



**PROTOTIPE PENGUKUR PERCEPATAN
GRAVITASI LOKAL DENGAN METODE GERAK
JATUH BEBAS UNTUK KALIBRASI ALAT UKUR
GAYA**

SKRIPSI

Skripsi diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar sarjana



Disusun Oleh:

Nama : Endang Priyatna
NIM : 092023090413

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK & ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS GLOBAL JAKARTA
2025**

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Endang Priyatna
NIM : 092023090413
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Prototipe Pengukur Percepatan Gravitasi Lokal
Menggunakan Metode Gerak Jatuh Bebas untuk
Kalibrasi Alat Ukur Gaya

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik & Ilmu Komputer, Universitas Global Jakarta.

DEWAN PEMBIMBING

Pembimbing 1 : Arisa Olivia Putri S.ST., M.IT

Pembimbing 2 : Arie Jaenul, S.Pd., M.Sc.Eng

Mengetahui,

Ketua Program Studi : Brainvendra Widi Dionova, S.ST., M.Sc.Eng ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 29 Juli 2025

HALAMAN PENGESAHAN DEWAN PENGUJI

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Endang Priyatna
NIM : 092023090413
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Prototipe Pengukur Percepatan Gravitasi Lokal
Menggunakan Metode Gerak Jatuh Bebas untuk
Kalibrasi Alat Ukur Gaya

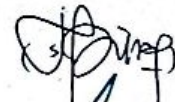
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik & Ilmu Komputer, Universitas Global Jakarta.

DEWAN PENGUJI

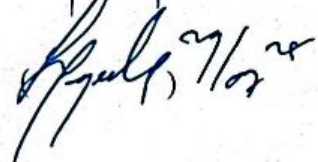
Penguji 1 : Devan Junesco Vresdian, S.ST., M.Sc.Eng



Penguji 2 : Sinka Wilyanti, ST., MT



Penguji 3 : Legenda Prameswono Pratama, S.S.T., M.Sc.Eng



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 29 Juli 2025

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai mahasiswa Universitas Global Jakarta, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Endang Priyatna
NIM : 092023090413
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik dan Ilmu Komputer
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Global Jakarta **Hak Bebas Royalti Non-eksklusif** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Prototipe Pengukur Percepatan Gravitasi Lokal Menggunakan Metode Gerak Jatuh Bebas untuk Kalibrasi Alat Ukur Gaya

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Royalti Noneksklusif ini Universitas Global Jakarta berhak menyimpan, mengalih-media-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada Tanggal : 30 Juni 2025

Jakan,

METERAL
TEMPEL
2EAMX405410355
Endang Priyatna

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Depok, 30 Juni 2025
Mahasiswa,



Endang Priyatna
NIM. 092023090413

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga saya dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “Prototipe Pengukur Percepatan Gravitasi Lokal Menggunakan Metode Gerak Jatuh Bebas untuk Kalibrasi Alat Ukur Gaya”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat dalam menyelesaikan studi pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Global Jakarta.

Saya menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak lepas dari dorongan, arahan, serta bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini, saya ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Brainvendra Widi Dionova, S.ST., M.Sc.Eng., selaku Wali Dosen sekaligus Kepala Program Studi Teknik Elektro yang telah memberikan dukungan dan arahan selama masa studi;
2. Ibu Arisa Olivia Putri, S.ST., M.IT., selaku Dosen Pembimbing I yang dengan sabar membimbing dan memberikan masukan berharga dalam penyusunan skripsi ini;
3. Bapak Arie Jaenul, S.Pd., M.Sc.Eng., selaku Dosen Pembimbing II yang turut membimbing serta memberikan saran dan koreksi demi kesempurnaan karya ini;
4. Orang tua dan keluarga tercinta yang selalu memberikan doa dan dukungan moril hingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik;
5. Seluruh sahabat dan rekan seperjuangan yang senantiasa memberi dukungan dan motivasi selama proses ini;
6. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini, baik secara langsung maupun tidak langsung, yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.

