

**RANCANG BANGUN PESAWAT ATWOOD MENGGUNAKAN SENSOR
ANALOG DEVICES ACCELEROMETER 3-AXIS DIGITAL (ADXL345)
DAN WEMOS D1 BERBASIS *INTERNET OF THINGS (IoT)***

(Skripsi)

**Oleh
IDA RISMAWATI**



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

RANCANG BANGUN PESAWAT ATWOOD MENGGUNAKAN SENSOR *ANALOG DEVICES ACCELEROMETER 3-AXIS DIGITAL (ADXL345)* DAN WEMOS D1 BERBASIS *INTERNET OF THINGS (IoT)*

Oeh

Ida Rismawati

Pesawat Atwood adalah perangkat sederhana dalam ilmu fisika yang digunakan untuk mempelajari gerakan dan gaya yang bekerja pada dua massa yang terhubung oleh tali melalui sebuah katrol. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alat portabel yang dapat digunakan untuk mengukur percepatan benda berbasis sensor *accelerometer* ADXL345 dan mikrokontroler Wemos D1 serta dapat digunakan sebagai pembanding pengukuran secara manual. Sistem ini mengukur waktu dan percepatan secara otomatis dengan mendeteksi getaran akibat jatuhnya beban dan mengirim data pengukuran ke aplikasi Telegram dalam konsep *Internet of Things (IoT)*. Pengujian waktu pada pesawat Atwood dilakukan secara manual dan otomatis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengukuran waktu otomatis lebih cepat dibandingkan pengukuran manual dengan rata-rata *error* sebesar 7,11% dengan akurasi sebesar 92,4%. Untuk pengukuran percepatan pada pesawat Atwood secara manual diperoleh nilai sebesar $0,218 \text{ ms}^{-2}$ sedangkan untuk pengukuran percepatan secara otomatis diperoleh nilai sebesar $0,238 \text{ ms}^{-2}$. Pengujian menunjukkan bahwa sistem ini akurat dan konsisten dengan akurasi pengukuran sebesar 92% dan rata-rata *error* sebesar 8,72%. Implementasi sistem ini meningkatkan efektivitas dan ketepatan pengukuran serta pemantauan data secara *real-time*.

Kata Kunci: Pesawat Atwood, sensor *accelerometer* ADXL345, Wemos D1, telegram, *Internet of Things (IoT)*

ABSTRACT

ATWOOD AIRPLANE DESIGN USING 3-AXIS DIGITAL SENSOR ANALOG DEVICES ACCELEROMETER (ADXL345) AND WEMOS D1 BASED ON INTERNET OF THINGS (IoT)

By

Ida Rismawati

Atwood's plane is a simple device in physics that is used to study the movement and forces acting on two masses connected by a rope through a pulley. This research aims to develop a portable tool that can be used to measure the acceleration of objects based on the ADXL345 accelerometer sensor and Wemos D1 microcontroller and can be used as a comparison for manual measurements. This system measures time and acceleration automatically by detecting vibrations due to the fall of the load and sending measurement data to the Telegram application in the concept of Internet of Things (IoT). Time testing on Atwood plane is done manually and automatically. The test results show that automatic time measurement is faster than manual measurement with an average error of 7.11% with an accuracy of 92.4%. For acceleration measurement on Atwood plane manually obtained a value of 0.218 ms^{-2} while for acceleration measurement automatically obtained a value of 0.238 ms^{-2} . Tests show that the system is accurate and consistent with a measurement accuracy of 92% and an average error of 8.72%. The implementation of this system increases the effectiveness and accuracy of measurements and real-time data monitoring.

Keywords: *Atwood Plane, ADXL345 Accelerometer Sensor, Wemos D1, Telegram, Internet of Things (IoT).*

**RANCANG BANGUN PESAWAT ATWOOD MENGGUNAKAN SENSOR
ANALOG DEVICES ACCELEROMETER 3-AXIS DIGITAL (ADXL345)
DAN WEMOS D1 BERBASIS *INTERNET OF THINGS (IoT)***

**Oleh
IDA RISMAWATI**

**Skripsi
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS
Pada
Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung**



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG**

2024

Judul Penelitian : Rancang Bangun Pesawat Atwood Menggunakan Sensor Analog Devices Accelerometer 3-Axis Digital (ADXL345) dan Wemos D1 Berbasis Internet of Things (IoT)

Nama : Ida Rismawati

Nomor Pokok Mahasiswa : 2017041012

Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

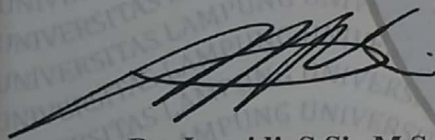


MENYETUJUI


1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

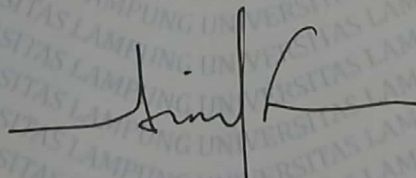


Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc.
NIP. 198206182008121001



Dr. Sri Wahyu Suciwati, S.Si., M.Si.
NIP. 197108291997032001

2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA

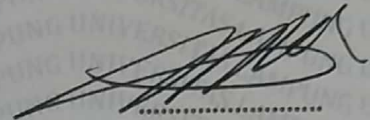


Arif Surtono S.Si. M.Si. M.Eng.
NIP. 197109092000121001

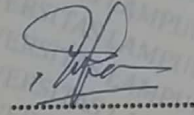
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua: **Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc.**

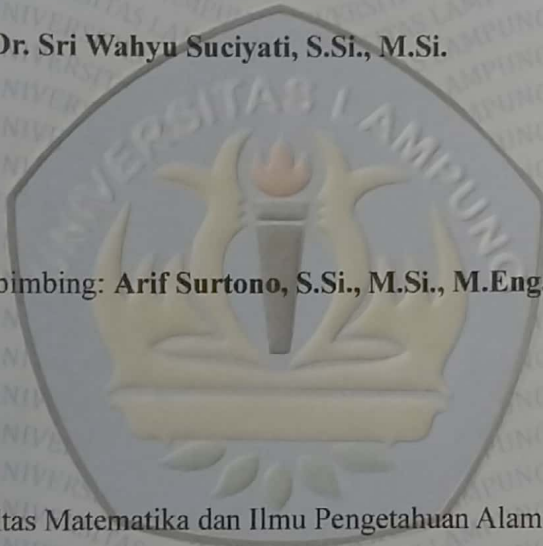
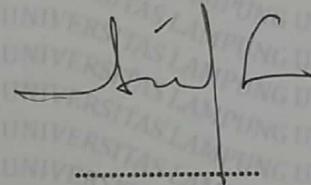


Sekretaris: **Dr. Sri Wahyu Suciwati, S.Si., M.Si.**

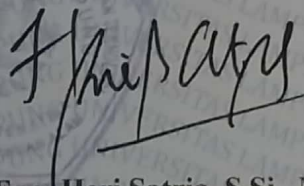


Penguji

Bukan Pembimbing: **Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP. 1971100120050011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 12 November 2024.

PERNYATAAN

Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil karya sendiri berdasarkan pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini tidak berisi material yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukan hasil plagiat karya orang lain.

Demikian pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila di kemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ilmiah, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 12 November 2024
Yang Menyatakan



Ida Rismawati
NPM. 2017041012

RIWAYAT HIDUP



Penulis yang bernama lengkap Ida Rismawati dilahirkan pada tanggal 26 September 2001 di Desa Bumi Nabung Timur, Kec. Bumi Nabung, Kab. Lampung Tengah, anak pertama dari pasangan Bapak Edi Suraji dan Ibu Maryati. Penulis menempuh pendidikan pertamanya di PAUD AN-NUR pada tahun 2007-2008, kemudian melanjutkan pendidikannya di SDN 1 Sri Kencono pada tahun 2008-2014. Pada tahun 2014-2017 penulis melanjutkan pendidikannya di SMPN 1 Rumbia dan pada tahun 2017-2020 penulis melanjutkan pendidikannya di SMAN 1 Seputih Surabaya. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung (UNILA) melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) pada tahun 2020.

Selama menjadi mahasiswa di Jurusan Fisika FMIPA UNILA, penulis pernah menjadi asisten praktikum mata kuliah Fisika Dasar II, Fisika Komputasi, Pemograman Komputer, dan Sensor dan Akuator. Penulis juga aktif diberbagai organisasi kemahasiswaan diantaranya Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) FMIPA UNILA sebagai Anggota Bidang Sains dan Teknologi (SAINTEK) di tahun 2020-2022, Anggota Bidang Infokom ROIS FMIPA UNILA di tahun 2020-2021, Anggota Tim Robotik FMIPA UNILA di tahun 2023-2024. Penulis juga mengikuti pengabdian dosen dengan tema “Implementasi Pembelajaran Fisika di Laboratorium Sekolah Menengah Dengan Sumber Daya Yang Ada” Jurusan Fisika FMIPA UNILA di tahun 2024.

Pada bulan Januari-Februari 2023 penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT. PLN (Persero) Unit Pembangkitan Tarahan, Lampung Selatan dengan judul “Analisis Kinerja Kondensor Pada Instalasi PLTU Tarahan Kaitannya Dengan

Kebersihan *Tube Condenser*”. Kemudian, pada bulan Juli-Agustus 2023 penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Simpang Harapan Kec. Kedondong, Kab. Pesawaran, Provinsi Lampung.

MOTTO

“Dan ketahuilah, sesungguhnya kemenangan itu beriringan dengan kesabaran. Jalan keluar beriringan dengan kesukaran. Dan sesudah kesulitan pasti akan datang kemudahan.”

(HR. Tirmidzi)

Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya
(Q.S Al Baqarah: 286)

“Kamu harus membangun tujuan dan impianmu sendiri. Aku pikir sangat menyedihkan bahwa beberapa orang tidak mendapatkan kesempatan untuk membangun impian mereka sendiri karena tekanan dari luar”

(Jungkook BTS)

"Resep dalam mempersiapkan diri untuk sukses adalah tidak pernah mengizinkan diri kalian di pengaruhi oleh unsur di luar diri kalian. Oleh siapapun, apapun, dan suasana bagaimanapun. Artinya, jangan mau sedih, marah, kecewa dan takut karena faktor luar. Kalian lah yang berkuasa terhadap diri kalian sendiri, jangan serahkan kekuasaan kepada orang lain. Orang boleh menodong senapan, tapi kalian punya pilihan, untuk takut atau tetap tegar. Kalian punya pilihan di lapisan diri kalian paling dalam, dan itu tidak ada hubungannya dengan pengaruh luar"

(Negeri 5 Menara)

PERSEMBAHAN



Dengan Mengharapkan Ridho Allah SWT dan Syafaat Nabi Muhammad SAW

Karya ini kupersembahkan kepada:

Kedua Orang Tuaku

Bapak Edi Suraji dan Ibu Maryati

Terimakasih atas segala do'a, dukungan, usaha, dan fasilitas yang selalu diberikan untuk kesuksesan putrinya hingga mampu menyelesaikan pendidikannya di tingkat Universitas sebagai Sarjana.

Guru-Guruku di Pondok

Abah Sulaiman dan Ibu Wiji Atun

Terimakasih atas segala do'a dan dukungan yang selalu diberikan untuk kesuksesan saya.

Adikku

Indri Yani

Terimakasih atas segala dukungan, saran, dan semangat yang telah diberikan sehingga dapat tetap bertahan dalam keadaan suka maupun duka.

Bapak dan Ibu Dosen

Terimakasih atas ilmu pengetahuan dan budi pekerti yang telah diajarkan.

Untuk Diriku Sendiri

Ida Rismawati

Terimakasih atas segala kerjasamanya dalam menyelesaikan setiap permasalahan yang sedang dihadapi, selalu memberikan yang terbaik dalam segala hal dan mampu menjadi pribadi yang lebih dewasa, sabar dan selalu beryukur.

Sahabat dan Rekan Seperjuangan Fisika 2020

Terimakasih untuk bantuan, dukungan, kebersamaan dan pengalaman selama berkuliah di Universitas Lampung.

Almamater Tercinta

UNIVERSITAS LAMPUNG

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT. Tuhan Yang Maha Esa sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Rancang Bangun Pesawat Atwood Menggunakan Sensor *Analog Devices Accelerometer 3-Axis Digital (ADXL345)* dan Wemos D1 Berbasis *Internet of Things (IoT)*”**. Dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih terdapat kesalahan dan masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun penulis harapkan untuk memperbaiki skripsi ini. Semoga skripsi ini bermanfaat bukan hanya untuk penulis tapi juga untuk para pembaca.

Bandar Lampung, 12 November 2024

Penulis,

Ida Rismawati

SANWACANA

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir dengan judul **“Rancang Bangun Pesawat Atwood Menggunakan Sensor *Analog Devices Accelerometer 3-Axis Digital (ADXL345)* dan Wemos D1 Berbasis *Internet of Things (IoT)*”**. Proposal ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk kelulusan di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya atas bantuan berupa motivasi, semangat, bimbingan, petunjuk, kerjasama, saran serta ilmu yang begitu luar biasa diberikan dari berbagai pihak antara lain:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir tepat pada waktunya.
2. Orang tua dan keluarga yang selalu memberikan dukungan moral maupun materi sehingga penulis dapat mengerjakan tugas akhir dengan lancar.
3. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
4. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung dan dosen penguji tugas akhir yang telah memberikan saran dan ilmu pada penulis dalam penyusunan proposal tugas akhir.
5. Ibu Dr. Sri Wahyu Suciwati, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing II tugas akhir yang telah memberikan bimbingan, bantuan, saran dan ilmu pada penulis dalam penyusunan proposal tugas akhir.
6. Bapak Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc. selaku dosen pembimbing I tugas akhir yang telah memberikan bimbingan, bantuan, saran dan ilmu pada penulis dalam penyusunan proposal tugas akhir.

7. Bapak Drs. Syafriadi, M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik.
8. Segenap dosen Jurusan Fisika yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.
9. Teman-teman Jurusan Fisika angkatan 2020 yang selalu memberikan semangat serta dukungan dalam menyelesaikan tugas akhir
10. Ovi, Kharisma, Marselinus, Nopi, Robi, Sheva, Indah, Ika, Aldi, Putri, dan Ninis sebagai sahabat yang telah memberikan dukungan, doa, dan semangat untuk menyelesaikan tugas akhir.

