tidak ada gaya lain yang bekerja pada benda [1]. Bab ini membahas tentang kinematika gerak suatu benda yang jatuh di bawah pengaruh gravitasi bumi tanpa adanya pengaruh gaya lain dari luar [2]. Praktikum fisika seperti GJB merupakan metode yang efektif untuk mendemonstrasikan hukum – hukum fisika secara langsung [3].

Kemajuan teknologi yang sangat pesat di era revolusi industri 4.0, dimana salah satunya adalah *Internet of Things* (IoT) [4]. Hal ini menunjukkan betapa cepatnya teknologi ini berkembang. Perkembangan ini mendorong peneliti untuk terus berinovasi dengan tujuan untuk meningkatkan kualitas pembelajaran, terutama pada kegiatan praktikum fisika. Inovasi yang dimunculkan adalah integrasi IoT dengan sistem mekanik pada alat praktikum fisika. IoT memungkinkan perangkat elektronik saling terhubung melalui jaringan internet, sehingga berpotensi yang mempermudah dan memperbaiki proses pembelajaran [5]. Salah satu kelebihan teknologi IoT adalah dapat diimplementasikan dalam pengembangan alat praktikum di Laboratorium Fisika [6]. Laboratorium Fisika tidak hanya berperan sebagai tempat pembelajaran, tetapi juga sebagai sarana penting dalam mengembangkan pemahaman mahasiswa terhadap konsep-konsep fisika secara langsung [3]. Dengan mengimplementasikan teknologi IoT, alat peraga atau praktikum di laboratorium dapat dirancang untuk memberikan pengalaman belajar yang lebih interaktif dan terintegrasi sesuai dengan kemajuan teknologi saat ini [7]. Pemanfaatan *Big Data* dan *Cloud* di IoT dapat meningkatkan efisiensi dan akurasi serta memungkinkan metode pembelajaran yang lebih canggih dan adaptif di laboratorium [8].

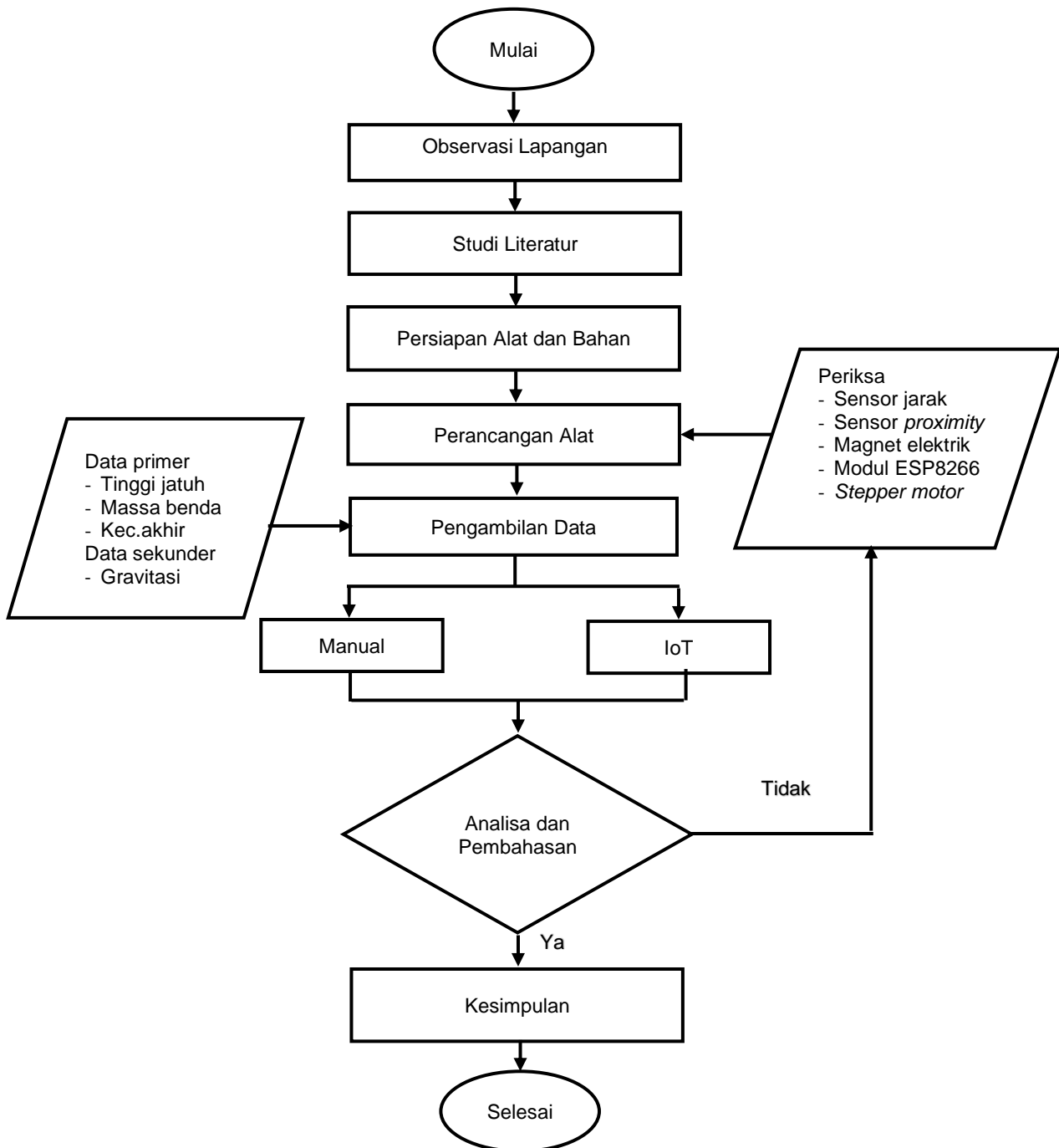
Dengan adanya alat praktikum GJB yang terkoneksi dengan IoT, mahasiswa diharapkan dapat lebih mudah memahami konsep fisika, seperti pengaruh gravitasi bumi terhadap benda yang dilepaskan dari ketinggian tertentu. Dengan demikian, mahasiswa dapat mengembangkan keterampilan praktik mereka dalam melakukan percobaan fisika dengan metode yang mengikuti perkembangan zaman. Oleh karena itu, dilakukan perancangan dan analisa lebih lanjut. Hal ini diperlukan agar alat praktikum GJB berbasis IoT yang dibuat menjadi layak diimplementasikan untuk kegiatan percobaan GJB. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan hasil rancangan dengan kendali dan tampilan hasil percobaan menggunakan aplikasi *Blynk* dan untuk mengetahui kinerja atau tingkat ketelitian alat praktikum GJB berbasis IoT.