Saya menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat kekurangan dan kesalahan. Oleh karena itu, saya sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penyempurnaan karya ini.

Akhir kata, saya berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat, khususnya bagi saya sendiri dan pembaca pada umumnya.

Depok, 30 Juni 2025
Endang Priyatna

ABSTRAK

Nilai percepatan gravitasi lokal merupakan parameter penting dalam kalibrasi alat ukur gaya, khususnya untuk memastikan konversi massa ke satuan Newton (N) secara akurat. Namun, laboratorium kalibrasi sering mengalami keterbatasan akses terhadap nilai gravitasi lokal yang tepat di lokasi pengukuran, sehingga dibutuhkan alat ukur yang dapat memberikan pengukuran gravitasi secara langsung dan akurat.

Penelitian ini mengembangkan prototipe alat ukur percepatan gravitasi berbasis sensor *infrared obstacle avoidance* ganda dengan tampilan hasil pengukuran secara *real-time* pada layar LCD dan aplikasi *Blynk*. Prototipe dirancang menggunakan *enclosure* vakum yang dihubungkan dengan pompa udara untuk meminimalkan gangguan lingkungan dan menggunakan modul HX711 untuk pengukuran sinyal sensor secara presisi. Pengembangan mengikuti metode ADDIE meliputi analisis kebutuhan, perancangan, pembuatan, implementasi, dan evaluasi. Validasi dilakukan dengan metode ASTM E4-21 dan metode Gerak Jatuh Bebas manual menggunakan *stopwatch*, serta pengujian pada lima lokasi di wilayah Jabodetabek.

Hasil pengukuran menunjukkan nilai percepatan gravitasi lokal antara $9,77179 \text{ m/s}^2$ hingga $9,77971 \text{ m/s}^2$, dengan galat absolut rata-rata $0,00087 \text{ m/s}^2$ terhadap nilai referensi. Data ini membuktikan prototipe memiliki performa stabil dan akurat serta memudahkan akses pengukuran melalui aplikasi digital. Alat ini layak digunakan sebagai solusi dalam mendukung akurasi kalibrasi alat ukur gaya di laboratorium.

Kata Kunci : Percepatan gravitasi lokal, kalibrasi gaya, ASTM E4-21, *enclosure* vakum, Gerak Jatuh Bebas

ABSTRACT

Local gravitational acceleration is a key parameter in force calibration, ensuring accurate conversion from mass to Newton (N). However, calibration laboratories often face limited access to accurate local gravity values at measurement sites, necessitating a measurement device capable of providing direct and precise gravity readings.

This study presents the development of a local gravity measurement prototype using the free-fall method within real-time display of measurement results on an LCD screen and Blynk application. The prototype is designed with a vacuum enclosure connected to an air pump to minimize environmental interference, and employs the HX711 module for precise sensor signal acquisition. Development follows the ADDIE method, including needs analysis, design, construction, implementation, and evaluation. Validation is performed using ASTM E4-21 and manual Free fall (GJB) methods with a stopwatch, and tests were conducted at five locations in the Greater Jakarta area.

Measurement results show local gravitational acceleration values ranging from 9.77179 m/s² to 9.77971 m/s², with an average absolute error of 0.00087 m/s² relative to reference values. These data demonstrate that the prototype offers stable and accurate performance, while facilitating easy access to measurements via a digital application. This device is a viable solution to support the accuracy of force measurement calibration in laboratories.