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
HALAMAN JUDUL	iv
LEMBAR PERSETUJUAN	v
LEMBAR PENGESAHAN	vi
HALAMAN PERNYATAAN	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
MOTTO	x
PERSEMBAHAN	xi
KATA PENGANTAR	xiii
SANWACANA	xiv
DAFTAR ISI	xvi
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL	xx
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	5

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait.....	6
2.2 Pesawat Atwood	10
2.3 Sensor <i>Accelerometer</i>	13
2.4 Mikrokontroler Wemos D1.....	17
2.5 <i>Arduino Integrated Development Environment (IDE)</i>	19
2.6 <i>SketchUp</i>	21
2.7 Telegram.....	22
2.8 <i>Internet of Things (IoT)</i>	22

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	24
3.2 Alat dan Bahan	24
3.3 Prosedur Penelitian.....	26
3.3.1 Perancangan Perangkat Keras (<i>Hardware</i>)	28
3.3.2 Rangkaian Sensor <i>Accelerometer</i> ADXL345	29
3.3.3 Perancangan Rangkaian Keseluruhan	30
3.3.4 Perancangan Perangkat Lunak (<i>Software</i>).....	33
3.3.5 Pembuatan Bot Telegram	35
3.4 Pengujian Sensor ADXL345	38
3.5 Teknik Pengambilan dan Analisis Data.....	38

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Implementasi Perancangan Sistem.....	41
4.2 Pengujian Sistem Monitoring Telegram.....	45
4.3 Pengujian Sensor <i>Accelerometer</i> ADXL345	45
4.4 Analisis Data dan Sistem Secara Keseluruhan	59

V. PENUTUP

5.1 Simpulan.....	64
5.2 Saran.....	65

DAFTAR PUSTAKA.....	66
----------------------------	-----------

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 Rangkaian Sensor Fototransistor	8
Gambar 2. 2 Diagram Sederhana Pesawat Atwood.....	11
Gambar 2. 3 Orientasi Ketiga Sumbu ADXL345.....	13
Gambar 2. 4 Karakteristik 3 Sumbu ADXL345	14
Gambar 2. 5 Konfigurasi Pin-Pin Sensor ADXL345	16
Gambar 2. 6 Pin-Pin Wemos D1.....	18
Gambar 2. 7 <i>Interface</i> Arduino IDE	20
Gambar 2. 8 Konsep IoT	23
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	27
Gambar 3. 2 Blok Diagram Perangkat Keras (<i>Hardware</i>)	28
Gambar 3. 3 Rangkaian Sensor <i>Accelerometer</i> ADXL345	30
Gambar 3. 4 Spesifikasi Tampilan Pesawat Atwood	31
Gambar 3. 5 Kotak Penyimpanan Rangkaian.....	32
Gambar 3. 6 Tampilan Keseluruhan Dari Pesawat Atwood	33
Gambar 3. 7 Diagram Alir Perangkat Lunak (<i>Software</i>)	35
Gambar 3. 8 Pembuatan Bot Telegram.....	36
Gambar 3. 9 Tampilan Id Bot Pada Telegram.....	37
Gambar 4. 1 Skema Susunan Alat Instrumentasi Yang Telah Dibuat.....	41
Gambar 4. 2 Tampilan Sistem Instrumentasi Pada Pesawat Atwood	42
Gambar 4.3 Tampilan sistem monitoring pesawat Atwood	45
Gambar 4.4 Contoh Tampilan Pengukuran Percepatan Sensor	46
Gambar 4. 5 Grafik Pengukuran Percepatan Sumbu X.....	50
Gambar 4. 6 Grafik Pengukuran Percepatan Sumbu Y	51

Gambar 4. 7	Grafik Pengukuran Percepatan Sumbu Z	52
Gambar 4. 8	Pengujian Pesawat Atwood Menggunakan Metode Otomatis.....	53
Gambar 4. 9	Grafik Hubungan Pengukuran Waktu Secara Otomatis dan Manual Terhadap Jarak	58
Gambar 4. 10	Contoh Bot Telegram Saat Menerima Data Dari Sensor	61
Gambar 4. 11	Grafik Hubungan Antara Percepatan Otomatis dan Percepatan Manual Terhadap Beban.....	63

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Keterangan Fungsi Pin-Pin Sensor ADXL345	16
Tabel 3.1 Alat Penelitian	24
Tabel 3.2 Bahan Penelitian	25
Tabel 3.3 Perangkat Lunak Yang Digunakan	25
Tabel 3.4 Pengalamatan Sensor ADXL345 dan Wemos D1	30
Tabel 3.5 Hasil Pengujian Pesawat Atwood Pada Efisiensi Waktu	38
Tabel 3.6 Hasil Data Pengujian Pesawat Atwood Terhadap Percepatan	40
Tabel 4.1 Nilai Percepatan Sumbu X, Y, dan Z	49
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Pesawat Atwood Pada Efisiensi Waktu	57
Tabel 4.3 Hasil Data Pengujian Pesawat Atwood Terhadap Percepatan	62

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fisika merupakan bagian dari ilmu sains yang memahami tentang gejala - gejala yang terjadi di alam atau lingkungan sekitar. Konsep dalam ilmu fisika juga dapat diterapkan dan dimanfaatkan langsung dalam kehidupan manusia sehari-hari. Konsep-konsep fisika yang mendasar seperti gerak, energi, gaya, dan momentum memberikan dasar untuk memahami berbagai fenomena alami mulai dari pergerakan benda-benda di sekitar kita hingga perilaku partikel di tingkat sub-atom (Tipler, 1998). Selain itu, fisika juga mempelajari aspek-aspek lain seperti elektromagnetisme, optika, termodinamika, mekanika kuantum, dan relativitas yang membantu menjelaskan fenomena yang lebih kompleks dalam alam semesta. Melalui penelitian ilmuwan fisika telah mengembangkan teori-teori yang menjelaskan berbagai fenomena alami dan memungkinkan untuk membuat prediksi yang akurat. Pengaplikasian konsep-konsep fisika telah memberikan kontribusi besar dalam berbagai bidang kehidupan meliputi teknologi kedokteran, ilmu material, dan astronomi (Harefa, 2019).

Percepatan dalam fisika adalah besaran vektor yang menggambarkan perubahan kecepatan suatu objek per satuan waktu. Percepatan didefinisikan sebagai laju perubahan kecepatan per satuan waktu dengan satuannya dinyatakan dalam meter per detik kuadrat (ms^{-2}). Menurut Hukum Kedua Newton percepatan suatu objek berbanding lurus dengan gaya total yang bekerja padanya dan berbanding terbalik dengan massanya. Perubahan ini bisa terjadi dalam bentuk peningkatan kecepatan (percepatan positif) maupun penurunan kecepatan (percepatan negatif atau yang sering disebut perlambatan). Dalam berbagai sistem fisika percepatan memegang peranan penting terutama dalam menganalisis gerak benda (Endarko dkk., 2008).

Gerak benda dalam fisika adalah perubahan posisi suatu objek relatif terhadap titik acuan selama periode waktu tertentu. Gerak tersebut terjadi ketika ada gaya yang bekerja pada objek yang menyebabkan perpindahan dari satu titik ke titik lain. Gerak ini dapat berupa gerak lurus, melingkar, atau kombinasi keduanya tergantung pada kondisi awal dan gaya-gaya yang bekerja pada benda tersebut. Salah satu sistem yang digunakan untuk mempelajari konsep percepatan adalah pesawat Atwood. Pada sistem pesawat Atwood gerak benda yang terhubung oleh tali dan katrol dihasilkan dari perbedaan gaya gravitasi yang bekerja pada kedua massa. Gaya gravitasi ini menyebabkan salah satu massa bergerak turun sementara massa lainnya bergerak naik. Gerak kedua massa tersebut terjadi secara berlawanan di mana percepatan sistem bergantung pada perbedaan massa dan mengikuti hukum kedua Newton (Rahmadhani dan Wahid, 2018).

Pesawat Atwood diperkenalkan oleh ilmuwan Inggris George Atwood pada tahun 1746-1807 untuk mendemonstrasikan berlakunya Hukum II Newton. Pesawat Atwood merupakan sistem sederhana yang terdiri dari dua massa berbeda yang dihubungkan oleh tali dan katrol yang tetap. Alat ini digunakan untuk mengukur percepatan benda berdasarkan hukum-hukum gerak Newton di mana percepatan yang terjadi pada sistem sangat bergantung pada perbedaan massa kedua benda yang terhubung (Bueche, 1989). Pada pesawat Atwood ketika salah satu massa lebih besar dari massa lainnya maka sistem akan bergerak dengan percepatan yang sebanding dengan perbedaan massa tersebut. Percepatan ini dapat dianalisis untuk memverifikasi hukum kedua Newton yaitu $F = ma$, di mana percepatan berbanding lurus dengan gaya yang bekerja dan berbanding terbalik dengan massa total sistem. Dalam percobaan fisika sistem ini sering digunakan untuk mengukur percepatan gravitasi serta memahami hubungan antara massa, gaya, dan percepatan dalam sistem mekanis (Giancoli, 2001).

Beberapa penelitian terdahulu telah mengembangkan sistem pesawat Atwood dengan berbagai metode diantaranya menggunakan *timer* otomatis (Malik *et al.*, 2021), sensor peka cahaya (Akhlis dkk., 2016), sensor *Light Dependent Resistor* (LDR) (Jefiza dan Novianas 2020), sensor *Passive Infrared* (PIR) (Putri and Saraswati 2018), Arduino (Ridho dkk., 2020) dan *timer* otomatis berbasis Arduino (Elias dkk., 2022). Namun metode-metode tersebut masih memiliki kelemahan.

Pada metode *timer* otomatis, sensor peka cahaya, sensor *Light Dependent Resistor* (LDR), sensor *Passive Infrared* (PIR), Arduino, dan *timer* otomatis berbasis Arduino masih terdapat beberapa masalah yang perlu diselesaikan. Salah satunya adalah kebutuhan akan *display* atau antarmuka untuk menampilkan data hasil pengukuran pada komputer, yang umumnya masih menggunakan *Liquid Crystal Display* (LCD). Selain itu, pengolahan data yang terhubung langsung dengan komputer dan mampu melakukan pengiriman data melalui *Wireless Fidelity* (Wi-Fi). Kemudian, diperlukan penerapan pengukuran percepatan beban pada pesawat Atwood yang berbasis *Internet of Things* (IoT) sehingga data dapat diakses secara langsung menggunakan perangkat *mobile*. Oleh karena itu, diperlukan metode lain agar pengukuran percepatan dapat lebih efisien dan dan mudah dilakukan. Hermawan (2020) telah melakukan penelitian tentang rancang bangun pengukur percepatan beban pada pesawat Atwood berbasis sensor *accelerometer* MMA731L dan menggunakan mikrokontroler ATMEGA328P. Tetapi pada penelitian ini *software* antarmuka belum bisa diakses menggunakan *android* sehingga data pengukuran belum bisa diakses menggunakan perangkat *mobile* dan diharapkan untuk melakukan pengembangan dengan memanfaatkan teknologi IoT sehingga pengambilan data dapat diakses menggunakan perangkat *mobile*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alat portabel yang dapat digunakan untuk mengukur percepatan benda pada pesawat Atwood menggunakan sensor *accelerometer* ADXL345 berbasis IoT. Alat ini memanfaatkan pantulan beban yang mengenai sensor ADXL345 dan memasukkan data ke dalam Microsoft Excel dan membuat grafik menggunakan *software* origin. Berdasarkan latar belakang tersebut ditemukan beberapa masalah dalam pengembangan pesawat Atwood, seperti kebutuhan akan *display* atau antarmuka untuk menampilkan data hasil pengukuran pada komputer karena beberapa penelitian masih menggunakan *Liquid Crystal Display* (LCD). Selain itu, diperlukan pengolahan data yang dapat terkoneksi langsung dengan komputer dan dapat mengirim data menggunakan *Wireless Fidelity* (Wi-Fi). Kemudian diperlukan aplikasi pengukuran percepatan beban pada pesawat Atwood yang berbasis IoT agar pengambilan data dapat diakses langsung menggunakan perangkat *mobile*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, dirumuskan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana penerapan cara kerja dan pengaplikasian pengukuran percepatan beban pada pesawat Atwood berbasis IoT?
2. Bagaimana melakukan pengukuran percepatan beban pada pesawat Atwood menggunakan instrumen yang telah dibuat dan membandingkan dengan pengukuran secara manual?
3. Bagaimana kinerja sistem monitoring menggunakan bot telegram dalam memantau dan mengirimkan data percepatan dari pesawat Atwood secara *real-time*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memahami penerapan cara kerja dan pengaplikasian pengukuran percepatan beban pada pesawat Atwood berbasis IoT.
2. Melakukan pengukuran percepatan beban pada pesawat Atwood menggunakan instrumen yang telah dibuat dan membandingkan dengan pengukuran secara manual.
3. Memahami kinerja sistem monitoring menggunakan bot telegram dalam memantau dan mengirimkan data percepatan dari pesawat Atwood secara *real-time*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah diperoleh alat pengukur percepatan benda pada pesawat Atwood untuk praktikum Fisika Dasar berdasarkan Hukum Newton dengan menggunakan alat peraga pesawat Atwood. Alat peraga pesawat Atwood ini akan digunakan untuk membandingkan nilai percepatan yang diperoleh secara manual di Laboratorium Fisika Dasar Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Tinggi total badan pesawat Atwood yang digunakan yaitu 2 m.
2. Diameter katrol yang digunakan yaitu sebesar 12 cm.
3. Media transmisi data yang digunakan yaitu Wi-Fi.
4. Sensor yang digunakan yaitu *accelerometer* ADXL345.
5. Mikrokontroler yang digunakan yaitu Wemos D1.
6. Aplikasi antarmuka untuk menampilkan *display* data yaitu menggunakan telegram.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Malik *et al.* (2021) telah melakukan penelitian tentang pengembangan alat praktikum pesawat Atwood berbasis *timer* otomatis untuk menjelaskan hukum II Newton. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kelayakan alat pesawat Atwood berbasis *time-lapse* otomatis untuk menjelaskan hukum kedua Newton. Komponen utama yang digunakan adalah Arduino Nano, adaptor 5-12 V, dinamo *Direct Current* (DC), dan tiga tombol tekan. Pengujian instrumen dilakukan pada beban massa m_1 sebesar 0,01 kg, 0,02 kg dan 0,03 kg dengan menggunakan beban m_2 sebesar 0,1 kg pada jarak 60 cm dan variasi gaya 0,5 N, 0,6 N dan 1 N. Hasil yang diperoleh dari pengukuran dan analisis data diperoleh percepatan pada teori hukum II Newton yaitu masing-masing untuk varian massa dan gaya-gaya yang berurutan adalah $4,864 \text{ ms}^{-2}$; $4,102 \text{ ms}^{-2}$; $3,414 \text{ ms}^{-2}$; $2,069 \text{ ms}^{-2}$; $2,581 \text{ ms}^{-2}$; $4,102 \text{ ms}^{-2}$. Hasil perhitungan percepatan berdasarkan interval waktu otomatis $4,220 \text{ ms}^{-2}$; $3,826 \text{ ms}^{-2}$; $2,985 \text{ ms}^{-2}$; $1,697 \text{ ms}^{-2}$; $2,415 \text{ ms}^{-2}$; $3,826 \text{ ms}^{-2}$. Data *error* terkecil sebesar 6,39% dan *error* terbesar sebesar 18%. Hasil pengukuran tersebut menunjukkan pengukuran masih akurat karena *persentase* kesalahannya kurang dari 20%.