2. BAHAN DAN METODA

2.1 Metode Penelitian

Penelitian perancangan alat praktikum GJB berbasis IoT dilakukan di Bengkel MR Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya. Metodologi Penelitian adalah ilmu yang mempelajari bagaimana penelitian dilakukan secara ilmiah [9]. Penelitian ini menggunakan metode kualitatif dengan pendekatan eksperimen. Hasil pengambilan data eksperimen akan diolah dan di analisa untuk mengetahui kinerja alat atau tingkat ketelitian hasil perancangan alat praktikum GJB berbasis IoT. Variabel independen yang digunakan adalah tinggi jatuh benda uji. Variabel dependen (dipengaruhi oleh variabel independen) yang digunakan adalah

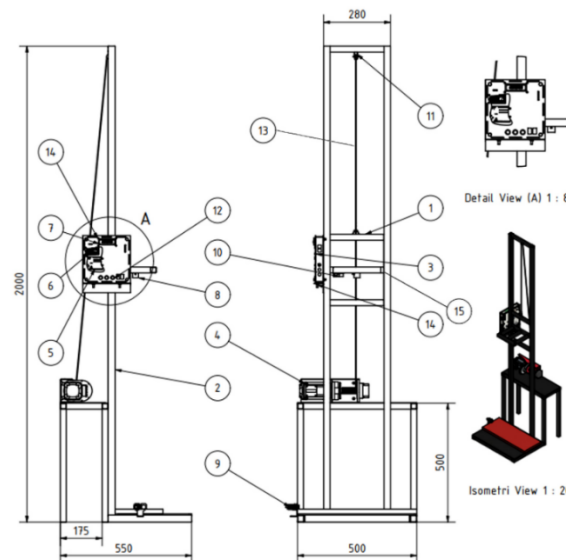
waktu jatuh dan kecepatan akhir benda uji (ketika posisi benda sudah menyentuh dasar alat). Tahapan pada penelitian ini terdiri dari observasi lapangan, studi literatur, perancangan/perakitan alat praktikum GJB berbasis IoT (mekanik, elektrik, dan *programming*), pengujian, pengambilan data primer, dan analisa kinerja alat. Diagram alir penelitian perancangan alat praktikum GJB berbasis IoT ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.3 Perancangan Alat

Perancangan awal adalah mendesain 2 dan 3 dimensi alat praktikum GJB berbasis IoT menggunakan aplikasi *Computer Aided Design* (CAD) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Tahap berikutnya adalah perakitan secara mekanik alat praktikum GJB dan mengintegrasikannya ke sistem IoT.