Keywords: *Local gravitational acceleration, force calibration, ASTM E4-21, vacuum enclosure, Free fall method*

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN DEWAN PENGUJI.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	iv
PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
HALAMAN MOTTO	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR RUMUS	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	6
2.1 Tinjauan Pustaka.....	6
2.2 Landasan Teori.....	9
2.2.1 Percepatan Gravitasi	9
2.2.2 Metode Pengukuran Percepatan Gravitasi.....	11
2.2.3 Kalibrasi.....	15

2.2.4 Komponen Elektronika.....	23
BAB III METODOLOGI	30
3.1 Pendekatan Penelitian.....	30
3.2 Lokasi Penelitian.....	31
3.3 Metode Penelitian	32
3.3.1 Analisis (<i>Analysis</i>).....	32
3.3.2 Perancangan (<i>Design</i>).....	35
3.3.3 Pengembangan (<i>Development</i>).....	45
3.3.4 Implementasi (<i>Implementation</i>)	45
3.3.5 Evaluasi (<i>Evaluation</i>)	52
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	55
4.1 Hasil Prototipe	55
4.2 Hasil Pengujian	57
4.2.1 Kalibrasi Sensor dan Verifikasi Awal.....	57
4.2.2 Implementasi dan Pengujian Prototipe di Lokasi Uji.....	65
4.2.3 Validasi dan Perbandingan dengan Standar	66
4.2.4 Uji Kelayakan.....	73
4.2.5 Pengaplikasian Sistem terhadap Variasi Massa	73
BAB V PENUTUP.....	77
5.1 Kesimpulan.....	77
5.2 Saran	78
DAFTAR PUSTAKA	79
LAMPIRAN.....	85

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kalibrasi alat ukur gaya memiliki peran penting dalam menjamin akurasi dan konsistensi hasil pengukuran di berbagai industri. Menurut *National Institute of Standards and Technology* (NIST), kalibrasi alat ukur gaya diperlukan untuk memastikan bahwa pengukuran memenuhi standar akurasi yang tinggi, yang sangat dibutuhkan dalam sektor manufaktur dan kesehatan yang memerlukan hasil pengujian yang presisi dan dapat diandalkan (Butcher *et al.*, 2023). Dalam proses kalibrasi, percepatan gravitasi lokal menjadi salah satu parameter utama karena digunakan sebagai dasar perhitungan gaya dengan massa standar.

Percepatan gravitasi lokal memegang peran krusial dalam kalibrasi alat ukur gaya, terutama saat menggunakan massa standar. Sesuai dengan ASTM E4-09: *American Society for Testing and Materials, Standard Guide for Force Verification and Calibration*, kalibrasi gaya dilakukan berdasarkan hasil kali antara massa standar yang terkalibrasi dengan percepatan gravitasi lokal di lokasi pengukuran. Karena gravitasi bervariasi di setiap lokasi, nilai lokalnya harus diperoleh secara tepat untuk memastikan akurasi hasil kalibrasi yang diperlukan dalam industri atau aplikasi teknis lainnya.

Namun, penentuan percepatan gravitasi lokal dalam kalibrasi alat ukur gaya menghadapi berbagai tantangan akibat variabilitas gravitasi yang dipengaruhi oleh faktor geografis, ketinggian, dan kondisi geologi. Metode yang umum digunakan, seperti estimasi langsung atau perhitungan berdasarkan data wilayah, sering kali tidak memberikan hasil yang akurat untuk lokasi spesifik. Ketidakakuratan ini mendorong penggunaan nilai gravitasi standar internasional atau model gravitasi global sebagai alternatif. Namun, meskipun lebih praktis, kedua pendekatan tersebut masih dapat menghasilkan perbedaan dalam perhitungan gaya, yang berpotensi memengaruhi keandalan pengukuran, terutama dalam aplikasi yang membutuhkan tingkat akurasi tinggi (Khairani, 2018).