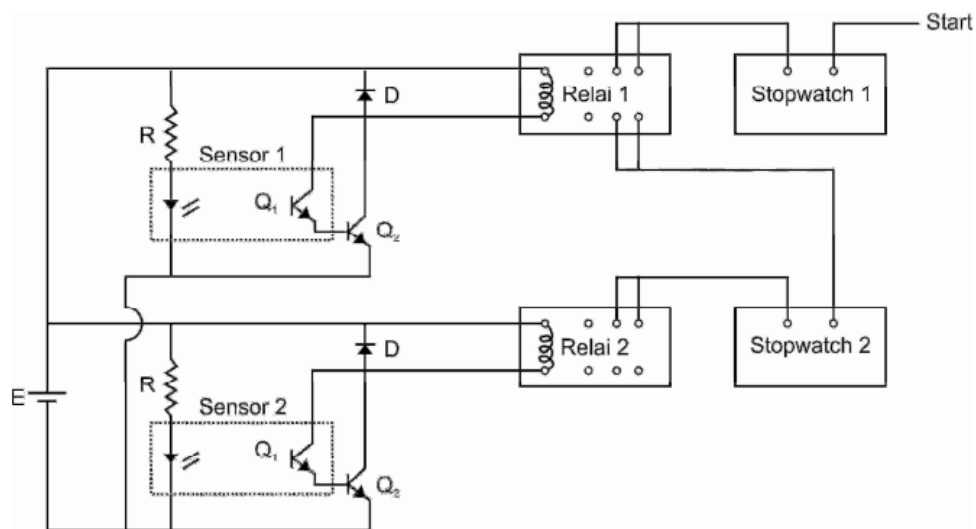
Afrilla dkk. (2014) telah melakukan penelitian tentang rancang bangun rangkaian *timer* otomatis pesawat Atwood. Alat *timer* otomatis yang dibuat terdiri dari tiga komponen penting yaitu empat buah *relay*, *stopwatch*, dan sensor getar. Alat penghitung waktu otomatis ini digunakan untuk menentukan lamanya beban jatuh dari ketinggian tertentu sampai ke landasan. Pengujian alat ini dilakukan pada beban bermassa m_1 dan m_2 sebesar 0,2 kg dan 0,22 kg yang diuji pada ketinggian 0,3–0,8 m dari landasan. Sebagai pembanding keakuratan alat ini dilakukan suatu

pengukuran waktu lamanya beban jatuh dengan menggunakan *stopwatch* secara manual. Hasil pengukuran yang menggunakan *timer* otomatis dan manual dengan *stopwatch* dibandingkan dengan teori dan diperoleh *persentase* kesalahan pengamatan secara otomatis terhadap teori berkisar antara 1,95%–4,34%, sedangkan pengamatan yang dilakukan secara manual menghasilkan *persentase* kesalahan berkisar antara 5,96%–12,88%. Hal ini menunjukkan bahwa pengamatan dengan menggunakan *timer* otomatis memiliki *persentase* kesalahan lebih kecil daripada pengamatan dengan menggunakan *stopwatch* secara manual.

Putri *and* Saraswati (2018) telah melakukan penelitian tentang arsitektur alat peraga mesin Atwood dengan sensor inframerah pasif. Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan alat peraga mesin Atwood berbasis sensor *Passive Inframerah* (PIR) untuk mengetahui nilai percepatan gravitasi bumi. Pada penelitian ini sensor PIR yang digunakan adalah tipe HC-SR501. Kebutuhan *input* sensor HC-SR501 menurut *datasheetnya* adalah 4,5-20 VDC dengan arus maksimal 50 μA . Kemampuan mendeteksi sensor dari jarak 3–7 m dengan penundaan antara 5-200 s. Kisaran sudutnya adalah 140° . Mesin Atwood dikembangkan dengan menggunakan sensor PIR untuk mendeteksi pergerakan benda yang digunakan. Berdasarkan uji coba hasil alat percobaan analisis data diperoleh percepatan gravitasi $(9,87 \pm 0,08) \text{ ms}^{-2}$. Nilai yang diperoleh pada penelitian ini tidak jauh berbeda dengan literatur yang mendasari penelitian ini yaitu $9,80665 \text{ ms}^{-2}$.

Akhlis dkk. (2016) telah melakukan penelitian yang berjudul rancang bangun pencatat selang waktu otomatis dengan menggunakan sensor peka cahaya untuk pesawat Atwood. Tujuan penelitian ini adalah merancang pencatat selang waktu otomatis dengan menggunakan sensor peka cahaya. Pembuatan peralatan elektronik dengan memanfaatkan sensor peka cahaya yang secara otomatis dapat mencatat interval waktu dalam percobaan dengan menggunakan perhitungan waktu diharapkan dapat meminimalisir ketidakakuratan tersebut. Peralatan elektronik ini menggunakan prinsip transistor saklar, dimana transistor berada dalam dua keadaan yaitu keadaan jenuh dan *diskontinuitas*. *Spesifikasi* rangkaian elektronika ini apabila sinar inframerah tidak dihalangi oleh suatu benda maka tegangan keluaran

yang dihasilkan sebesar 11,07 V dan bila sinar inframerah dihalangi oleh suatu benda maka tegangan keluarannya turun menjadi 1,2 V dengan menggunakan tegangan masukan sebesar 12 V. Dari penelitian tersebut dapat dibuat suatu alat elektronik yang dapat digunakan untuk mencatat *time-lapse* secara otomatis dengan menggunakan sensor peka cahaya berbasis fototransistor. Hasil penelitian ini adalah pesawat Atwood dilengkapi dengan sensor peka cahaya (fototransistor) yang dapat digunakan sebagai pencatat waktu dan bisa bekerja secara otomatis. Skema rangkaian terlihat pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1 Rangkaian sensor fototransistor (Akhlis dkk., 2016).

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa telah dibuat peralatan pencatat selang waktu otomatis dengan menggunakan sensor fototransistor dan dapat digunakan pada percobaan pesawat Atwood. Hasil perhitungan untuk percepatan gravitasi pada praktikum pesawat atwood yang menggunakan sensor peka cahaya adalah $9,791 \text{ ms}^{-2}$.

Elias dkk. (2022) telah melakukan penelitian yang berjudul rancang bangun alat *timer* otomatis pesawat Atwood berbasis Arduino. Tujuan dari penelitian ini adalah menghasilkan alat praktikum pengukuran waktu yaitu *timer* otomatis berbasis Arduino yang cocok digunakan dalam kegiatan praktikum di laboratorium fisika UNIMA. Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan (*Research and*

Development) model *Analisis, Design, Development, Implementasi, Evaluation* (ADDIE) yang terdiri dari beberapa tahapan penelitian yaitu analisis, desain, pengembangan, implementasi, evaluasi dan *finishing* produk media. Pada penelitian ini digunakan Arduino Uno sebagai inti perangkat yang dihubungkan dengan *Liquid Crystal Display* (LCD) 16 x 2 sebagai tampilan digital dan sensor fotodiode serta *Light Emitting Diode* (LED) inframerah sebagai *trigger* untuk mengaktifkan atau menjeda perhitungan waktu dan juga dua buah *push button* yang digunakan untuk tombol "Mulai" dan tombol "Restart". Hasil pengujian alat *stopwatch* otomatis berbasis Arduino ini mempunyai nilai gravitasi sebesar $10,095 \text{ ms}^{-2}$ dan *persentase* kesalahan sebesar 2,7%–3,4%, sedangkan validasi ahli materi dan ahli media alat dan pemandu praktikum pesawat Atwood menggunakan alat *stopwatch* otomatis berbasis Arduino. *Timer* otomatis berbasis Arduino berada pada kriteria 90,4%–95,2% dan penilaian yang diberikan kelompok kecil sebesar 98,8%.

Hermawan (2020) telah melakukan penelitian yang berjudul rancang bangun pengukur percepatan beban pada pesawat Atwood berbasis sensor *accelerometer* MMA731L dan menggunakan mikrokontroler ATMEGA328P. Penelitian ini menggunakan sensor *accelerometer* MMA731L, *Bluetooth* JDY-31, Microsoft Visual 2019, baterai LQ-S1, dan menggunakan mikrokontroler ATMEGA328P. hasil pengujian diperoleh nilai kesalahan rata-rata sebesar 1,7266% dengan akurasi sebesar 98,2734% dan presisi rata-rata sebesar 90,9089%. Sedangkan percepatan beban menggunakan sistem otomatis memiliki tingkat kesalahan sebesar 5,25% sehingga memiliki tingkat akurasi sebesar 94,75% dan pada pengukuran percepatan beban menggunakan sistem manual memiliki tingkat kesalahan sebesar 15,13% sehingga memiliki tingkat akurasi sebesar 84,87%.

Jefiza dan Novianas (2020) telah melakukan penelitian yang berjudul optimasi pesawat Atwood menggunakan sensor *Light Dependent Resistor* (LDR). Pada penelitian ini dirancang suatu alat yang dapat mengukur percepatan secara otomatis pada pesawat Atwood dengan menggunakan sensor LDR, laser diode, Arduino Nano, *keypad*, dan LCD. Alat ini digunakan untuk mengukur percepatan beban jatuh pada jarak 25, 35, dan 40 cm dengan massa beban tambahan 10, 15, dan 20 g. Dari hasil pengukuran otomatis memiliki tingkat kesalahan rata-rata sebesar 3,97%,

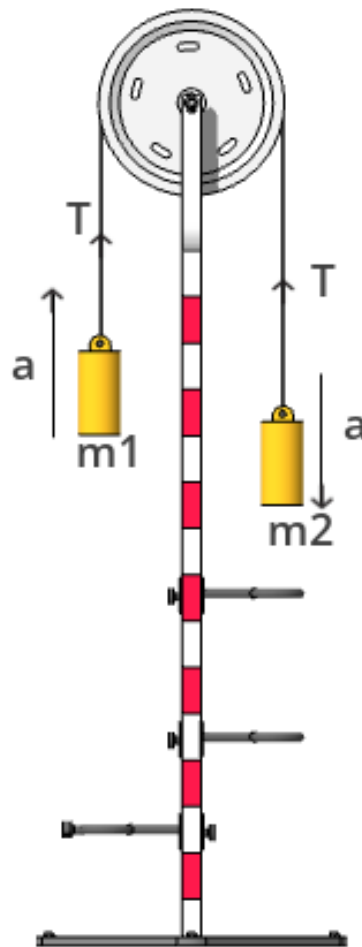
menunjukkan tingkat keberhasilan sebesar 96,03% dibandingkan dengan pengukuran manual yang hanya mencapai 89,82%.

Ridho dkk. (2020) telah melakukan penelitian yang berjudul analisis korelasi kecepatan dan percepatan saat gerak lurus menggunakan pesawat Atwood berbasis Arduino dengan sensor logam. Tujuan penelitian ini adalah untuk menciptakan alat ukur pesawat Atwood yang efisien dan minim akan kesalahan saat digunakan dalam percobaan. Penelitian ini mengkaji mengenai korelasi antara kecepatan saat Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB) dan Gerak Lurus Beraturan (GLB) dengan Mikrokontroler Atmega 328P untuk mengukur waktu secara otomatis. Metode yang digunakan dalam penelitian adalah metode eksperimen. Cara kerjanya yaitu dimulai ketika sensor 1 dikenai logam maka akan mengirimkan sinyal untuk memulai *timer* dan jika sensor 2 mendeteksi logam maka akan mengirimkan sinyal untuk mencatat waktu dan jika sensor 3 dikenai beban maka akan mengirim sinyal untuk menghentikan *timer* sekaligus mencatat waktu. Semua rangkaian terhubung dengan Arduino Atmega328P dan hasil dari pencatatan waktu akan ditampilkan pada layar *Liquid Crystal Display* (LCD). Jika mau proses mengambil data ulang dapat menggunakan tombol *reset*. Berdasarkan hasil analisis data penelitian menunjukkan bahwa ada korelasi antara kecepatan saat GLBB dan GLB yaitu sebesar 94,3% dengan nilai signifikansi sebesar 1,6%. Korelasi antara percepatan dari persamaan Hukum II Newton dengan percepatan GLBB yaitu sebesar 99,8% dengan nilai signifikansi 0%. Nilai signifikansi dibawah 5% yang menunjukkan ada korelasi yang signifikansi.

2.2 Pesawat Atwood

Pesawat Atwood adalah perangkat sederhana dalam ilmu fisika yang digunakan untuk mempelajari gerakan dan gaya yang bekerja pada dua massa yang terhubung oleh tali melalui sebuah katrol (Ariska, 2019). Perangkat ini ditemukan oleh fisikawan Inggris George Atwood pada abad ke-18 yaitu tahun 1784. Penemuan ini memberikan kontribusi penting terhadap pemahaman tentang prinsip-prinsip dasar mekanika Newtonian. Tujuan utama penemuannya adalah untuk mempelajari gerakan dengan percepatan konstan yang merupakan kasus khusus dari gerak yang

sangat penting dalam fisika. Pesawat Atwood memungkinkan eksperimen fisika yang cukup sederhana untuk dilakukan untuk memperoleh pemahaman mendalam tentang prinsip-prinsip gerakan yang melibatkan percepatan konstan. Pesawat Atwood terdiri dari dua massa yang terhubung oleh tali yang tidak lentur, yang ditarik melalui sebuah katrol. Salah satu massa lebih besar daripada yang lain. Ketika massa yang lebih besar jatuh, massa yang lebih kecil akan naik. Hal ini disebabkan oleh gaya tarik tali yang berbeda pada kedua massa tersebut (Astro dkk., 2016). Skema diagram sederhana pesawat Atwood terlihat pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2.2 Diagram sederhana pesawat atwood.

Pesawat Atwood yang sederhana terdiri dari pasangan dua massa yang tergantung pada katrol melalui sebuah tali. Apabila ada dua massa tidak sama, misalkan massa pada benda 2 (m_2) lebih besar dari massa pada benda 1 (m_1) maka arah percepatan (\bar{a}) akan mengikuti gaya berat m_2 dan demikian sebaliknya (Nugraha dkk., 2017).

Ketika m_1 lebih besar dari m_2 maka arah \bar{a} akan mengikuti gaya berat m_1 dan jika m_2 lebih besar dari m_1 maka persamaan translasi m_2 seperti yang ditunjukkan pada **Persamaan (2.1)** dan gerak translasi m_1 pada **Persamaan (2.2)**.

$$\bar{T}_1 - m_1 \bar{g} = m_1 \bar{a} \quad (2.1)$$

$$m_2 \bar{g} - \bar{T}_2 = m_2 \bar{a} \quad (2.2)$$

dengan m adalah massa pada beban (g), \bar{g} adalah percepatan gravitasi (ms^{-2}), \bar{a} adalah percepatan (ms^{-2}), dan \bar{T} adalah tegangan tali (N).

Setiap objek yang bergerak melingkar atau berputar akan memiliki kelembaman rotasi, yang bergantung pada sumbu rotasi, bentuk objek, dan distribusi massa dalam objek tersebut. Untuk katrol berbentuk lempeng lingkaran dengan massa (M_k) dan jari jari (R) momen kelembaman katrolnya dituliskan seperti **Persamaan (2.3)**, untuk rumus percepatan sudut ($\bar{\alpha}$) dituliskan pada **Persamaan (2.4)**, dan untuk persamaan gerak melingkar ($\sum \bar{\tau}$), momen inersia (I), percepatan sudut ($\bar{\alpha}$) dituliskan pada **Persamaan (2.5)**.

$$I = \frac{1}{2} M_k R^2 \quad (2.3)$$

$$\bar{\alpha} = \frac{\bar{a}}{R} \quad (2.4)$$

$$\sum \bar{\tau} = I \bar{\alpha} \quad (2.5)$$

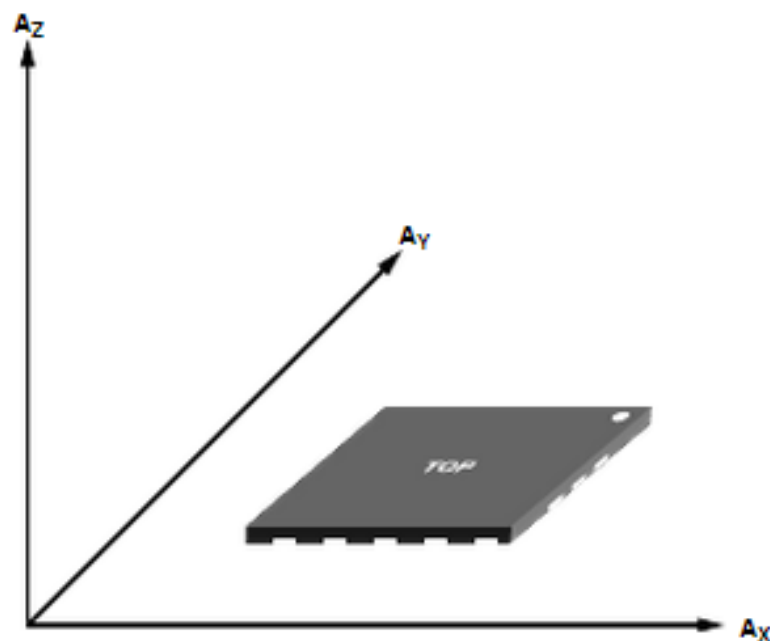
Jika gesekan diabaikan, maka percepatan suatu beban yang diperoleh dari gabungan **Persamaan (2.1)** sampai **Persamaan (2.5)** dapat dituliskan seperti **Persamaan (2.6)**.

$$\bar{a} = \frac{(m_1 - m_2) \cdot \bar{g}}{m_1 + m_2 + \frac{1}{2} M_k} \quad (2.6)$$

dengan m adalah massa pada beban (g), \bar{g} adalah percepatan gravitasi (ms^{-2}), M_k adalah massa katrol (g) dan \bar{a} adalah percepatan (ms^{-2}) (Resnick and Holiday, 2011).