Gambar 2. Desain CAD alat praktikum GJB berbasis IoT

Deskripsi:

1. Rangka bagian atas, berfungsi sebagai penopang untuk magnet elektrik dan sensor ultrasonik HC-SR04, terbuat dari besi *hollow* ST32 ukuran 30 mm x 30 mm x 2 mm
2. Rangka bagian bawah, berfungsi sebagai penopang semua komponen, terbuat dari besi *hollow* ST32 ukuran 30 mm x 30 mm x 2 mm.
3. Box panel akrilik, berfungsi sebagai pelindung untuk komponen elektrik seperti modul NodeMCU ESP8266, Arduino UNO, *Relay*, dan lainnya dari kerusakan dan gangguan dari luar.
4. *Stepper Motor* NEMA 17, berfungsi sebagai pengangkat dan penahan rangka bagian atas supaya benda bisa naik dan turun sesuai ketinggian yang ditentukan.
5. NodeMCU ESP8266, berfungsi sebagai penerima sinyal, prosesor, dan penghubung ke aplikasi *Blynk*.
6. Arduino UNO, berfungsi sebagai penerima sinyal, prosesor, dan penghubung dan sebagai cadangan apabila jaringan Wi-Fi terganggu/tidak ada atau NodeMCU ESP8266 tidak bisa digunakan.
7. LCD 16x02 12IC, berfungsi untuk menampilkan data percobaan GJB.
8. Magnet elektrik, berfungsi sebagai pencengkam benda uji.
9. Sensor *proximity infrared E18-D80NK*, berfungsi sebagai pendeteksi pada saat benda jatuh di dasar.
10. Sensor ultrasonik HC-SR04, berfungsi untuk mengukur tinggi benda uji terhadap landasan.
11. Katrol, berfungsi untuk mengubah posisi rangka atas agar dapat digerakkan naik dan turun.
12. 3 *Push button*, berfungsi untuk melepas benda uji dari magnet elektrik, menaikkan, dan menurunkan rangka bagian atas, hanya terhubung ke Arduino Uno R3, masing-masing
13. Tali kawat, penghubung antara *stepper motor* NEMA 17. dan rangka bagian atas.
14. Dudukan Box panel akrilik yang diposisikan di sisi kanan dan di tengah rangka bagian bawah.
15. *Bearing*, berfungsi sebagai penghubung antara rangka bagian bawah dan atas agar rangka bagian atas dapat bebas dinaikkan dan diturunkan.

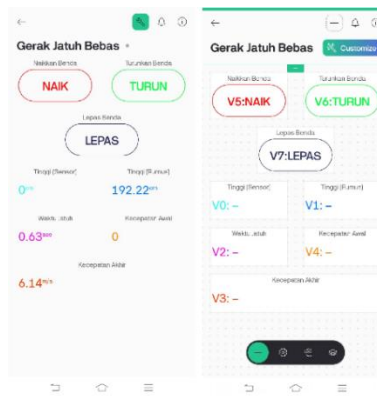
2.4 Cara Kerja Alat

Pada sistem IoT, alat ukur yang diperlukan terdiri dari menjadi 2 bagian, yaitu sensor ultrasonik HC-SR04 yang diposisikan di sisi bawah rangka atas untuk mengukur tinggi benda uji dan sensor *proximity infrared E18-D80NK* yang diposisikan sejajar dengan dasar (landasan) alat untuk mendeteksi keberadaan benda uji yang jatuh. Sedangkan pada sistem manual digunakan alat ukur berupa mistar tempel sepanjang 150 cm yang dilekatkan di sepanjang sisi kiri rangka bagian bawah untuk mengukur tinggi benda uji secara konvensional.

Alat praktikum GJB berbasis IoT dinyalakan sampai muncul status "*The sistem is connected to internet*" di seluler pintar dan layar LCD. Pada kondisi ini, magnet elektrik sebagai penahan / pelepas benda uji berada dalam kondisi *HIGH* atau *ON*, sehingga benda uji (material besi) sudah bisa ditempelkan. Sebaliknya, di sisi bawah alat, status dari sensor *proximity infrared E18-D80NK* yang akan mendeteksi benda jatuh adalah *HIGH* selama tidak ada benda yang dideteksi. Ketika status magnet elektrik berubah menjadi *LOW* dengan perintah di aplikasi *Blynk*, maka benda uji akan lepas dari magnet dan jatuh karena pengaruh gravitasi bumi. Ketika benda uji sudah berada di depan sensor *proximity infrared E18-D80NK*, maka status sensor ini akan otomatis berubah menjadi *LOW*. Waktu jatuh benda uji (detik) setinggi h (meter) akan mulai berjalan atau dihitung

melalui program atau *coding millis* yang tertanam di dalam mikrokontroler NodeMCU ESP8266, mulai dari benda uji lepas/jatuh dari magnet elektrik sampai dideteksi oleh sensor *proximity infrared E18-D80NK (LOW)*.