Penelitian yang dilakukan oleh (Suwanpayak *et al.*, 2018) mengenai perbandingan metode pengukuran percepatan gravitasi menunjukkan bahwa sistem Gerak Jatuh Bebas (GJB) memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan metode lain seperti pendulum sederhana, pendulum fisik, dan mesin *Atwood*. Meskipun tidak selalu memberikan akurasi tertinggi, GJB terbukti lebih unggul dalam hal ketepatan dan konsistensi pengukuran dibandingkan dengan metode lainnya. Namun, sistem ini masih memiliki keterbatasan, khususnya pada proses pembacaan hasil yang masih dilakukan secara manual, sehingga kurang sesuai untuk diterapkan di lingkungan laboratorium yang membutuhkan kecepatan dan otomasi dalam pengambilan data. Selain itu, sistem ini belum dilengkapi dengan integrasi *Internet of things* (IoT) untuk memudahkan pengambilan data secara otomatis dan *real-time*.

Sementara itu, dalam penelitian berjudul "*Determination of Free falling Acceleration Gravity by Using Simulations and Practical Methods*" oleh (Bu Sinnah & Muhammed, 2022), konstruksi alat yang kokoh dan penggunaan *steel ball* dalam sistem GJB menunjukkan kualitas yang baik. Peletakan sensor yang sesuai juga mendukung pengukuran waktu yang lebih akurat. Namun, hasil pengukuran yang diperoleh masih menunjukkan tingkat akurasi yang rendah, menjadikan sistem ini belum memadai untuk kalibrasi di laboratorium yang memerlukan akurasi tinggi. Peningkatan akurasi diperlukan untuk aplikasi kalibrasi alat ukur gaya di laboratorium.

Di sisi lain, dalam penelitian yang dilakukan oleh (Deri Futra *et al.*, 2022), sistem Gerak Jatuh Bebas dengan sensor *Infrared obstacle avoidance* dikembangkan untuk mengurangi gangguan lingkungan, dengan memanfaatkan *enclosure* untuk mengontrol faktor eksternal seperti gesekan udara. Sistem ini menggunakan sensor *infrared* untuk mendeteksi waktu jatuh benda pada berbagai ketinggian, yang kemudian dianalisis untuk menentukan hubungan antara ketinggian dan waktu. Namun, kelemahan dari sistem ini terletak pada desain alat yang kurang kokoh dan sulit untuk dipindahkan, serta *enclosure* yang belum dilengkapi dengan sistem vakum untuk meminimalkan gangguan udara, membatasi fleksibilitas penggunaan dan penerapan alat ini di lapangan.

Untuk mengatasi keterbatasan yang ditemukan pada penelitian-penelitian sebelumnya, diharapkan dapat dikembangkan prototipe alat pengukur percepatan gravitasi yang lebih praktis dan akurat. Dengan menggabungkan elemen-elemen dari sistem GJB, pembacaan digital dan integrasi IoT, alat ini memungkinkan pengambilan data secara otomatis dan *real-time*. Selain itu, desain alat yang kokoh serta penggunaan *enclosure* yang dilengkapi sistem vakum untuk meminimalkan gangguan udara diharapkan dapat meningkatkan akurasi pengukuran percepatan gravitasi. Dengan demikian, prototipe ini dapat menjadi solusi yang tepat guna untuk mendukung proses kalibrasi alat ukur gaya di laboratorium, khususnya dalam memenuhi kebutuhan akurasi tinggi dan kemudahan operasional.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang dapat didefinisikan dalam penelitian ini diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang prototipe yang mampu mengukur percepatan gravitasi lokal dan dapat digunakan di berbagai lokasi kalibrasi dengan tetap menjaga presisi data pengukuran?
2. Bagaimana proses implementasi dan prosedur pengujian prototipe percepatan gravitasi lokal untuk memastikan kinerja yang dapat diandalkan?
3. Bagaimana memastikan bahwa data percepatan gravitasi lokal yang dihasilkan oleh prototipe alat ukur memiliki akurasi yang baik dan dapat divalidasi dengan metode manual dan perhitungan ASTM E4-21, serta uji kelayakan oleh personel kalibrasi gaya?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian antara lain :

1. Merancang dan mengembangkan prototipe alat ukur percepatan gravitasi lokal yang dapat digunakan di berbagai lokasi kalibrasi sambil menjaga presisi data pengukuran.