2.3 Sensor Accelerometer

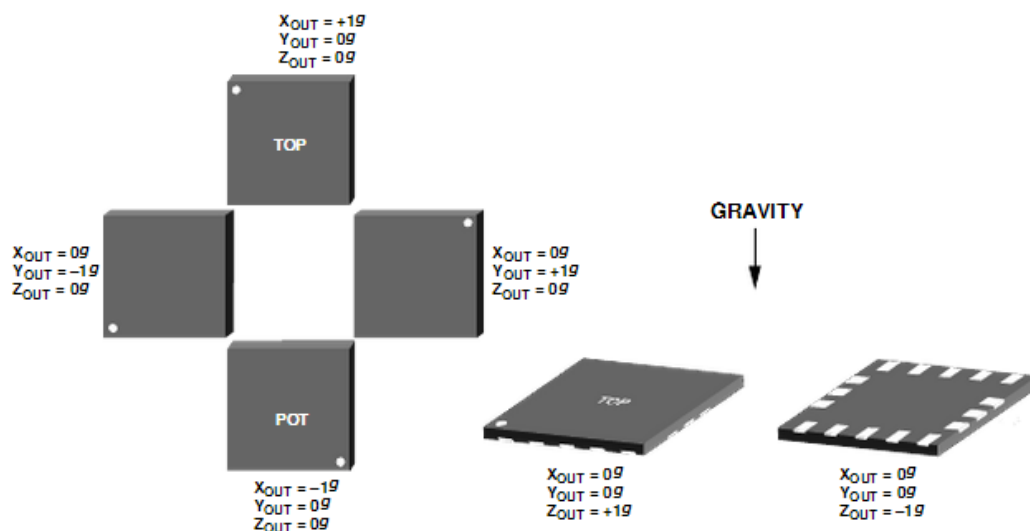
Sensor *accelerometer* memiliki beberapa keunggulan yang menjadikannya sangat berharga dalam berbagai aplikasi. Pada penelitian ini akan digunakan sensor *accelerometer* jenis *Micro Electro Mechanical System* (MEMS) tipe *Analog Devices Accelerometer 3-Axis Digital* (ADXL345). ADXL345 adalah *accelerometer* 3 sumbu yang kecil, tipis, dan berdaya rendah yang mampu mengukur percepatan linier dalam tiga sumbu (X, Y dan Z) dengan resolusi tinggi 13-bit. Rentang pengukurannya dapat diatur dari $\pm 2g$ hingga $\pm 16g$ memberikan fleksibilitas dalam berbagai bentuk pengukuran. Data keluaran digital dari sensor ini diformat sebagai pelengkap berpasangan 16-bit dan dapat diakses melalui antarmuka digital *Serial Peripheral Interface* (SPI) atau *Inter-Integrated Circuit* (I2C). ADXL345 sangat cocok untuk aplikasi perangkat seluler serta mampu mengukur percepatan gravitasi statis untuk aplikasi penginderaan kemiringan maupun percepatan dinamis akibat gerakan atau guncangan. Orientasi ketiga sumbu ADXL345 terhadap sumbu X, Y dan Z ditunjukkan oleh **Gambar 2.3**.



Gambar 2.3 Orientasi ketiga sumbu ADXL345 (Anggi, 2022).

Gambar 2.3 menjelaskan tentang orientasi ketiga sumbu ADXL345 terhadap sumbu X, Y dan Z. ADXL345 merupakan sensor *akselerometer* tiga sumbu yang

mampu mengukur percepatan dalam tiga dimensi. Orientasi sumbu pada ADXL345 dapat bervariasi tergantung pada cara sensor tersebut dipasang dalam suatu sistem. Secara umum, orientasi sumbu pada ADXL345 dapat dijelaskan sebagai berikut. Sumbu X pada ADXL345 mengindikasikan arah percepatan pada sumbu horizontal atau memanjang, contohnya dari kiri ke kanan. Pada kebanyakan implementasi, sumbu X diatur sejajar dengan sumbu panjang dari perangkat tempat sensor dipasang. Sumbu Y menunjukkan arah percepatan pada sumbu vertikal, dan dalam banyak kasus, sumbu Y disesuaikan sejajar dengan sumbu lebar perangkat. Sumbu Z menunjukkan arah percepatan pada sumbu kedalaman atau tegak lurus terhadap permukaan sensor. Pada umumnya sumbu Z diatur tegak lurus terhadap permukaan perangkat atau sensor. Penting untuk dicatat bahwa orientasi ini dapat berubah tergantung pada konfigurasi fisik sensor, seperti posisi sensor yang terbalik atau rotasi tertentu. Oleh karena itu, pemahaman yang akurat tentang arah percepatan pada sumbu X, Y dan Z perlu memperhitungkan konfigurasi fisik sensor ADXL345 dalam konteks sistem yang digunakan.



Gambar 2.4 Karakteristik 3 sumbu ADXL345 (Anggi, 2022).

Gambar 2.4 menjelaskan tentang karakteristik *output* dari sensor *akselerometer* ADXL345 terhadap ketiga sumbu yaitu sumbu X, Y dan Z. Informasi ini menjadi acuan penting dalam kerangka penelitian yang sedang dilakukan. Ketika salah satu sumbu berada dalam posisi yang berlawanan arah dengan gaya gravitasi *output* pada sumbu tersebut akan memiliki nilai sekitar ± 1 g. Dengan kata lain, ketika ada

perbedaan arah antara posisi sumbu dan arah gaya gravitasi sensor akan menghasilkan keluaran sekitar 1 g (g adalah satuan percepatan gravitasi standar yaitu sekitar $9,8 \text{ ms}^{-2}$). Hal ini menunjukkan bahwa sensor mampu mendeteksi perubahan arah dan mengukur percepatan dengan presisi, informasi yang sangat relevan untuk analisis dan interpretasi data dalam konteks penelitian yang sedang dilakukan (Anggi, 2022).

Prinsip dasar fisika yang digunakan dalam sensor ADXL345 ini adalah Hukum Hooke dan Hukum II Newton. Hukum Hooke berkaitan dengan gaya pemulihan yang dihasilkan oleh gesekan. Hubungan antara hukum Hooke dan percepatan melibatkan bagaimana sensor ini mendeteksi dan mengukur perubahan posisi akibat gaya yang dihasilkan oleh percepatan. Hukum Hooke menyatakan bahwa gaya pemulihan (\bar{F}) yang dihasilkan oleh pegas berbanding lurus dengan perpindahan (x) dari posisi keseimbangannya yang dituliskan pada **Persamaan (2.7)**.

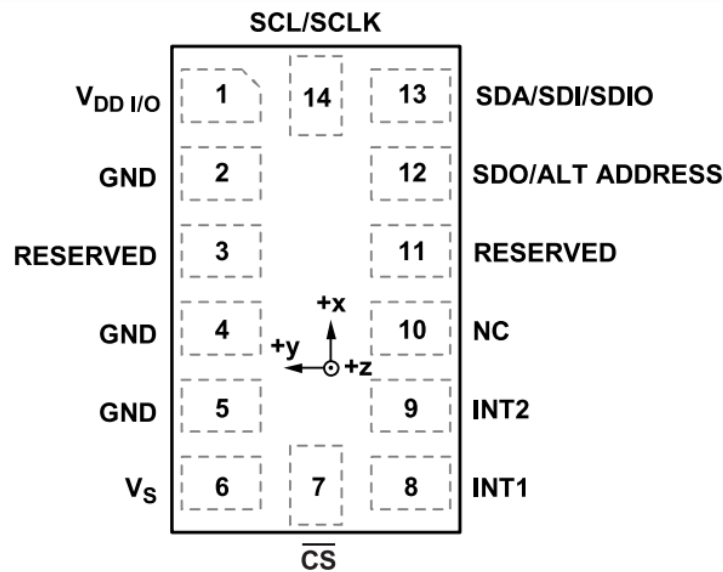
$$\bar{F} = k \cdot x \quad (2.7)$$

dengan \bar{F} adalah gaya pemulihan (N), k adalah konstanta pegas (Nm^{-1}), dan x adalah perpindahan (m).

Hukum II Newton menjelaskan hubungan antara gaya, massa, dan percepatan suatu benda. Hukum II Newton memiliki hubungan dengan cara kerja sensor ADXL345 yaitu untuk menggambarkan percepatan muncul dari gaya yang bekerja pada massa. Hukum II Newton menyatakan bahwa percepatan (\bar{a}) yang dialami oleh sebuah benda berbanding lurus dengan gaya (\bar{F}) yang bekerja pada benda tersebut, dan berbanding terbalik dengan massanya (m). Rumus ini dinyatakan pada **Persamaan (2.8)**.

$$\bar{F} = m \cdot \bar{a} \quad (2.8)$$

dengan \bar{F} adalah gaya yang bekerja pada benda (N), m adalah massa benda (kg), dan \bar{a} adalah percepatan yang dialami benda (ms^{-2}).



Gambar 2.5 Konfigurasi pin-pin sensor ADXL345 (Anggi, 2022).

Berdasarkan **Gambar 2.5** menunjukkan konfigurasi pin pada sensor ADXL345 dan untuk fungsi dari pin tersebut dapat dilihat pada **Tabel 2.1**.

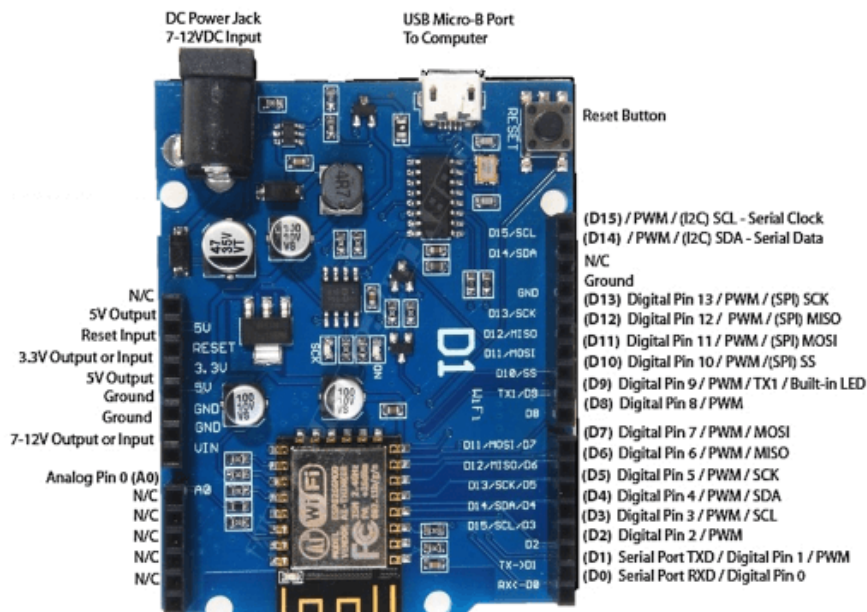
Tabel 2. 1 Keterangan Fungsi Pin-Pin Sensor ADXL345

Nomor Pin	Nama Pin	Keterangan
1	$V_{DD\ I/O}$	Digunakan untuk <i>supply</i> tegangan <i>input/output</i> .
2	GND	Digunakan untuk menghubungkan sensor ke <i>ground</i> .
3	RESERVED	Pin ini tidak digunakan dan dibiarkan terbuka.
4	GND	Digunakan untuk menghubungkan sensor ke <i>ground</i> .
5	GND	Digunakan untuk menghubungkan sensor ke <i>ground</i> .
6	V_S	Berfungsi sebagai <i>supply</i> tegangan untuk sensor.
7	CS	Digunakan untuk memilih sensor ketika berkomunikasi melalui SPI.
8	INT1	Berfungsi sebagai pin <i>output</i> untuk sinyal <i>interrupt</i> 1.
9	INT2	Berfungsi sebagai pin <i>output</i> untuk sinyal <i>interrupt</i> 2.
10	NC	Pin ini tidak terhubung.
11	RESERVED	Pin ini tidak digunakan dan dibiarkan terbuka.
12	SDO/ALT ADDRESS	Berfungsi sebagai <i>output</i> data serial atau alamat alternatif untuk komunikasi.
13	SDA/SDI/SDIO	Berfungsi sebagai antarmuka data serial (SDA) atau <i>input</i> data serial (SDI) untuk komunikasi I2C.
14	SCL/SCLK	Berfungsi sebagai antarmuka <i>clock serial</i> (SCL) atau <i>clock</i> internal untuk komunikasi I2C.

2.4 Mikrokontroler Wemos D1

Mikrokontroler adalah suatu *chip* berupa *Integrated Circuit* (IC) yang dapat menerima sinyal masukan, mengolahnya dan memberikan sinyal keluaran sesuai dengan program yang diisikan ke dalamnya. Sinyal masukan mikrokontroler berasal dari sensor yang merupakan informasi dari lingkungan sedangkan sinyal keluaran ditunjukkan kepada aktuator yang dapat memberikan efek ke lingkungan. Jadi mikrokontroler dapat diibaratkan sebagai otak dari suatu perangkat atau produk yang mampu berinteraksi dengan lingkungan sekitarnya. Mikrokontroler pada dasarnya adalah komputer dalam satu *chip*, yang di dalamnya terdapat mikroprosesor, memori, jalur *input/output* (I/O) dan perangkat pelengkap lainnya. Kecepatan pengolahan data pada mikrokontroler lebih rendah jika dibandingkan dengan *Personal Computer* (PC). Mikrokontroler sering digunakan pada sistem yang tidak terlalu kompleks dan tidak memerlukan kemampuan komputasi yang tinggi (Wellem dan Prakoso, 2022).

IC mikrokontroler memiliki banyak jenis misalnya ATmega328P, ATmega8535, ESP32, ESP8266, Wemos D1, Wemos D1 Mini dan lain-lain. Masing-masing mikrokontroler ini memiliki keunggulan dan kegunaannya sendiri tergantung pada kebutuhan proyek yang sedang dikerjakan. Salah satu *hardware* hasil dari pengembangan yang berbasis IoT adalah Wemos D1 mini, yang merupakan sebuah mikrokontroler hasil pengembangan berbasis modul ESP8266. Mikrokontroler ini sangat populer di kalangan pengembang IoT karena ukurannya yang kecil, biaya yang relatif murah dan kemampuan Wi-Fi yang handal. Selain itu, Wemos D1 Mini mendukung berbagai macam perangkat tambahan (*shields*) yang dapat memperluas fungsinya sesuai dengan kebutuhan proyek. Masih terdapat modul Wi-Fi yang berbasis ESP8266 seperti NodeMCU yang sering digunakan sebagai penghubung internet antara Arduino ke *smartphone* atau PC melalui jaringan Wi-Fi memungkinkan berbagai aplikasi seperti pengontrolan perangkat jarak jauh, pengumpulan data sensor hingga sistem keamanan *smart home* (Iswara dkk., 2022).