Ketinggian benda jatuh diukur secara otomatis dibaca secara digital oleh sensor ultrasonik HC-SR04 yang dipasang dan diposisikan sejajar dengan magnet elektrik di bawah rangka atas. Turun naik rangka atas ini diatur dengan menggunakan *stepper motor* NEMA 17 yang terhubung ke NodeMCU ESP8266 dan dikendalikan melalui aplikasi *Blynk* di seluler pintar pengguna. Selanjutnya, hasil kecepatan akhir benda uji, V_t , ketika membentur landasan alat yang dihitung oleh sistem *coding* melalui mikrokontroler berbasis IoT, yaitu NodeMCU ESP8266. Perhitungan kecepatan akhir yang ditampilkan adalah berdasarkan hasil pembacaan waktu, t , ataupun tinggi jatuh bebas benda uji, h . Secara keseluruhan, hasil pembacaan ketinggian jatuh benda, h , oleh sensor ultrasonik HC-SR04, waktu jatuh, t , dan kecepatan akhir jatuh benda uji, V_t , akan ditampilkan dan dikendalikan melalui aplikasi *Blynk* di seluler pintar. Sedangkan perintah jepit/lepas benda uji di magnet elektrik juga bisa dikendalikan melalui aplikasi *Blynk*. Gambar 3 di bawah ini menunjukkan pengaturan *widget* dan tampilan data salah satu hasil percobaan praktikum GJB berbasis IoT di aplikasi *Blynk*.

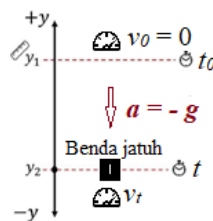


Gambar 3. (a) Pengaturan *widget* di aplikasi *Blynk*; dan (b) contoh tampilan hasil percobaan GJB di *Blynk*

2.5 Analisa Data

2.5.1 Rumus Kecepatan Akhir dan Waktu Benda Jatuh

Sebuah benda uji apabila dilepas dari ketinggian tertentu di sumbu y , maka benda tersebut akan jatuh hingga berhenti ketika sudah menyentuh tanah. Fenomena alami ini terjadi karena adanya pengaruh berupa percepatan yang menarik benda tersebut, yaitu gravitasi bumi, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, dan arah vektornya selalu vertikal menuju pusat bumi [10]. *Free Body Diagram (FBD)* pada konsep GJB ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. *FBD* pada gerak jatuh bebas

Persamaan untuk menghitung kecepatan akhir pada GJB dapat dituliskan [11]:

$$V_t = -g \cdot t \tag{1}$$

dan persamaan untuk menghitung waktu jatuh pada GJB

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot h}{g}} \tag{2}$$

keterangan:

V_t = Kecepatan akhir benda jatuh ketika tepat berada di tanah (m/s)

g = Konstanta gravitasi bumi, $9,81 \text{ m/s}^2$

t = Waktu tempuh benda jatuh dari saat dilepaskan sampai tepat berada di tanah (s)

h = Tinggi akhir benda jatuh ketika tepat berada di tanah (m).

Tanda minus pada Pers. (1) di atas menunjukkan arah vektor gravitasi pada arah sumbu y negatif.

2.5.2 Rumus Analisa Kinerja Alat

Penentuan variabel dependen (tinggi jatuh dan massa benda uji) dan perhitungan variabel independen dilakukan dengan 2 metode, yaitu metode manual (konvensional) di kertas berdasarkan pengukuran tinggi jatuh dan massa benda dan metode digital berbasis IoT yang ditampilkan di aplikasi *Blynk*. Hasil dari kedua perlakuan ini akan di analisa tingkat ketelitian alat praktikum GJB berbasis IoT dan selanjutnya dijelaskan dengan menggunakan kriteria interpretasi persentase. Tabel 3 menunjukkan kriteria persentase yang digunakan pada penelitian ini [12].

Tabel 3. Kriteria interpretasi persentase

No	Persentase	Klasifikasi
1	0% - 20%	Sangat tidak layak
2	21% - 40%	Tidak layak/tidak baik
3	41% - 60%	Cukup layak/cukup baik
4	61% - 80%	Layak/baik
5	81% - 100%	Sangat layak/sangat baik

Proses analisa data hasil percobaan bertujuan untuk mendeskripsikan ketelitian atau kesesuaian alat praktikum GJB berbasis IoT yang telah dibuat. Pengujian nilai *Error* pada tahap analisa data untuk selanjutnya tingkat kelayakan atau ketelitian alat praktikum GJB dapat diketahui. Persentase *Error* hasil perhitungan kecepatan akhir benda uji pada sistem IoT di analisa dengan menggunakan persamaan [13]:

$$\%Error = \sqrt{\frac{\sum_i^n \left(\frac{D_{man} - D_{IoT}}{D_{kal}} \right)^2}{n}} \times 100\% \quad (3)$$

keterangan:

%Error = persentase *Error* alat praktikum GJB berbasis IoT

D_{man} = data perhitungan berdasarkan hasil pengukuran manual

D_{IoT} = data perhitungan berdasarkan hasil pengukuran dengan sistem IoT

n = jumlah data

Berikutnya, tingkat ketelitian alat praktikum GJB berbasis IoT di analisa dengan menggunakan persamaan:

$$TK = 100\% - \%Error \quad (4)$$

keterangan:

TK = tingkat ketelitian alat praktikum GJB berbasis IoT (dalam satuan %)

Pengaruh perbedaan tinggi jatuh dan massa terhadap hasil kecepatan akhir benda uji pada rancangan alat praktikum GJB berbasis IoT di analisa menggunakan metode ANOVA regresi linier sederhana di aplikasi SPSS Versi 26. Pengujian kedua variabel tersebut diperlukan untuk mengetahui dan membuktikan pengaruh dari variabel independen, yaitu tinggi jatuh (*X₁*) dan massa benda (*X₂*), serta variabel dependen (*Y*), yaitu nilai kecepatan akhir. Nilai dari *F_{hitung}* dapat diperoleh dari hasil ANOVA di SPSS. Sedangkan untuk nilai *F_{tabel}* didapatkan dari tabel distribusi *F* dengan signifikasi dengan rumus $F_{tabel} = df(N_1)$ dan $df_2 = n - k - 1$ dimana *n* = jumlah data dan *k* = jumlah variabel independen [14]. Hipotesa yang dipakai pada penelitian ini antara lain:

1. Jika nilai signifikasi $< \alpha = 0,05$ atau $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka dinyatakan variabel independen (*X*) berpengaruh secara simultan terhadap variabel dependen (*Y*), sehingga *H₀* ditolak dan *H₁* diterima.
2. Jika nilai signifikasi $> \alpha = 0,05$ atau $F_{hitung} < F_{tabel}$, maka dinyatakan variabel independen (*X*) tidak berpengaruh secara simultan terhadap variabel dependen (*Y*), sehingga *H₀* diterima dan *H₁* ditolak.

Persamaan regresi linier sederhana dituliskan:

$$Y = a + bX \quad (5)$$

keterangan:

Y = variabel dependen

X = variabel independen

a = besarnya nilai *Y* pada saat nilai *X* = 0, disebut koefisien regresi

b = koefisien regresi, jumlah perubahan *Y* untuk pertambahan nilai *X* satu satuan

Selanjutnya, untuk mengetahui seberapa besar pengaruh variabel independen secara simultan terhadap variabel dependen, maka diperlukan uji koefisien determinasi *R square* (*R²*) yang berkisar dari 0 sampai 1. Pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen dapat dinyatakan kuat apabila Nilai *R²* $> 0,5$. Koefisien korelasi disandingkan dengan kriteria – kriteria seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4 [15].

Tabel 4. Koefisien korelasi

No	Koefisien Korelasi	Klasifikasi Korelasi
1	0,00 – 0,199	Sangat rendah
2	0,20 – 0,399	Rendah
3	0,40 – 0,599	Sedang
4	0,60 – 0,799	Kuat
5	0,80 – 1,000	Sangat kuat

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisa Tingkat Ketelitian Alat Praktikum GJB Berbasis IoT

Pengujian dilakukan untuk membandingkan hasil pengukuran antara metode manual dan metode IoT pada alat praktikum GJB yang sudah dibuat. Pengujian konvensional dilakukan dengan menggunakan mistar tempel untuk mengukur tinggi benda uji yang jatuh. Pengujian dilakukan pada 3 tinggi jatuh, yaitu 100 cm, 130 cm, dan 150 cm, serta pada 3 massa benda uji, yaitu 100 g, 200 g, dan 500 g. Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan. Hasil pengambilan data dicatat dan selanjutnya di analisa untuk menganalisis tingkat ketelitian atau kinerja alat antara hasil perhitungan di sistem IoT dan perhitungan manual di kertas. Tahapan analisa ini diperlukan untuk mengetahui kinerja alat praktikum GJB berbasis IoT. Tingkat ketelitian alat ini di analisa dengan membandingkan kecepatan akhir benda uji antara hasil percobaan manual di kertas dan hasil percobaan pada sistem IoT dengan tidak mengabaikan konsep dasar GJB, yaitu Pers. (3) dan (4).

Pada pengujian alat GJB berbasis IoT, data hasil pengujian berupa tinggi, waktu jatuh, dan kecepatan akhir benda uji, secara langsung tampil *online* di aplikasi *Blynk* maupun *offline* di LCD 16x02 12IC di rangka bawah. Tampilan data pengujian praktikum GJB di layar LCD ini diaktifkan apabila terjadi gangguan jaringan internet dan sistem IoT tidak bisa digunakan. Di dalam sistem IoT, data pengujian tersebut dihitung melalui baris *coding* yang sudah diprogram di dalam perangkat keras Modul Wi-Fi NodeMCU ESP8266 berdasarkan data yang dibaca oleh sensor jarak/tinggi jatuh (dalam cm) dan sensor *proximity infrared infrared E18-D80NK* (detektor benda uji yang jatuh). Sebaliknya, pada pengujian secara manual, kecepatan akhir benda uji dihitung di atas kertas berdasarkan hasil pembacaan ketinggian benda uji yang diukur di mistar tempel.