2. Melaksanakan proses implementasi dan prosedur pengujian untuk memastikan kinerja prototipe percepatan gravitasi lokal yang konsisten dan dapat diandalkan.
3. Memastikan akurasi data percepatan gravitasi lokal yang dihasilkan oleh alat ukur melalui validasi dengan metode manual dan perhitungan ASTM E4-21, serta uji kelayakan oleh personel kalibrasi gaya.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain :

1. Menghasilkan prototipe alat ukur percepatan gravitasi lokal yang dapat digunakan di berbagai lokasi kalibrasi, dengan kemampuan untuk menjaga presisi data pengukuran.
2. Memberikan panduan implementasi serta prosedur pengujian yang dapat menjamin kinerja prototipe percepatan gravitasi lokal sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.
3. Meningkatkan akurasi pengukuran percepatan gravitasi lokal melalui validasi dengan metode manual dan perhitungan ASTM E4-21, serta uji kelayakan oleh personel kalibrasi gaya untuk memastikan keandalan dan konsistensi hasil pengukuran.

1.5 Batasan Penelitian

Berikut adalah batasan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini:

1. Penelitian ini hanya mencakup pengembangan alat ukur gravitasi yang dirancang khusus untuk digunakan dalam kalibrasi di bidang gaya.
2. Penelitian ini menggunakan standar massa dengan jenis *hook weight* kelas M1 dengan kapasitas 100, 200, 500 dan 800 gram sebagai media pengambilan nilai gaya.
3. Proses pembandingan menggunakan metode manual GJB serta perhitungan sesuai ASTM E4-21 untuk memastikan akurasi hasil pengukuran.
4. Area pengukuran mencakup wilayah Jakarta, Kota Tangerang Selatan, Kabupaten Tangerang, Kabupaten Bekasi, dan Kabupaten Bogor.

5. Alat ini menggunakan prinsip gerak jatuh bebas untuk pengukuran percepatan gravitasi.
6. Alat ukur gaya yang digunakan dalam pengambilan data yaitu *pull test* dengan sistem *spring*.
7. Proses pengujian dibatasi hingga tahap perolehan nilai percepatan gravitasi lokal dan penginputan massa standar untuk memperoleh nilai gaya sebagai hasil akhir pengukuran.
8. Prototipe ini memerlukan koneksi internet yang didukung oleh modul WiFi ESP8266 sebagai media integrasi untuk proses monitoring dan akses ke aplikasi *Blynk*

DAFTAR PUSTAKA

- Afifah, D. N., Yulianawati, D., Agustina, N., Dewi, R., Lestari, S., & Nugraha, G. (2015). Metode Sederhana Menentukan Percepatan Gravitasi Bumi Menggunakan Aplikasi Tracker Pada Gerak Parabola Sebagai Media dalam Pembelajaran Fisika Sma. *Prosiding Simposium Nasional Inovasi Dan Pembelajaran Sains 2015 (SNIPS)*.
- Anni, M. (2021). Quantitative comparison between the *smartphone* based experiments for the gravity acceleration measurement at home. *Education Sciences*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/educsci11090493>
- Artiyasa, M. (2020). Aplikasi Smart Home Node MCU IOT untuk *Blynk*. *Jurnal Rekayasa Teknologi Nusa Putra*, 7.
- ASTM. (2021). *ASTM E4-21 : Standard Practices for Force Verification of Testing Machines*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/E0004-21>
- Aulia, M. R., Zannah, N., Zakiah, S., Darajat, A., Atmojo, T., & Karina, W. (2018). Osilasi Tereadam Pada Pegas Dengan Medium Fluida. *JoTaLP: Journal of Teaching and Learning Physics*, 3, 22–26. <https://doi.org/10.15575/jtlp.v3i1.65479>
- Blakely, R. (1995). *Potential Theory In Gravity And Magnetic Applications*. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511549816>
- BMKG. (2024). *Jaringan Titik Dasar Gaya Berat*.
- BSN. (2021). *Laporan Kinerja Badan Standardisasi Nasional*.
- Bu Sinnah, Z. A., & Muhammed, S. (2022). *Determination of free falling Acceleration Gravity by using Simulations and Practical Methods*. *Arab Journal for Scientific Publishing (AJSP) ISSN:*
- Butcher, T. G., Sefcik, D. A., Warfield, L., Bowers, S., & Lippa, K. A. (2023). *NIST Handbook - NIST HB 130-2023 : Uniform laws and regulations in the areas of legal metrology and fuel quality*. <https://doi.org/10.6028/NIST.HB.130-2023>
- Delti, G. (2022). Efektivitas Praktikum Percepatan Gravitasi di Laboratorium Fisika. In *JOURNAL OF LABORATORY ISSN* (Vol. 5, Issue 2). Online.