Gambar 2.6 Pin-pin Wemos D1 (Dina, 2020).

Gambar 2.6 menampilkan tampilan pin-pin pada Wemos D1. Wemos D1 merupakan *development board* yang dikhususkan untuk keperluan IoT, karena di dalamnya sudah terdapat modul Wi-Fi. Wemos D1 bisa berjalan secara *stand alone* sebab di dalamnya telah tersedia *Central Processing Unit* (CPU) yang bisa diprogram lewat *serial port* maupun melalui *Over the Air* (OTA) artinya *transfer* program tanpa kabel. Bahasa pemrograman sama seperti arduino sehingga fungsi *setup pin* dan fungsi *loop* sama (Wahyu dkk., 2023).

Berikut ini adalah spesifikasi teknis dari mikrokontroler Wemos D1:

1. 11 *digital input/output pins*,
2. 1 *analog input* (maksimal *input* 3,2 V)
3. *Micro USB connection*
4. *Power jack*, 9–24 V *power input*.
5. Kompatibel dengan Arduino
6. Kompatibel dengan NODEMCU
7. *Operating Voltage*: 3,3 V
8. *Digital I/O Pins*: 11
9. *Analog Input Pins*: 1(Max *input*: 3,2 V)
10. *Clock Speed*: 80 MHz/160 MHz

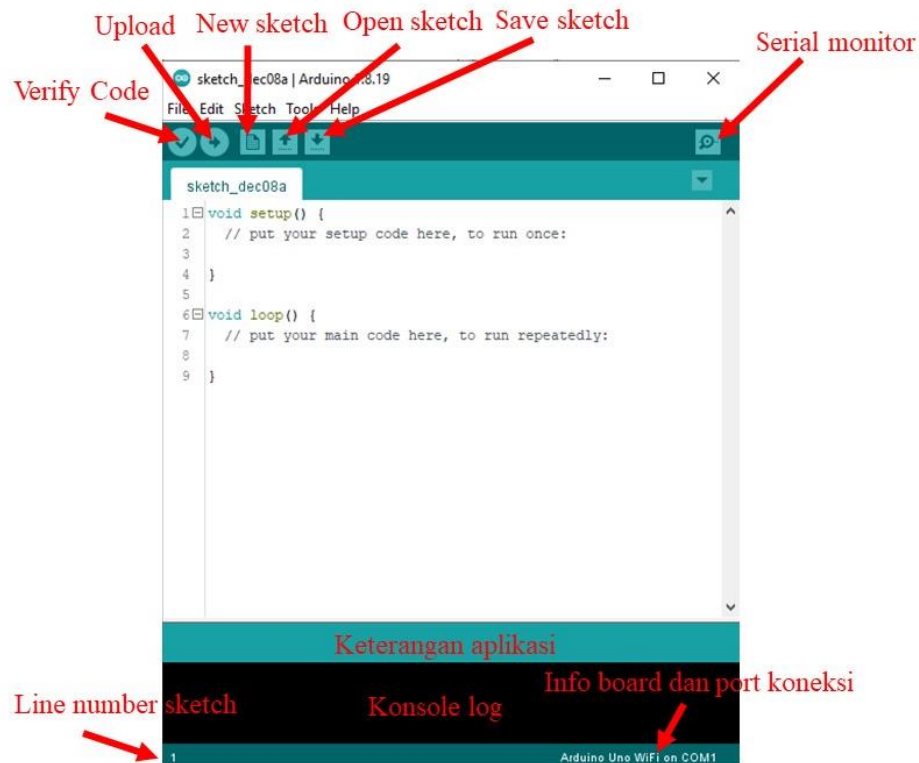
11. *Flash*: 4 MB
12. Panjang: 68,6 mm
13. Lebar: 53,4 mm
14. Bobot: 25 g

Adapun keunggulan menggunakan modul Wemos adalah dapat diprogram menggunakan Arduino IDE dengan *sintaks* program *library* yang banyak terdapat di internet dan *pinout* yang *compatible* dengan Arduino Uno sehingga mudah untuk menghubungkan dengan Arduino *shield* lainnya serta mempunyai *memory* yang sangat besar yaitu 4 MB. Wemos juga sesuai dengan beberapa bahasa pemrograman lainnya seperti bahasa Python dan Lua sehingga memudahkan untuk mengupload program kedalam Wemos apabila seorang programmer belum terlalu paham dengan cara program menggunakan Arduino IDE. Bentuk *board* yang kecil dan harga yang ekonomis membuat banyak pengembang semakin dipermudah untuk menerapkan sebuah perangkat atau *project* IoT ke dalam Wemos yang akan dikontrol maupun dimonitor menggunakan *smartphone* atau PC secara *online* dan *realtime*. Secara kinerja dan *spesifikasi* wemos D1 mini ini lebih baik jika dibandingkan dengan Arduino dikarenakan *speed* dari *controller* yang lebih baru dan lebih tinggi ditambah telah *terintegrasi* dengan Wi-Fi *connection* sehingga dapat *update Software Via On the Air* (Khobariah dkk., 2022).

2.5 Arduino Integrated Development Environment (IDE)

Desain program merupakan hal yang terpenting dan dapat dikatakan sebagai otak dalam berjalannya sistem mekatronika. Arduino IDE, *Integrated Development Environment* yang menggunakan bahasa pemrograman C++. Pemrograman ini diberikan fungsi *millis* (), yang berfungsi untuk merekam *internal clock* dari Arduino pada saat fungsi tersebut dipanggil. Dalam pemrograman ini, aplikasi Arduino IDE yang akan memproses dalam penerimaan dan pengiriman sinyal pada sistem elektrik dan juga mekanik. Aplikasi ini berguna untuk membuat, membuka, dan mengedit *source code* Arduino (*Sketch*, para programmer menyebut *source code* Arduino dengan istilah “*Sketch*”). *Sketch* merupakan *source code* yang berisi

logika dan algoritma yang akan di-*upload* ke dalam IC mikrokontroler (Arduino) (Louis, 2016).



Gambar 2.7 *Interface* Arduino IDE (Djafar dkk., 2021).

Interface Arduino IDE tampak seperti **Gambar 2.7** dari kiri ke kanan dan atas ke bawah, bagian-bagian Arduino IDE antara lain sebagai berikut.

- a. *Verify*: berfungsi untuk mengubah *sketch* ke dalam bentuk kode biner untuk selanjutnya diunggah ke mikrokontroler.
- b. *Upload*: berfungsi untuk mengunggah *sketch* ke papan Arduino.
- c. *New sketch*: berfungsi untuk membuka *Windows* dan membuat *sketch* baru.
- d. *Open sketch*: berfungsi untuk membuka *sketch* yang sudah pernah dibuat.
- e. *Save sketch*: berfungsi untuk menyimpan *sketch*.
- f. *Serial monitor*: berfungsi untuk membuka *interface* untuk komunikasi serial.
- g. *Keterangan Aplikasi*: berfungsi untuk menampilkan pesan-pesan yang dilakukan aplikasi akan muncul disini, misalnya “*Compiling*” dan “*Done Uploading*” ketika mengkompilasi dan mengunggah *sketch* ke papan Arduino.

- h. *Konsol*: berfungsi untuk menampilkan pesan-pesan yang dikerjakan aplikasi dan pesan-pesan tentang *sketch* akan muncul pada bagian ini. Misalnya, ketika aplikasi mengkompilasi atau ketika ada kesalahan pada *sketch* yang kita buat, maka informasi kesalahan dan baris akan diinformasikan di bagian ini.
- i. Baris *sketch*: berfungsi untuk menunjukkan posisi baris *cursor* yang sedang aktif pada *sketch*.
- j. Informasi *Port*: berfungsi untuk menginformasikan *port* yang dipakai oleh papan Arduino (Djafar dkk., 2021).

2.6 SketchUp

SketchUp merupakan salah satu program aplikasi berbasis *Three-Dimensional* (3D) yang dapat digunakan untuk membantu menyempurnakan suatu gagasan desain kedalam model 3D (Wahyudi dkk., 2015). *SketchUp* bukanlah *Computer Assisted Design* (CAD) yang dirancang lebih kepada penekanan akurasi data desain dengan toleransi *command* (perintah pada program aplikasi) yang menjadi kompleks, *SketchUp* lebih dirancang untuk *eksplorasi* desain sehingga memiliki kemampuan kreasi yang sangat tinggi, mengamati, dan memodifikasi gagasan 3D dengan cepat dan dengan mudah karena ditunjang oleh *tool-set* (piranti/alat) yang sempurna sesuai kebutuhan desain namun dikemas secara sederhana (Fajri dan Nasution, 2016).

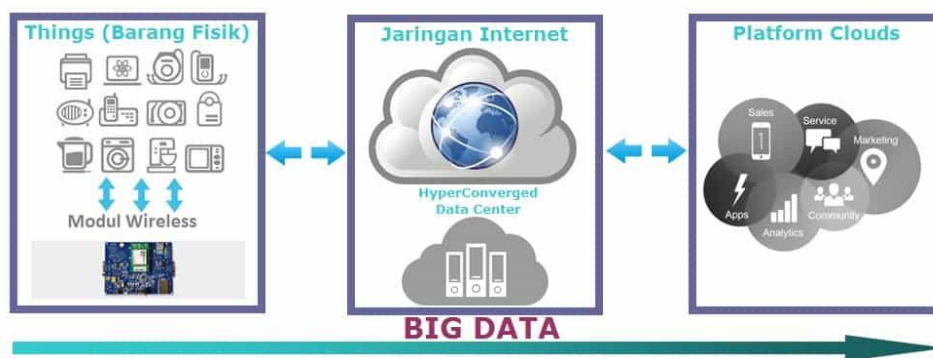
Dengan *SketchUp* desain menjadi sangat *editable*, memodifikasi komponen sangat interaktif serta memiliki kemampuan komunikasi grafis, yang tidak kalah menariknya adalah *SketchUp* tetap memiliki kemampuan mendesain secara akurat, bahkan mendekati permasalahan pada tingkatan abstrak yang menjadi target desain. Dengan kemampuannya mendesain secara akurat selayaknya CAD maka *SketchUp* memiliki integrasi terhadap program aplikasi CAD. Dengan kelebihan tersebut *SketchUp* sangat efektif dan efisien dalam mendesain terutama untuk diaplikasikan dalam dunia kerja yang sangat mengutamakan kecepatan proses mewujudkan gagasan kedalam suatu model presentasi dengan tanpa mengabaikan totalitas desainnya itu sendiri (Nasukha dkk., 2023).

2.7 Telegram

Telegram telah berkembang menjadi *platform* yang bermanfaat untuk pengembangan IoT. Sebagai aplikasi berbasis *cloud* dengan *enkripsi* tingkat tinggi, telegram menyediakan antarmuka yang aman dan handal bagi pengguna untuk mengirim dan menerima data dari perangkat IoT. Bot telegram, yang dapat diintegrasikan dengan berbagai layanan dan perangkat, memungkinkan otomatisasi dan pemantauan jarak jauh yang efisien. Melalui bot ini pengguna dapat mengontrol perangkat IoT untuk mengumpulkan data dan menerima notifikasi secara *real-time*. Dalam pengembangan IoT telegram menawarkan API yang mudah digunakan dan dokumentasi yang komprehensif, memungkinkan pengembang untuk dengan cepat membuat solusi IoT yang terintegrasi dengan aplikasi telegram. Telegram dapat digunakan sebagai *platform* untuk memfasilitasi komunikasi antar perangkat dalam ekosistem IoT, berkat kemampuannya dalam menangani pesan secara cepat dan aman (Kranz, 2016). Selain itu telegram dengan fitur bot dan *enkripsinya* akan menyediakan lingkungan yang ideal untuk pengembangan aplikasi IoT yang membutuhkan komunikasi yang cepat dan aman antara perangkat dan pengguna (Raj and Raman, 2017).

2.8 Internet of Things (IoT)

IoT merupakan sebuah konsep yang bertujuan untuk memperluas manfaat dari konektivitas internet yang tersambung secara terus menerus. Istilah IoT mulai dikenal tahun 1999 yang saat itu disebutkan pertama kalinya dalam sebuah presentasi oleh Kevin Ashton, *cofounder and executive director of the Auto-ID Center* di MIT (Kranz, 2016). Dengan menggunakan IoT memungkinkan suatu sistem dapat dikendalikan secara otomatis tanpa mengenal jarak melalui jaringan Internet. Pengimplementasian IoT sendiri selalu mengikuti keinginan dari *Developer* dalam mengembangkan sebuah aplikasi.



Gambar 2.8 Konsep IoT (Efendi, 2018).

Gambar 2.8 menjelaskan tentang konsep IoT yang sebetulnya cukup sederhana dengan cara kerja mengacu pada 3 elemen utama pada arsitektur IoT, yaitu: barang fisik yang dilengkapi modul IoT, perangkat koneksi ke internet seperti Modem dan *Router Wireless Speedy* seperti di rumah anda, dan *Cloud Data Center* tempat untuk menyimpan aplikasi beserta *database*. Dasar prinsip kerja perangkat IoT adalah benda di dunia nyata diberikan identitas unik dan dapat dikali di sistem komputer dan dapat di representasikan dalam bentuk data di sebuah sistem komputer. Pada awal-awal implementasi gagasan IoT pengenalan yang digunakan agar benda dapat diidentifikasi dan dibaca oleh komputer adalah dengan menggunakan kode batang (*Barcode*), Kode QR (*QR Code*) dan *Radio-Frequency Identification* (RFID) (Efendi, 2018).

Dalam perkembangannya sebuah benda dapat diberi pengenalan berupa *IP address* dan menggunakan jaringan internet untuk bisa berkomunikasi dengan benda lain yang memiliki pengenalan *IP address*. Cara kerja IoT yaitu dengan memanfaatkan sebuah argumentasi pemrograman yang dimana tiap-tiap perintah argumennya itu menghasilkan sebuah interaksi antara sesama mesin yang terhubung secara otomatis tanpa campur tangan manusia dan dalam jarak berapa pun. Internet akan menjadi penghubung di antara kedua interaksi mesin tersebut, sementara manusia hanya bertugas sebagai pengatur dan pengawas bekerjanya alat tersebut secara langsung (Ritonga dkk., 2020).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan Februari sampai dengan Agustus 2024. Perancangan dan pengujian alat dilakukan di Laboratorium Fisika Dasar, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3. 1 Alat Penelitian

No	Nama	Fungsi
1.	Komputer (PC)	Digunakan untuk menyimpan data (<i>database</i>) monitoring dan sebagai media pemantauan untuk mengakses aplikasi antarmuka.
2.	Neraca Ohaus	Digunakan untuk mengukur massa beban yang digunakan.
3.	Multimeter	Digunakan untuk mengukur serta mengecek kondisi tegangan, arus, dan tekanan dari komputer.
4.	Solder	Digunakan untuk memasang atau membongkar komponen elektronika yang terdapat pada papan PCB.
5.	Peralatan Kerja Lainnya	Digunakan untuk mendukung dalam pembuatan alat ini, seperti gunting, obeng, dan lain lain.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 3.2**.