Tabel 5. Hasil pengujian alat praktikum GJB berbasis IoT massa dan tinggi jatuh yang berbeda

No	Massa benda (g)	Tinggi jatuh (cm)		Waktu jatuh (s)		Kecepatan akhir (m/s)		Error (%)	Tingkat Ketelitian (%)
		Manual	IoT	Manual	IoT	Manual	IoT		
1	100		94,51	0,45	0,44	4,43	4,32	0,48	99,51
2		100	97,87	0,45	0,46	4,43	4,51		
3			98,12	0,45	0,46	4,43	4,51		
4	100		125,00	0,51	0,48	5,05	4,71	6,64	93,36
5		130	124,55	0,51	0,49	5,05	4,81		
6			125,87	0,51	0,49	5,05	4,81		
7	150		145,30	0,55	0,58	5,42	5,69	4,33	95,67
8		150	146,38	0,55	0,49	5,42	4,81		
9			145,37	0,55	0,53	5,42	5,2		
10	200		94,50	0,45	0,39	4,43	3,83	5,79	94,21
11		100	94,53	0,45	0,44	4,43	4,32		
12			97,87	0,45	0,46	4,43	4,51		
13	200		128,59	0,51	0,53	5,05	5,2	0,48	99,52
14		130	125,00	0,51	0,53	5,05	5,2		
15			128,77	0,51	0,49	5,05	4,81		

16		141,48	0,55	0,49	5,42	4,81		
17	150	145,37	0,55	0,58	5,42	5,69	3,57	96,43
18		144,41	0,55	0,54	5,42	5,3		
19		94,50	0,45	0,39	4,43	3,83		
20	100	97,87	0,45	0,39	4,43	3,83	12,06	87,94
21		94,50	0,45	0,44	4,43	4,32		
22		123,21	0,51	0,45	5,05	4,41		
23	500	124,43	0,51	0,48	5,05	4,71	9,06	90,94
24		124,43	0,51	0,5	5,05	4,91		
25		143,26	0,55	0,54	5,42	5,30		
26	150	148,79	0,55	0,53	5,42	5,20	7,26	92,74
27		145,30	0,55	0,49	5,42	4,81		
Rata – rata		122,21	0,51	0,48	4,97	4,72	5,52	94,48
Nilai maksimal		148,79	0,55	0,58	5,42	5,69	12,06	99,52
Nilai minimal		94,50	0,45	0,39	4,43	3,83	0,48	87,94

Berdasarkan hasil analisa yang ditunjukkan di Tabel 5 di atas, diperoleh tingkat ketelitian alat praktikum GJB berbasis IoT dalam mengukur kecepatan akhir yang paling tinggi adalah pada massa benda 200 g dan tinggi jatuh 130 cm, yaitu 99,52%. Sebaliknya, Tingkat Ketelitian sistem IoT dalam mengukur kecepatan akhir yang paling rendah didapat pada massa benda 500 g dan tinggi jatuh 100 cm, yaitu 87,94%. Selain itu, rata – rata tingkat ketelitian perhitungan kecepatan akhir benda uji pada alat ini adalah sebesar 94,48%. Persentase tersebut menunjukkan kategori kinerja alat praktikum GJB berbasis IoT yang sangat layak/sangat baik untuk digunakan pada kegiatan praktikum fisika. Hal ini dikarenakan tingkat ketelitiannya sudah berada pada rentang 81% – 100% dan hanya terdapat *Error* paling tinggi sebesar 12,06% dan rata – rata nilai *Error* 5,52%.

3.2 Pengaruh Tinggi Jatuh terhadap Kecepatan Akhir

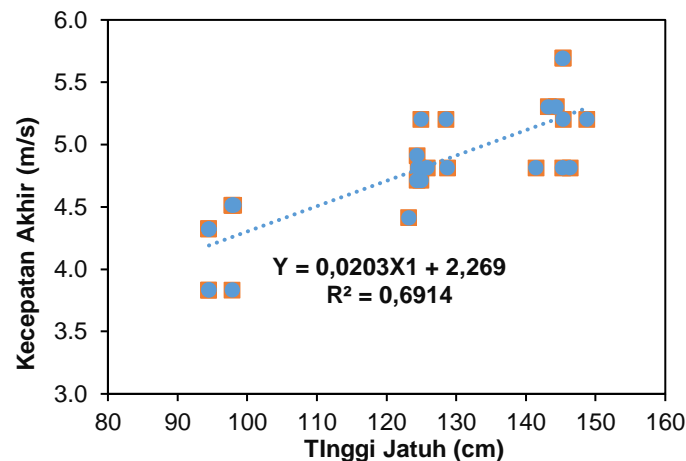
Tabel 6. Uji ANOVA regresi linier pengaruh tinggi jatuh terhadap kecepatan akhir benda uji

<i>R</i>	<i>R</i> ²	<i>Adjusted R</i> ²	<i>Std. Error</i>
0,831	0,691	0,679	0,28575