- Deri Futra, A., Hardian Mulyadi, I., Mahdaliza, R., Azwar, A., & Budiana, B. (2022). Pemodelan Gerak Jatuh Bebas dengan menggunakan *Infrared obstacle avoidance* Sensor. *Jurnal ASEECT*, 3(1).
- Djuandi, F. (2011). *Pengenalan Arduino*. Tobuku
- Faller, J. E. (2005). The Measurement of Little g: A Fertile Ground for Precision Measurement Science. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, 110. <https://doi.org/110.559-581>
- Fayanto, S. (2016). Penentuan Percepatan Gravitasi Bumi Dan Penentuan Konstanta Pegas Dengan Metode Gerak Osilasi Pada Pegas. *Jurnal Praktikum Mekanika Analitik*.
- Firdaus, T., Erwin, E., & Rosmiati, R. (2019). Eksperimen Mandiri Siswa dalam Penentuan Percepatan Gravitasi Bumi pada Materi Gerak Jatuh Bebas. *Titian Ilmu: Jurnal Ilmiah Multi Sciences*, 11(1), 31–36. <https://doi.org/10.30599/jti.v11i1.385>
- Giancoli. (2001). *Fisika/Edisi Kelima* (H. Wibi, Ed.; 5th ed.). Erlangga.
- Hanadya, E. F. S. T., M. Eng., Ph. D.; H. A. N. S. T., M. E., Ph. D. (2017). *Protokol Komunikasi Astm Pada Alat Automated Clinical Analyzer Tms50I Superior*. 14.
- Harnsoongnoen, S., Srisai, S., Kongkeaw, P., & Rakdee, T. (2024). Improved Accuracy in Determining the Acceleration Due to Gravity in *Free fall* Experiments Using *Smartphones* and Mechanical Switches. *Applied Sciences (Switzerland)*, 14(6). <https://doi.org/10.3390/app14062632>
- IECEE. (2016). *IECEE OD-5014: Operational document* (Edition 1.0, 2016-06-01). IEC System of Conformity Assessment Schemes for Electrotechnical Equipment and Components (IECEE System), Committee of Testing Laboratories (CTL). <https://www.iecee.org>
- Indra, H., Mosey, R., & Lumi, B. M. (2016). *Penentuan Percepatan Gravitasi Lokal Di Universitas Sam Ratulangi Manado Berdasarkan Teori Getaran Harmonik*.