Tabel 3. 2 Bahan Penelitian

No	Nama	Fungsi
1.	Beban	Digunakan sebagai benda yang akan diukur percepatanya.
2.	Katrol	Digunakan untuk mengubah gerak tali.
3.	Tali	Digunakan untuk menghubungkan kedua beban.
4.	Badan Pesawat Atwood	Digunakan sebagai penyangga katrol dan untuk mengukur jarak titik awal dan akhir.
5.	Sensor ADXL345	Digunakan untuk mengukur percepatan linier dalam tiga sumbu (x, y, z).
6.	Wemos D1	Digunakan untuk menghubungkan perangkat ke jaringan nirkabel dan internet, serta mengendalikan berbagai perangkat elektronik dan sensor melalui konektivitas Wi-Fi.
7.	Kabel USB	Digunakan untuk menghubungkan perangkat Wemos ke komputer.

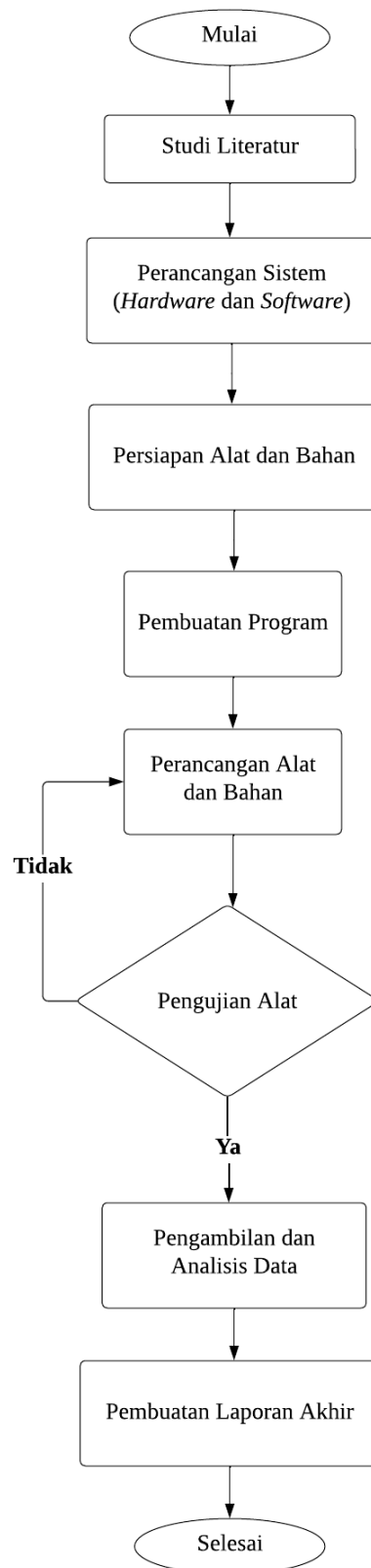
Perangkat lunak yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 3.3**.

Tabel 3. 3 Perangkat Lunak Yang Digunakan

No	Nama	Fungsi
1.	Arduino IDE	Digunakan untuk membuat, membuka, dan mengedit program yang akan dimasukkan ke mikrokontroler.
2.	Microsoft Word 2010	Digunakan untuk menulis laporan penelitian.
3.	<i>Software Origin</i>	Digunakan untuk mengolah data dan membuat grafik.
4.	Telegram	Digunakan sebagai kendali pada modul Arduino
5.	<i>Sketch Up</i>	Digunakan untuk membuat desain 3D dari alat yang akan dibuat.

3.3 Prosedur Penelitian

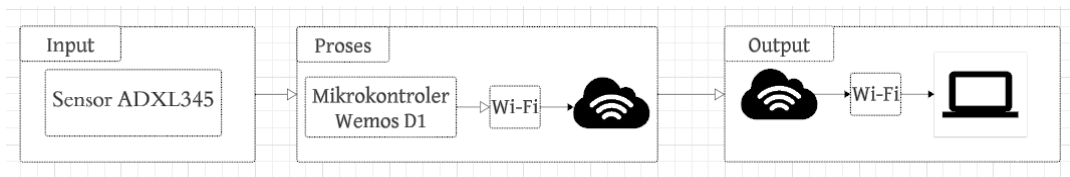
Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alat portabel yang dapat digunakan untuk mengukur percepatan benda berbasis sensor *accelerometer* ADXL345 dan dapat digunakan sebagai koreksi untuk pembandingan pengukuran secara manual. Langkah awal melakukan penelitian dimulai dengan melakukan studi literatur tentang pesawat Atwood melalui berbagai jurnal, buku, dan internet yang membahas tentang cara kerja pesawat Atwood. Kemudian tahap yang selanjutnya yaitu perancangan sistem perangkat keras (*hardware*) dan perancangan sistem perangkat lunak (*software*), perancangan *hardware* dimulai dengan menyiapkan komponen-komponen yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu berupa sensor ADXL345 dan Wemos D1 sedangkan perancangan *software* menggunakan Arduino IDE versi 1.8.19. Setelah perancangan sistem kemudian dilanjutkan dengan persiapan alat dan bahan yang akan digunakan untuk perancangan pesawat Atwood. Langkah selanjutnya yaitu pembuatan program menggunakan *software* Arduino IDE versi 1.8.19, *software* ini menggunakan bahasa pemrograman C++. Setelah pembuatan program selesai kemudian dilanjutkan dengan perancangan pesawat Atwood dengan alat dan bahan yang telah disiapkan. Tahap selanjutnya yang akan dilakukan yaitu pengujian alat yang akan dilakukan untuk menguji alat yang telah kita buat tersebut berjalan dengan baik atau tidak. Setelah pengujian alat selesai kemudian dilanjutkan dengan pengambilan dan analisis data untuk mengukur nilai percepatan gerak untuk setiap variasi massa benda. Tahap yang terakhir yaitu penyusunan laporan yang dibuat untuk memenuhi salah satu syarat untuk melakukan seminar proposal dan sebagai tanda telah selesainya proyek rancang bangun pesawat Atwood menggunakan sensor *Analog Devices Accelerometer 3-Axis Digital* (ADXL345) dan Wemos D1 berbasis *Internet of Things* (IoT). Tahap-tahap penyelesaian pada penelitian ini secara umum ditunjukkan pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.

3.3.1 Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Perancangan perangkat keras (*hardware*) merupakan tahap penyusunan komponen elektronika menjadi satu sistem agar dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan. Komponen-komponen yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari sensor ADXL345 dan mikrokontroler Wemos D1. Diagram blok perancangan perangkat keras pada penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3.2 Blok diagram perangkat keras (*Hardware*).

Gambar 3.2 menampilkan blok diagram perangkat keras yang terbagi menjadi tiga bagian: bagian *input*, bagian *proses*, dan bagian *output*. Pada bagian masukan (*input*), sensor ADXL345 berfungsi sebagai sensor percepatan digital yang memberikan data dalam bentuk angka atau kode yang merepresentasikan besarnya percepatan dalam tiga sumbu (X, Y dan Z). Sensor ADXL345 dapat berkomunikasi melalui protokol *Inter-Integrated Circuit (I2C)* atau *Serial Peripheral Interface (SPI)*. Keunggulan sensor ADXL345 terletak pada akurasi, rentang pengukuran yang luas, konsumsi daya yang rendah, serta kemampuan untuk mengukur percepatan dalam tiga sumbu sekaligus dengan sensitivitas tinggi.

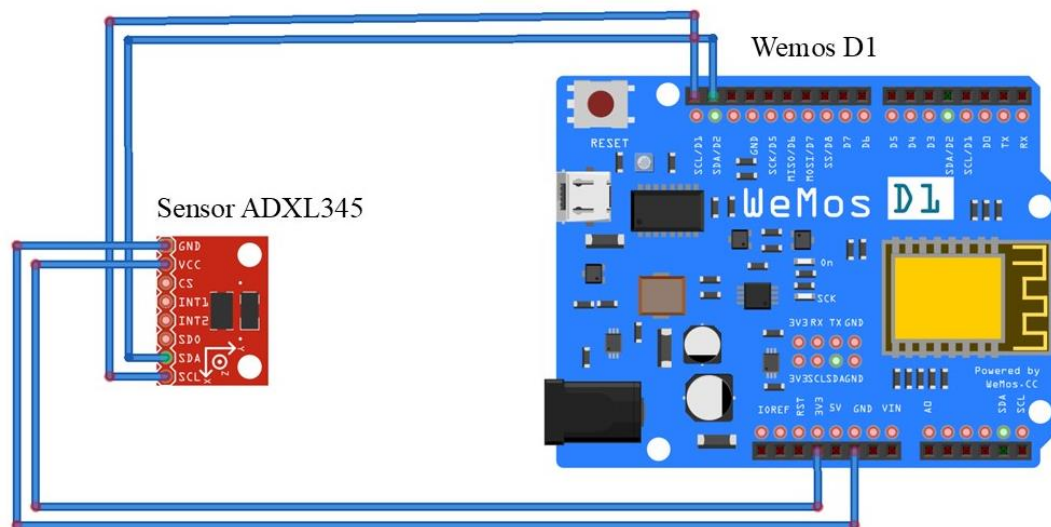
Pada bagian kontrol data (*proses*), terdiri dari mikrokontroler Wemos D1 dan Wi-Fi yang berperan sebagai pengontrol rangkaian elektronika dan media komunikasi ke internet melalui Wi-Fi. Kelebihan Wemos D1 dibandingkan dengan Arduino Uno WiFi Rev2 atau Arduino MKR1000 adalah terletak pada faktor harga dan kemudahan penggunaan. Secara finansial, Wemos D1 seringkali lebih terjangkau daripada kedua varian Arduino tersebut. Selain itu, Wemos D1 juga lebih mudah digunakan, dengan desain dan dokumentasi yang lebih ramah pengguna. Dukungan ekosistem perangkat lunak yang luas, seperti dukungan penuh untuk Arduino IDE dan komunitas pengembang yang aktif juga membuat Wemos D1 menjadi pilihan yang menarik untuk pengembangan aplikasi IoT. Meskipun memiliki kesamaan

dalam kemampuan terhubung ke jaringan Wi-Fi dan pengembangan aplikasi IoT keunggulan harga dan kemudahan penggunaan membuat Wemos D1 menjadi pilihan yang lebih menarik bagi banyak pengembang.

Pada bagian penerima data (*output*), modul Wi-Fi menerima dan mentransfer data yang dikendalikan oleh mikrokontroler. Data ini dapat dibaca dan direkam menggunakan aplikasi antarmuka yang dibuat dengan telegram. Telegram adalah *platform* IoT yang menyediakan berbagai fitur untuk mengontrol dan memonitor perangkat secara jarak jauh melalui aplikasi seluler. Keuntungan penggunaan telegram dibandingkan dengan *blynk* antara lain adalah kemampuannya dalam menyediakan komunikasi yang lebih aman dengan *enkripsi end-to-end*, kemudahan dalam pembuatan *bot* yang dapat disesuaikan, serta akses yang lebih luas dan gratis tanpa batasan fitur utama. Selain itu, aplikasi ini dapat dihubungkan dengan Microsoft Excel untuk penyimpanan data pada komputer, memudahkan pengguna dalam mengelola dan menganalisis data secara efisien.

3.3.2 Rangkaian Sensor Accelerometer ADXL345

Sensor *accelerometer* ADXL345 berfungsi untuk mengukur percepatan gerak jatuh benda pada sistem pesawat Atwood. Sensor ADXL345 dapat diakses melalui dua jalur komunikasi digital yaitu jalur SPI dan I2C. Pada penelitian ini jalur komunikasi yang digunakan adalah I2C. Pada **Gambar 3.3** menjelaskan koneksi yang diperlukan untuk mengakses sensor ADXL345 menggunakan komunikasi I2C. Pin SCL pada sensor ADXL345 dihubungkan dengan pin SCL/D1 dan SDA pada sensor ADXL345 dihubungkan dengan pin SDA/D2 yang merupakan pin I2C dari Wemos D1. Untuk mengaktifkan komunikasi I2C, pin VCC harus memiliki tegangan HIGH dengan dihubungkan ke VDD I/O dan pin GND harus memiliki tegangan LOW dengan dihubungkan ke GND. Setelah sensor *accelerometer* ADXL345 dan wemos D1 dihubungkan kemudian rangkaian dirancang secara keseluruhan.



Gambar 3.3 Rangkaian sensor *accelerometer* ADXL345.

Pada rangkaian sensor *accelerometer* ADXL345 membutuhkan pin-pin yang akan menghubungkan sensor dengan mikrokontroler yang akan digunakan. Berikut ini adalah pengalamatan pin sensor ADXL345 ke kaki Wemos D1 dalam pembuatan rangkaian sensor *accelerometer* ADXL345 yang ditunjukkan pada **Tabel 3.4**.

Tabel 3. 4 Pengalamatan Sensor ADXL345 dan Wemos D1

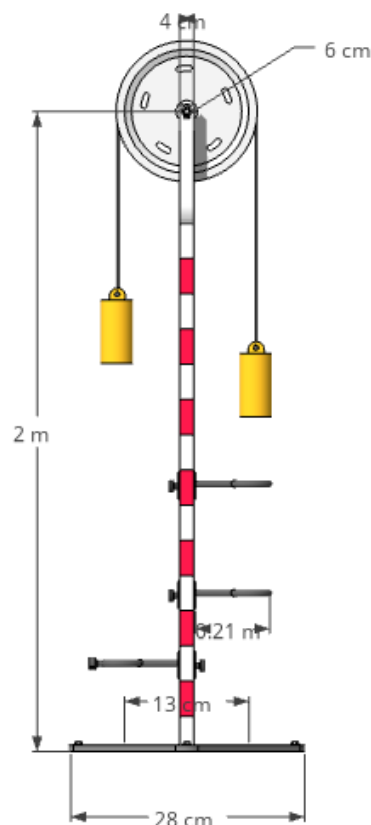
No	Pin Sensor ADXL345	Wemos D1
1	<i>Ground</i>	GND
2	3V3	3,3 V
3	SDA	SDA/D2
4	SCL	SCL/D1

3.3.3 Perancangan Rangkaian Keseluruhan

Tahap ini dilakukan perancangan alat untuk mengendalikan pesawat Atwood menggunakan sensor *accelerometer* ADXL345 dan Wemos D1 yang berbasis IoT. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pengukuran percepatan beban pada pesawat Atwood menggunakan instrumen yang telah dibuat dan digunakan sebagai pembanding pengukuran yang dilakukan secara manual. Sistem pengendalian pesawat Atwood ini terdiri dari sensor *accelerometer* ADXL345, mikrokontroler Wemos D1, dan telegram. Wemos D1 berfungsi sebagai mikrokontroler berbasis IoT yang menjadi otak atau pengendali utama dalam aplikasi berbasis IoT. Sensor

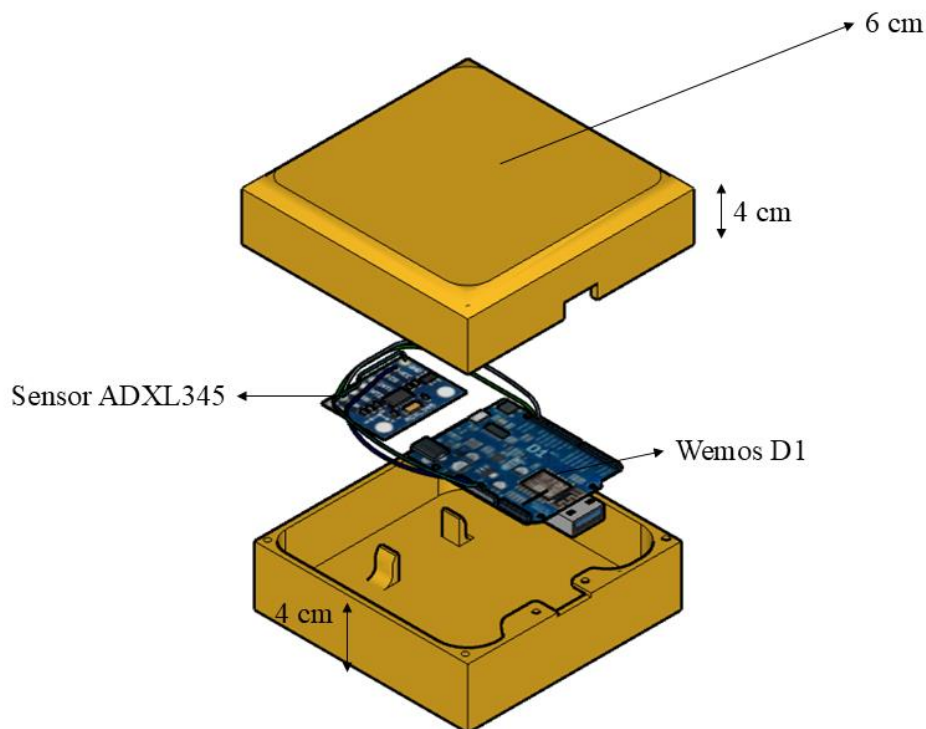
accelerometer ADXL345 digunakan untuk mengukur percepatan linier atau akselerasi pada suatu objek atau perangkat dalam tiga sumbu (X, Y dan Z). Wi-Fi berfungsi menghubungkan perangkat elektronik ke jaringan internet atau jaringan lokal tanpa kabel fisik. Wi-Fi digunakan dalam IoT untuk menghubungkan berbagai perangkat cerdas ke jaringan dan internet. Telegram digunakan untuk berbagai tujuan terkait IoT dan pengembangan proyek berbasis IoT. Telegram juga digunakan untuk membuat aplikasi berbasis IoT dengan cepat.