ANOVA					
	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<i>Regression</i>	4,573	1	4,573	56,007	0,00000012
<i>Residual</i>	2,041	25	0,082		
<i>Total</i>	6,614	26			

	<i>Coefficients</i>	<i>Std. Error</i>	<i>Beta</i>	<i>t</i>	<i>Sig.</i>
(<i>Constant</i>)	2,269	0,337		6,741	0,00000046
Tinggi Jatuh	0,020	0,003	0,831	7,484	0,000000078

Berdasarkan hasil uji ANOVA regresi linier, maka diperoleh $Df_1 = 1$ dan $Df_2 = 25$, sehingga didapat nilai $F_{tabel} = 4,24$. Dari hasil *output* ANOVA seperti pada Tabel 6 di atas diperoleh nilai $F_{hitung} = 56,007$, atau $F_{hitung} > F_{tabel}$ dan nilai Signifikansi $0,00000012 < \alpha = 0,05$. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa terdapat pengaruh yang signifikan antara tinggi jatuh dan hasil kecepatan akhir benda uji pada alat praktikum GJB berbasis IoT. Nilai korelasi antara tinggi jatuh dan kecepatan akhir benda uji didapat $R^2 = 0,691$. Berdasarkan kriteria di Tabel 4, nilai tersebut termasuk dalam kategori kuat dan nilainya sudah melebihi 0,5. Selanjutnya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5, model persamaan regresinya adalah $Y = 2,269 + 0,020X_1$, dimana Y adalah variabel dependen (kecepatan akhir) dan X_1 adalah variabel independen (tinggi jatuh benda uji).



Gambar 5. Linearitas antara tinggi jatuh dan kecepatan akhir benda uji alat praktikum GJB berbasis IoT

3.3 Pengaruh Massa Benda terhadap Kecepatan Akhir

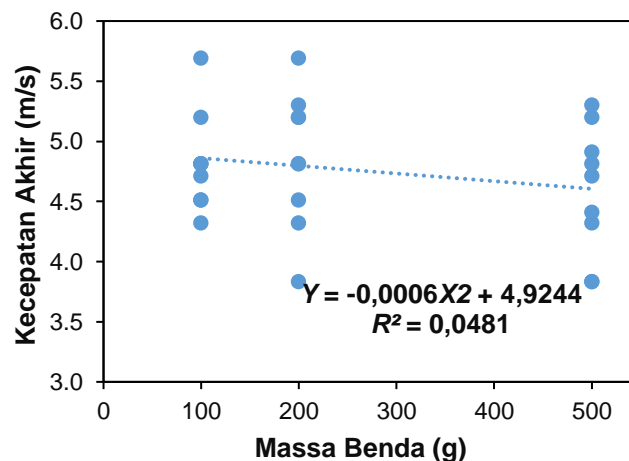
Tabel 7. Uji ANOVA regresi linier pengaruh massa terhadap kecepatan akhir benda uji

<i>R</i>	<i>R</i> ²	<i>Adjusted R</i> ²	<i>Std. Error</i>
0,219	0,048	0,010	0,50184

ANOVA					
	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<i>Regression</i>	0,318	1	0,318	1,264	0,274
<i>Residual</i>	6,296	25	0,252		
<i>Total</i>	6,614	26			

	<i>Coefficients</i>	<i>Std. Error</i>	<i>Beta</i>	<i>t</i>	<i>Sig.</i>
<i>(Constant)</i>	4,924	0,180		27,406	0,000
Massa Benda	-0,0006	0,001	-0,219	-1,124	0,272

Dari hasil *output* ANOVA pada Tabel 7 di atas diperoleh nilai $F_{hitung} = 1,264$, sehingga $F_{hitung} < F_{tabel}$ dan nilai signifikansi $0,274 > \alpha = 0,05$. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa tidak ada pengaruh yang signifikan antara massa benda dan kecepatan akhir benda uji pada hasil rancangan alat praktikum GJB berbasis IoT. Nilai korelasi antara massa dan kecepatan akhir benda uji didapat $R^2 = 0,048$. Berdasarkan kriteria di Tabel 4, nilai tersebut termasuk dalam kategori sangat rendah. Selanjutnya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6, model yang dihasilkan $Y = 4,924 - 0,0006X$, dimana Y adalah variabel dependen (kecepatan akhir) dan X_2 adalah variabel independen (massa benda).