- Irsan, M. (2015). Rancang Bangun Aplikasi *Mobile* Notifikasi Berbasis Android Untuk Mendukung Kinerja Di Instansi Pemerintahan. *Jurnal Penelitian Teknik Informatika*, 1(1), 115–120.
- Islam, M. R. (2018). Sample size and its role in Central Limit Theorem (CLT). *International Journal of Physics & Mathematics*, 1(1), 37-47. <https://doi.org/10.31295/ijpm.v1n1.42>
- ISO 7500-1. (2018). *Metallic materials-Calibration and verification of static Uniaxial Testing Machines-Part 1: Tension/compression testing machines-Calibration and verification of the force-measuring system*.
- JCGM GUM-6. (2020). *JCGM GUM-6:2020 Guide to the expression of uncertainty in measurement-Part 6: Developing and using measurement models "Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure-Partie 6: Élaboration et utilisation des modèles de mesure"* (JCGM GUM-6:2020).
- KAN. (2004). *SR-05 Persyaratan Tambahan untuk Akreditasi Laboratorium Kalibrasi*.
- KAN K-02 Persyaratan Khusus Laboratorium Kalibrasi, KAN K-02 Rev.1 (2020).
- Khairani, Y. (2018a). *Fisika Mekanika*.
- Kittiravechote, A., & Sujarittham, T. (2020). Measuring the Acceleration of Gravity Using a *Smartphone*, A4-Papers, and a Pencil. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 29(7s), 328.
- Lay, T., & Wallace, T. C. (1969). Of Zeros and Poles. *Fundamentals of Digital Seismology*. In *Modern Approaches in Geophysics* (Vol. 59, Issue 1969). Kluwer Academic Publishers.
- Mamoliyus Bara, F., Mako, M. I., Eku, A., Pau, M. A., Fisika, P., Flores, U., Sam, J., & Ende, R. (2021). Analisis Percepatan Gravitasi Menggunakan Aplikasi Phyphox Pada Gerak Jatuh Bebas. *Riset Ilmiah Pendidikan Fisika*, 2(2), 11–17.
- Martalia, A., Widyaningrum, I., & Iswanto, B. H. (2016). Kalibrasi sensor ultrasonik HC-SR04 sebagai sensor pendeteksi jarak pada prototipe sistem peringatan dini bencana banjir. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF2016*, 5, Oktober, 1–6. <https://doi.org/10.21009/0305020113>

- Milton. (2023). *Annual Review BIPM 2022/2023*.
- Mokobodi, T., Greeff, P., Kruger, O., & Theron, N. J. (2018). Free-fall gravitational acceleration measurement using a pneumatically controlled catch-and-release-system in a semi-rotating vacuum chamber. *Metrology and Measurement Systems*, 25(4), 689–699. <https://doi.org/10.24425/mms.2018.124875>
- Muhammad Subhan, Eka Rahmawati, Lis Suswati, Yus'iran, Y., & Fatimah, F. (2022). Variasi Ketinggian MDPL terhadap Nilai Percepatan Gravitasi Bumi pada Konsep Gerak Jatuh Bebas (GJB) untuk Pendekatan Pembelajaran. *JURNAL PENDIDIKAN MIPA*, 12(3), 831–837. <https://doi.org/10.37630/jpm.v12i3.660>
- Muslim, Azis. Rancang Bangun Alat Bantu Pembelajaran Gerak Jatuh Bebas Berbasis Timer Arduino, 11 Jurnal Material dan Energi Indonesia 44 (2021).
- Novianto, A., Istiyanto, B., & Siswono, A. (2024). Prototipe alat bantu ukur dimensi kendaraan bermotor berbasis mikrokontroler (Prototype of microcontroller-based vehicle dimension measuring tool). *Dinamika Teknik Mesin*, 14(1), 36–44.
- Nurhayati. (2020). Penentuan Nilai Percepatan Gravitasi Bumi dengan Model Gerak Jatuh Bebas di Laboratorium Fisika UIN Ar-Raniry Banda Aceh. *Jurnal Phi: Jurnal Pendidikan Fisika Dan Fisika Terapan*, 6, 15–18.
- Nurlina, N., & Riska, R. (2018). *Fisika Dasar 1* (Muh. Fakhruddin, Ed.). Universitas Muhammadiyah Makassar.
- Panduardi, F., Haq, S., Studi, P., Informatika, T., & Banyuwangi, P. N. (2016). Wireless Smart Home System Menggunakan Raspberry Pi Berbasis Android. In *Jurnal Teknologi Informasi dan Terapan* (Vol. 03, Issue 01).
- Pearson, J. (2021). *Atlas Quality Management Scope: National Doc: Information Notice Unit Conversions*.
- Permatasari, N. B., Bawono, S., & Puspitasari, F. (2018). *Gerak Jatuh Bebas*.
- Physikalisch-Technische Bundesanstalt. (2014). *DKD-R 6.1: Guidelines DKD-R 6.1 Calibration of Pressure Gauges* (3rd ed.). DKD Executive Office.