Dalam pengembangan alat portabel pesawat Atwood, kita harus membuat desain tampilan badan Atwood yang akan kita gunakan. **Gambar 3.4** menjelaskan tampilan pesawat Atwood dengan tinggi 2 m, lebar 4 cm, panjang 6 cm, diameter katrol 12 cm, panjang tumpuan bawah 28 cm, lebar tumpuan bawah 19 cm, panjang tumpuan atas 13 cm, dan lebar tumpuan atas 11 cm. Seperti yang telah dijelaskan pada **Gambar 3.4**.



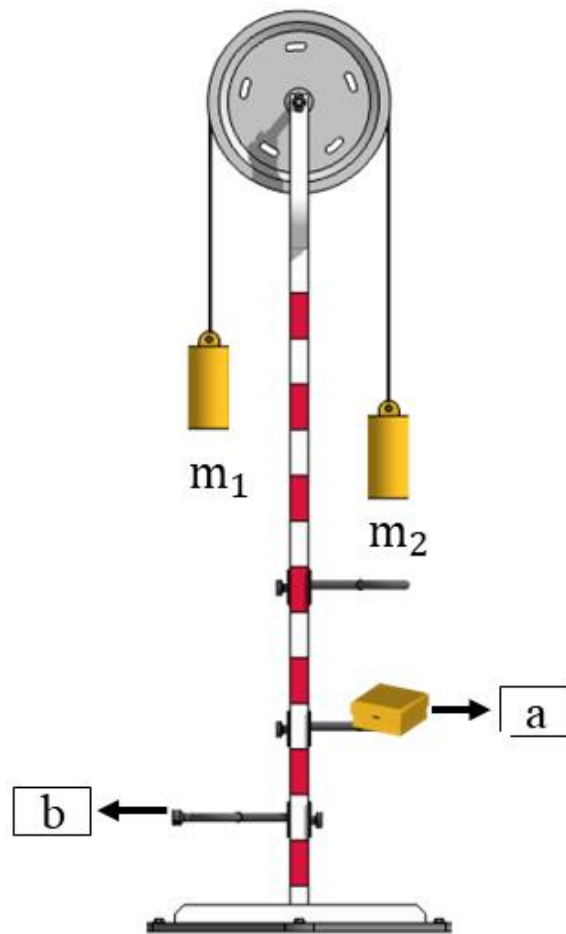
Gambar 3.4 Spesifikasi tampilan pesawat atwood.

Setelah semua rangkaian tersusun, langkah selanjutnya adalah membuat kotak yang akan digunakan untuk menyimpan seluruh komponen rangkaian yang telah dibuat dan untuk melakukan percobaan pesawat Atwood. Kotak yang akan dibuat dan digunakan ditunjukkan pada **Gambar 3.5**.



Gambar 3.5 Kotak penyimpanan rangkaian.

Gambar 3.5 mengilustrasikan kotak penyimpanan rangkaian keseluruhan yang digunakan untuk menyimpan seluruh komponen yang telah dibuat, kemudian akan diletakkan pada badan tiang pesawat Atwood. Kotak tersebut berfungsi sebagai wadah penyimpanan rangkaian keseluruhan yang akan digunakan untuk mengukur kecepatan saat beban dijatuhkan. Ketika kotak telah selesai dibuat maka kemudian menempatkannya di lintasan ke-3 yang telah disiapkan pada tiang pesawat Atwood. Penempatan kotak di lintasan ke-3 pada tiang pesawat Atwood bertujuan untuk mendeteksi kecepatan beban saat dijatuhkan dan nilai yang diukur akan dikirimkan ke PC melalui Wi-Fi yang terhubung dengan sensor yang ditempatkan di dalam kotak tersebut. **Gambar 3.6** menjelaskan tampilan keseluruhan tiang pesawat Atwood yang akan digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 3. 6 Tampilan keseluruhan dari pesawat Atwood.

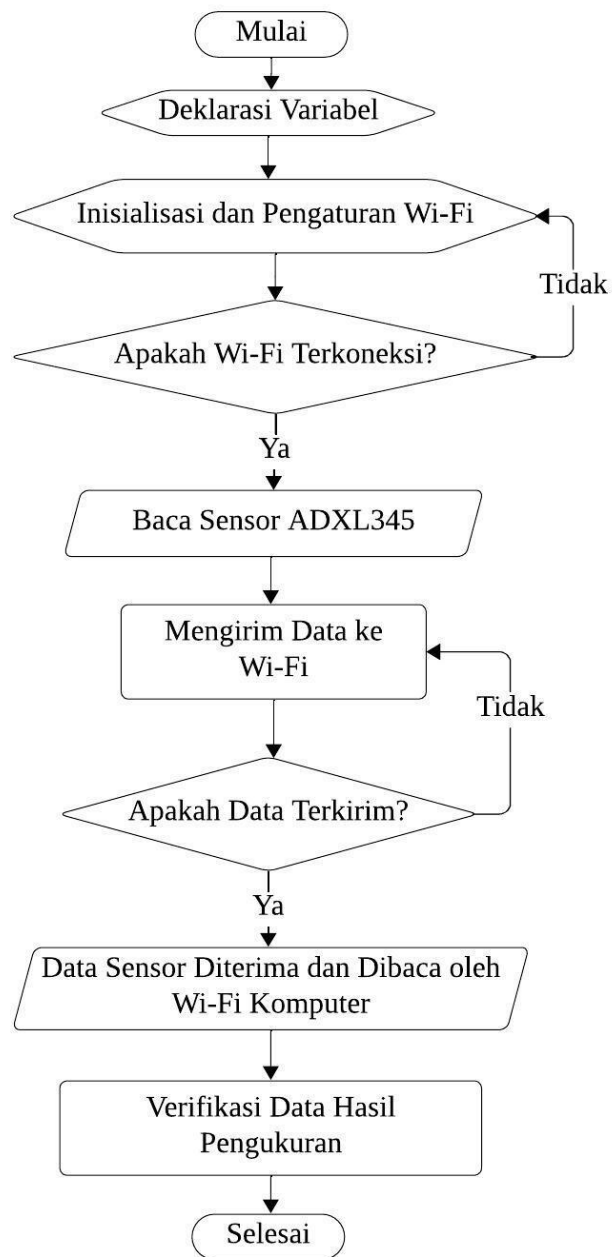
Berdasarkan **Gambar 3.6** menampilkan tampilan keseluruhan dari sistem pesawat Atwood yang digunakan dalam penelitian ini. Tampilan pada **Gambar 3.6** memiliki komponen pendukung seperti berikut ini:

- a. Sensor yang akan digunakan untuk melakukan pengukuran percepatan
- b. Lintasan pertama pada pesawat Atwood.

3.3.4 Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)

Pada penelitian ini pembuatan perangkat lunak untuk mikrokontroler Wemos D1 menggunakan *software* Arduino IDE versi 1.8.19, *software* ini menggunakan bahasa pemrograman *C++* yang mudah dipahami dan telah dilengkapi dengan

library serta contoh-contoh program didalamnya. Arduino IDE berperan dalam penulisan program, mengubah program menjadi kode biner dan mengunggah program ke dalam *memory* mikrokontroler. Perancangan *software* dimulai dengan deklarasi variabel pada tahapan ini melibatkan pengidentifikasian dan *deklarasi* variabel yang akan digunakan dalam program, *deklarasi* ini mencakup variabel untuk menyimpan nilai sensor, status koneksi Wi-Fi, dan variabel lain yang dibutuhkan. Kemudian tahap yang dilakukan selanjutnya yaitu *inisialisasi* dan pengaturan Wi-Fi yang merupakan langkah awal untuk meng*inisialisasi* modul Wi-Fi dan mengatur parameter koneksi seperti SSID dan password. Setelah *inisialisasi* dan pengaturan Wi-Fi selesai tahap yang selanjutnya yaitu program melakukan pengecekan apakah koneksi Wi-Fi telah berhasil terbentuk. Tahap selanjutnya yaitu proses pembacaan nilai dari sensor ADXL345. Pada tahap ini data sensor yang telah dibaca kemudian dikirimkan ke *server* atau *platform* melalui koneksi Wi-Fi. Tahap selanjutnya yaitu program melakukan pengecekan apakah data sensor telah berhasil terkirim. Pada tahap ini data sensor kemudian dikirim dan dibaca oleh Wi-Fi pada komputer. Tahap yang terakhir yaitu *verifikasi* data hasil pengukuran untuk memastikan *integritas* dan keakuratan hasil pengukuran. Diagram alir perancangan perangkat lunak (*software*) dapat dilihat pada **Gambar 3.7**.

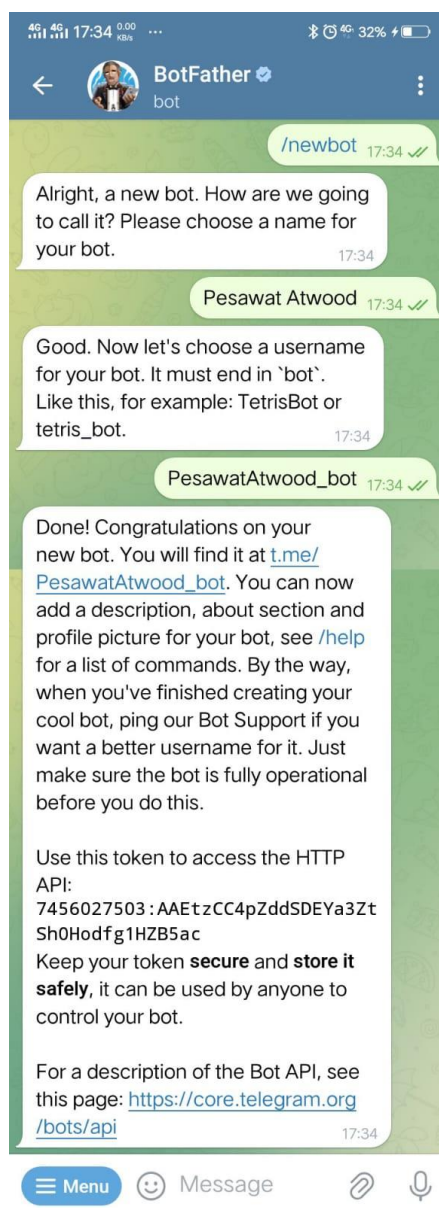


Gambar 3.7 Diagram alir perangkat lunak (*Software*).

3.3.5 Pembuatan Bot Telegram

Telegram digunakan sebagai sistem kendali dan monitoring percepatan jatuhnya beban pada pesawat Atwood yang dikirimkan oleh sensor ADXL345. Oleh karena itu, dibuat bot telegram yang dapat mempermudah pengguna dalam mengakses

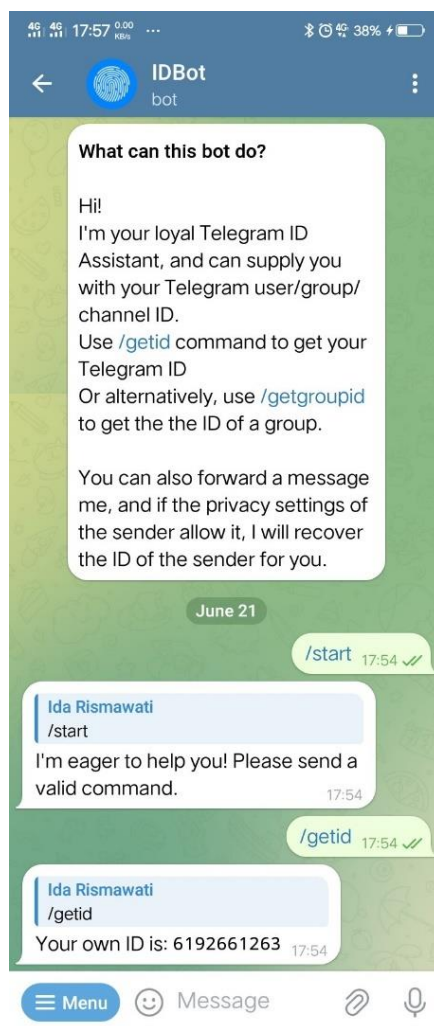
informasi dalam pengiriman data percepatan jatuhnya beban pada pesawat Atwood dimana pembuatan bot telegram ini ditunjukkan pada **Gambar 3.8**.



Gambar 3. 8 Pembuatan bot telegram.

Pembuatan bot telegram dilakukan dengan dua tahap yaitu pada tahap pertama membuat bot telegram dengan mencari pada tombol *search* pada telegram dengan menggunakan kata kunci "*Bot Father*" kemudian klik *start* atau mulai kemudian ketik "`/newbot`". Kemudian bot *father* akan mengirim pesan yang berisi instruksi untuk memasukkan nama yang akan digunakan. Masukkan nama "Pesawat Atwood" untuk membuat bot telegram. Setelah nama bot dibuat, bot *father* akan

mengirim pesan yang meminta penambahan kata "*bot*" di akhir nama. Kemudian, masukkan nama "PesawatAtwood_bot". Selanjutnya bot *father* akan mengirimkan pesan berisi *link* dan *token* bot. *Token* ini akan digunakan untuk kode program pada Arduino IDE dan *link* bot digunakan untuk mengakses bot yang telah dibuat. Tahap kedua yaitu pembuatan Id bot pada telegram seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3.9**.



Gambar 3. 9 Tampilan Id bot pada telegram.

Untuk mendapatkan Id bot, sama seperti langkah sebelumnya yaitu dengan mencari pada tombol *search* pada telegram dengan menggunakan kata kunci "Id Bot". Kemudian klik *start* atau mulai, kemudian ketik perintah "*/GetId*" dan Id bot akan mengirimkan pesan berisi Id yang akan kita gunakan kemudian Id tersebut dapat ditambahkan kedalam program Arduino IDE sebagai Id telegram bot.