Gambar 6. Linearitas antara massa benda dan kecepatan akhir benda uji alat praktikum GJB berbasis IoT

4. KESIMPULAN

Alat praktikum GJB berbasis IoT yang dirancang/didesain menunjukkan kinerja alat yang sangat layak/sangat baik digunakan pada kegiatan praktikum fisika GJB. Dari hasil analisa, Alat peraga ini menunjukkan akurasi yang sangat baik pada setiap variabel tinggi pengujian. Meskipun hasil perhitungan kecepatan akhir dengan metode IoT menunjukkan tingkat akurasi sangat layak/sangat baik, tetap didapat perbedaan kecil atau yang ditunjukkan dengan adanya nilai *Error* antara hasil perhitungan manual dan pengukuran dari sistem IoT melalui *coding* dan aplikasi *Blynk*. Hal ini disebabkan dapat oleh pengaruh gaya gesek udara karena hasil perancangan alat praktikum GJB berbasis IoT yang tidak kedap udara. Berdasarkan ANOVA, tinggi jatuh benda berpengaruh signifikan terhadap kecepatan akhir benda uji. Sebaliknya, massa tidak terdapat pengaruh terhadap kecepatan akhir benda uji. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa alat praktikum GJB berbasis IoT telah berhasil menerapkan prinsip – prinsip dasar fisika.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. T. Wibowo, M. J. D. A. Kolo, A. N. Rahma, and W. Kurniawati, "Free Fall Motion," *J. Pendidik. Indones.*, vol. 02, no. 01, pp. 111–114, 2023.
- [2] N. Shofiyah and F. E. Wulandari, "*Gerak dan Perubahan*". UMSIDA Press, 2020. doi: <https://doi.org/10.21070/2020/978-623-6081-15-0>.
- [3] Sarjono, "Pentingnya Laboratorium Fisika di SMA/MA dalam Menunjang Pembelajaran Fisika," *J. Madaniyah*, vol. 8, no. 2, pp. 262–271, 2018.
- [4] Z. Azhar, "Pembuatan Alat Praktikum Digital pada Konsep Gerak Jatuh Bebas Sebagai Media Pembelajaran Fisika. Jurnal Ikatan Alumni Fisika," *J. Ikat. Alumni Fis. Univ. Negeri Medan*, vol. 4, no. 1, 2018, doi: 10.24114/jiaf.v4i1.10884.
- [5] F. Susanto, N. K. Prasiani, and P. Darmawan, "Implementasi Internet of Things dalam Kehidupan Sehari-Hari," *J. Imagine*, vol. 2, no. 1, pp. 35–40, 2022, doi: 10.35886/imagine.v2i1.329.
- [6] F. Muchlis, D. Sulisworo, and M. Toifur, "Pengembangan Alat Peraga Fisika Berbasis Internet of Things untuk Praktikum Hukum Newton II," *J. Pendidik. Fis. Univ. Muhammadiyah Makasar*, vol. 6, no. 1, pp. 13–20, 2019, doi: <https://doi.org/10.26618/jpf.v6i1.956>.
- [7] M. K. Hamdani and Supardiyono, "Rancang Bangun Alat Praktikum Gerak Jatuh Bebas Digital Berbasis Sensor Inframerah," *IPF Inov. Pendidik. Fis.*, vol. 9, no. 3, pp. 410–416, 2020, doi: <https://doi.org/10.26740/ipf.v9n3.p410-416>.
- [8] M. A. Rahman and A. T. Asyhari, "The Emergence of Internet of Things (IoT): Connecting Anything, Anywhere," *Computers*, vol. 8, no. 2, 2019, doi: <https://doi.org/10.3390/computers8020040>.
- [9] M. Patel and N. Patel, "Exploring Research Methodology," *Int. J. Res. Rev.*, vol. 6, no. 3, pp. 48–55, 2019.
- [10] A. Ristiawan, "Analisis Gerak Jatuh Bebas dengan Metode Video Based Laboratory (VBL) Menggunakan Software Tracker," *JoTaLP J. Teach. Learn. Phys.*, vol. 3, no. 2, pp. 26–30, 2018, doi: 10.15575/jotalp.v3i2.6556.
- [11] S. Rachmawati, A. Z. Ibrahim, S. P. Fajriani, and I. Febiloni, "Kajian Gerak Jatuh Bebas dengan Persamaan Lagrangian & Newtonian sebagai Bahan Ajar Fisika Kelas X," *Mitra Pilar J. Pendidikan, Inovasi, dan Terap. Teknol.*, vol. 1, no. 2, 2022, doi: 10.58797/pilar.0102.07.
- [12] Riduwan, "*Dasar-Dasar Statistika*". Alfabeta, 2023.
- [13] E. F. Yandra, B. P. Lapanporo, and M. I. Jumarang, "Rancang Bangun Timbangan Digital Berbasis Sensor Beban 5 Kg Menggunakan Mikrokontroler Atmega328," *POSITRON*, vol. 6, no. 1, pp. 23–28, 2016, doi: <http://dx.doi.org/10.26418/positron.v6i1.15924>.
- [14] Nuryadi, T. D. Astuti, and E. S. Utami, "*Dasar-Dasar Statistik Penelitian*". Sibuku Media, 2017.
- [15] Sugiyono, "*Metode Penelitian Manajemen*, 6th ed". Alfabeta, 2018.