3.4 Pengujian Sensor ADXL345

Pengujian pesawat Atwood dilakukan berdasarkan jarak dan massa benda. Untuk jarak panjang lintasan atau ketinggian yang digunakan yaitu 85–130 cm, sedangkan untuk pengujian massa beban tiap jarak memiliki variasi massa yang berbeda yaitu 45–90 g. Pengujian dilakukan dengan dua metode yang berbeda yaitu secara manual dan secara otomatis. Pengujian yang pertama yaitu dengan pengukuran manual menggunakan *stopwatch* untuk menghitung waktu jatuhnya beban pada pesawat Atwood, sedangkan untuk pengujian yang kedua yaitu dengan pengukuran secara otomatis dengan menggunakan instrumen yang telah dibuat. Kemudian setelah diperoleh data pengujian pesawat Atwood berdasarkan efisiensi waktu dilakukan perbandingan atau selisih dari kedua pengujian tersebut.

Tabel 3. 5 Hasil Pengujian Pesawat Atwood Pada Efisiensi Waktu

No	s (cm)	m (g)	t_1 (s)			t_2 (s)			A (%)	E (%)
			1	2	3	1	2	3		
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										

dengan m adalah massa benda (g), s adalah jarak lintasan (cm), A adalah akurasi (%), E adalah *Error* (%), t_1 adalah waktu yang diukur secara manual (ms^{-2}), dan t_2 adalah waktu yang diukur secara otomatis (ms^{-2}).

3.5 Teknik Pengambilan dan Analisis Data

Dalam penelitian ini, setelah melakukan pengujian data kemudian tahap selanjutnya yaitu mengimplementasikan sistem secara keseluruhan pada pesawat Atwood untuk mengevaluasi apakah sistem tersebut berjalan dengan baik atau tidak. Proses pengambilan data dilakukan dengan mengukur nilai percepatan gerak untuk setiap variasi massa beban. Pada penelitian ini menggunakan dua metode pengukuran yang berbeda, pertama dengan metode manual yang menggunakan alat ukur waktu (*stopwatch*) dan yang kedua dengan metode otomatis menggunakan instrumen yang telah dirancang. Pengukuran secara manual dilakukan dengan menggunakan alat ukur waktu (*stopwatch*). *Stopwatch* dihidupkan ketika benda mulai dijatuhkan kemudian dimatikan ketika benda melewati celah lubang yang telah disiapkan dan mengenai pintasan. Sedangkan untuk pengukuran secara otomatis, ketika beban dijatuhkan maka beban tersebut akan melewati celah lubang dan akan mengenai pintasan yang telah terdapat sensor dibawahnya dimana sensor tersebut sudah dipasang dibagian bawah pintasan. Ketika beban mengenai sensor, sensor tersebut secara otomatis akan mengukur percepatan dari jatuhnya beban tersebut. Hasil pengukuran dari kedua sistem ini digunakan untuk mengevaluasi kinerja sistem pesawat Atwood secara keseluruhan dan untuk memahami apakah implementasi sistem berjalan sesuai dengan yang diharapkan atau tidak. Untuk mendapatkan nilai percepatan dari pengukuran percepatan secara manual digunakan **Persamaan (3.1)**.

$$\bar{a} = \frac{2s}{t^2} \quad (3.1)$$

dengan \bar{a} adalah percepatan yang diukur secara manual (ms^{-2}), s adalah jarak yang ditempuh oleh benda (m), dan t adalah waktu yang dibutuhkan oleh benda untuk melewati celah lubang (s) (Giancoli, 2001).

Selanjutnya, untuk memudahkan analisis data maka dibuatlah tabel yang menunjukkan nilai hasil perhitungan antara percepatan otomatis dan percepatan manual terhadap variasi massa seperti pada **Tabel 3.9**.

Tabel 3. 9 Hasil Data Pengujian Pesawat Atwood Terhadap Percepatan

No	m (g)	t (s)	\mathbf{a}_1 (ms ⁻²)			\mathbf{a}_2 (ms ⁻²)			A (%)	E (%)
			1	2	3	1	2	3		
1										
2										
...										
n										

dengan m adalah massa benda (g), t adalah waktu dalam satuan sekon (s), A adalah akurasi (%), E adalah *Error* (%), \mathbf{a}_1 adalah percepatan yang diukur secara manual (ms⁻²), dan \mathbf{a}_2 adalah percepatan yang diukur secara otomatis (ms⁻²).

Data hasil pengukuran tersebut digunakan untuk menghitung persamaan *linieritas*, persentasi kesalahan (*error*), akurasi, dan presisi pengukuran tegangan keluaran ADC mikrokontroler serta besarnya percepatan sensor ADXL345 menggunakan **Persamaan (3.2), Persamaan (3.3), dan Persamaan (3.4).**

$$E = \left| \frac{Y - X_n}{Y} \right| \times 100\% \quad (3.2)$$

$$A = \left| 1 - \left| \frac{Y - X_n}{Y} \right| \right| \times 100\% \quad (3.3)$$

$$P = \left| 1 - \left| \frac{X_n - \bar{X}_n}{\bar{X}_n} \right| \right| \times 100\% \quad (3.4)$$

dengan E adalah nilai ralat (%), A adalah nilai akurasi (%), P adalah nilai presisi (%), Y adalah nilai referensi (ms⁻²), X_n adalah nilai hasil pengukuran (ms⁻²), \bar{X}_n adalah nilai rata-rata hasil pengukuran (ms⁻²) (Giancoli, 2001).

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Penerapan cara kerja dan pengaplikasian pengukuran percepatan beban pada pesawat Atwood berbasis IoT dilakukan dengan menggunakan sensor ADXL345 yang terhubung ke modul Wemos D1. Modul ini berfungsi sebagai penghubung antara sensor dan sistem pemantauan yang berbasis internet. Data percepatan yang diperoleh kemudian dikirimkan ke bot telegram melalui jaringan Wi-Fi dan monitoring secara *real-time*.
2. Pengukuran percepatan beban pada pesawat Atwood menggunakan instrumen yang telah dibuat menunjukkan bahwa sistem berbasis ADXL345 dan Wemos D1 mampu mendeteksi dan mengukur percepatan dengan akurat. Untuk pengukuran percepatan pada pesawat Atwood secara manual diperoleh nilai sebesar $0,218 \text{ ms}^{-2}$ sedangkan untuk pengukuran percepatan secara otomatis diperoleh nilai sebesar $0,238 \text{ ms}^{-2}$. Hasil pengukuran percepatan beban secara otomatis memiliki selisih nilai yang kecil dengan nilai percepatan manual. Hal ini dibuktikan dengan nilai rata-rata *error* sebesar 8,72% dan nilai rata-rata akurasi pengukuran sebesar 92%.
3. Kinerja sistem monitoring menggunakan bot telegram menunjukkan hasil yang baik dalam hal pemantauan dan pengiriman data percepatan dari pesawat Atwood secara *real-time*. Sistem ini memberikan notifikasi langsung untuk menerima perubahan percepatan yang terdeteksi oleh sensor ADXL345.

5.2 Saran

Untuk penelitian Rancang Bangun Pesawat Atwood Menggunakan Sensor *Analog Devices Accelerometer 3-Axis Digital (ADXL345)* Dan Wemos D1 Berbasis *Internet of Things (IoT)* telah berhasil dibuat. Saran yang dapat ditambahkan untuk penelitian selanjutnya yaitu memanfaatkan *aplikasi mobile* dan *website* terbaru yang dapat menampilkan fitur-fitur seperti kalibrasi sensor secara otomatis, pemantauan perubahan percepatan dan perubahan waktu secara *real-time* dalam tampilan *display*.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrilla, D. S., Tambunan, W., dan Sugianto. (2014). Rancang Bangun Rangkaian Timer Otomatis Pesawat Atwood. *Jurnal Pendidikan Mahasiswa Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 1(2), 1-6.
- Ariska, M. (2019). Penyelesaian Dinamika Pesawat Atwood Dengan Persamaan Euler-Lagrange Sebagai Alternatif Persamaan Newton Pada Fisika SMA. *Jurnal Inovasi dan Pembelajaran Fisika*, 6(1), 62-69.
- Akhlis, I., Sunarno dan Santoso. (2016). Rancang Bangun Pencatat Selang Waktu Otomatis Dengan Menggunakan Sensor Peka Cahaya Untuk Pesawat Atwood. *Integrated Lab Journal*, 4(1), 45-56.
- Anggi. (2022). *Digital Accelerometer Data Sheet 345*, 2-36. <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADXL345.pdf>, 10 Maret 2022.
- Astro, R., B., Ratnaningsih, F., dan Asmarani, R. (2018). Penentuan Momen Inersia Katrol Pada Pesawat Atwood dengan Metode Video Tracking. *Jurnal Prosiding SNIPS*, 1(2), 32-39.
- Bueche, F., J. (1989). *Fisika Edisi 8*. Erlangga. Jakarta. 30-35.
- Djafar, A., Kentjana, M. G., Kristiyanto, R., dan Afudin, Y. (2021). Rancang Bangun Automatic Hand Washing Station Dengan Menggunakan Mikrokontrolller Arduino Uno R3. *EduMatSains Jurnal Pendidikan, Matematika dan Sains*, 6(1), 175-186.
- Dina. (2020). *Technical Reference ESP8266*, 10-117. https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp8266-technical_reference_en.pdf, 10 Juli 2020.
- Earl, B. (2024). *ADXL345 Digital Accelerometer*. <https://learn.adafruit.com/adxl345-digital-accelerometer>. 03 Juli 2024.
- Endarko, Muntini, M., S., Prasetyo, L., dan Faisal, H. (2008). *Fisika Jilid 1*. LPP Unismuh Makassar. Makassar. 56-76.

- Elias, G. F., Makahinda, T., dan Lolowang, J. (2022). Rancang Bangun Alat Timer Otomatis Pesawat Atwood Berbasis Arduino. *Charm Sains: Jurnal Pendidikan Fisika*, 3(1), 19–23.
- Fajri, S., A., dan Nasution, I., N., (2016). Aplikasi Menggambar Teknik Bangunan dengan Menggunakan Metode Manual dan Digital. *Jurnal Education Buuilding*, 2(1), 30-40.
- Giancoli, D., C. (2001). *Fisika Jilid 1*. Erlangga. Jakarta. 15-20.
- Harefa, A., R. (2019). Peran Ilmu Fisika Dalam Kehidupan Sehari-Hari. *Jurnal Warta*, 1(2), 1-10.
- Hermawan, W. (2020). Rancang Bangun Pengukur Percepatan Beban Pada Pesawat Atwood Berbasis Sensor *Accelerometer* MMA7361L Menggunakan Mikrokontroler ATMEGA328P. (*Skripsi*), Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
- Iswara, R., F., Nasution, M., I., dan Nazaruddin, N. (2022). Prototipe Smart Home dengan Internet of Things (IoT) Berbasis Wemos D1 Mini. *Journal of Islamic Science and Technology*, 7(2), 83-92.
- Jefiza, A., dan Novianas, H. (2020). Optimasi Pesawat Atwood Menggunakan Sensor Light Dependent Resistor (LDR). *Journal of Applied Sciences, Electrical Engineering and Computer Technology*, 1(2), 19-25.
- Khobariah, N. F., Hermawan, P. D. S., dan Kusumadiarti, R. S. (2022). Sistem Monitoring Suhu dan Kelembapan Ruang Server Berbasis Wemos D1. *Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Informatika*, 7(1), 32-42.
- Kranz, M. (2016). *Building the internet of things: Implement new business models, disrupt competitors, transform your industry*, John Wiley & Sons, 2-36.
- Louis, L. (2016). Working Principle of Arduino and Using IT as A Tool For Study and Research. *International Journal of Control, Automation, Communication and Systems (IJACS)*, 1(2), 1-10.
- Malik, A., Utami, N. F., Rizaldi, M. F., Sarah, S., Nursetia, S., Mauli, T., Rochman, C., and Mulhayatiah, D. (2021). Development of An Atwood Aircraft Practicum Tool Based on Automatic Timers To Explain Newton's Second Law. *Journal of Physics: Conference Series*, 1869(1), 1-9.
- Nasukha, T. Z., Kuncoro, A. H. B., Rahmawati, D., dan Zhafira, T. (2023). Pelatihan Dasar Software SketchUp Kepada Remaja RT.04 RW.01 Desa Pepe Kecamatan Tegowanu Kabupaten Grobogan. *Jurnal Pengabdian Kolaboratif*, 1(2), 1-8.

- Nugraha, F., Wulansari, R., Danika, I., Nurafiah, N., Lathifah, A., S., Sholihat, F., N., Susanti, H., Nugraha, M., G., dan Kirana, K., H. (2017). Eksperimen Pesawat Atwood Berbasis Pengolahan Aplikasi *Tracker* Untuk Mengamati Fenomena Gerak Lurus Beraturan dan Gerak Lurus Berubah Beraturan pada Pembelajaran Fisika SMA. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal)*, 6(1), 1-6.
- Putri, D. A., and Saraswati, D. L. (2018). Architecture of Atwood Machine Props with Sensor-Based Passive Infrared. *Indonesian Review of Physics*, 1(1), 15-18.
- Rahmadhani, F., dan Wahid, M., A. (2018). Eksperimen Menghitung Momen Inersia dalam Pesawat Atwood Menggunakan Katrol dengan Penambahan Massa Beban. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Fisika Terapa*, 4(2), 11-15.
- Raj and Raman. (2017). *The Internet of Things Enabling Technologies, Platform, and Use Cases*. Auerbach Book. Francis, 34-43.
- Resnick, R., and Holiday, D. (2011). *Fundamentals of Physics*. Printed in the United States of America. Cleveland State University, 127-130.
- Ridho, R. M., Ajidewantara, B., dan Nurdiyanti. (2020). Analisis Korelasi Kecepatan dan Percepatan Saat Gerak Lurus Menggunakan Pesawat Atwood Berbasis Arduino Dengan Sensor Logam. *Seminar Nasional Fisika*, 2(1), 57-61.
- Ritonga, A., F., Wahyu, S., dan Purnomo, F., O. (2020). Implementasi Internet of Things (IoT) untuk Meningkatkan Kompetensi Siswa SMK Jakarta 1. *Jurnal Sains, Teknologi, Sosial, Pendidikan, dan Bahasa*, 5(1), 1-8.
- Rohman, A. Z., dan Djuniadi (2015). Rancang Bangun Alat Ukur Getaran Menggunakan Sensor *Micro Electro Mechanical System (Mems) Akselerometer*. *Edu ElektriKa Journal*, 4(1), 8-16.
- Tipler, P., A. (1998). *Fisika Untuk Sains dan Teknik Edisi 3 Jilid 1*. Erlangga. Jakarta. 120-130.
- Wahyu, P., Binangkit, A., Utama, G., P., dan Kusumaningsih, D. (2023). Sistem Kendali Pintu Menggunakan Fingerprint dan Wemos D1 R2 Pada Pt. Envision. *Jurnal Budiluhur*, 15(1), 1-11.
- Wahyudi, S., Robbi, M. I. A., dan Wahyudin. (2015). Visualisasi Masjid Agung Rangkasbitung Berbasis 3D Dengan Menggunakan Google Sketchup & After Effect. *Jurnal Pengembangan Riset dan Observasi Rekayasa Sistem Komputer*, 2(2), 62-68.
- Wellem, T., dan Prokoso, A., D. (2022). Perancangan dan Implementasi Sistem Pemantauan Kualitas Udara berbasis IoT menggunakan Wemos D1 Mini dan Android. *Building of Informatics, Technology and Science (BITS)*, 4(3), 1246-1254.