- Qurro taayun, H., & Malik, A. (2023). Pengaruh Massa Pada Beban Terhadap Konstanta Pegas. *Al-Khazini: Jurnal Pendidikan Fisika*, 3(2), 105–122. <https://doi.org/10.24252/al-khazini.v3i2.39323>
- Rante, J. C., Singgeta, R. L., Padachan, C. M. M., & Koyongian, R. A. (2023). Rancang Bangun Alat Gerak Jatuh Bebas Berbasis Arduino Uno Pada Praktikum Fisika. *Journal Homepage: Journal of Electrical Engineering and Computer (JEECOM)*, xx, No. xx. <https://doi.org/10.33650/jeecom.v4i2>
- Renaldi, L., Hadiyoso, S., Ramadan, D. N., & Pd, S. (2017). Prototipe Radar Sebagai Pendeteksi Objek. *E-Proceeding of Applied Science*, 3, 2159.
- Ripai, A., & Wibowo, A. (2016). Obstacle Avoider Prototype Robot Using After Market Component. *Swabumi*, IV(2), 129–140.
- Ristanso, S. (2012). Eksperimen Gerak Jatuh Bebas Berbasis Perekaman Video Di MA Wahid Hasyim. *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika*, 3.
- Sideris, M. G. (2016). The FFT in Local Gravity Field Determination. In *Encyclopedia of Geodesy* (pp. 1–9). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-02370-0_39-1
- SNI ISO 10012. (2009). *SNI ISO 10012:2009 - Sistem manajemen pengukuran-Persyaratan untuk proses pengukuran dan Peralatan ukur* (SNI ISO 10012:2009).
- SNSU BSN. (2017). *ISO/IEC 17025:2017 - Persyaratan umum untuk kompetensi laboratorium pengujian dan kalibrasi* (ISO/IEC 17025:2017).
- SNSU PK.M-03. (2021). *SNSU PK.M-03-2021 (Panduan Kalibrasi Uniaxial Testing Machine)* (SNSU PK.M-03:2021).
- SNSU PK.W-01 (2020). *SNSU PK.W-01-2020 Panduan Kalibrasi Stopwatch-Timer* (SNSU PK.W-01:2020).
- Suwanpayak, N., Sutthiyan, S., Kulsirirat, K., Srisongkram, P., Teeka, C., & Buranasiri, P. (2018). A comparison of gravitational acceleration measurement methods for undergraduate experiment. *Journal of Physics: Conference Series*, 1144(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1144/1/012001>

- Theodorsson, E. (2022). *JCTLM - Reference Materials And Reference Measuring Systems*.
- Tsfx. (2019). *Physics (SAC 1 - Newton's Cart)*.
- Usayidah. (2015). Penentuan Percepatan Gravitasi Bumi Lokal Menggunakan Model Osilasi Gerak Pendulum. In *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia* (Vol. 04).
- Widyaningrum, K., & Prastowo, T. (2015). Penentuan Percepatan Gravitasi Bumi Lokal Dengan Bantuan Sistem Pegas-Massa Dan Sensor Ultrasonik. In *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia* (Vol. 04).
- Wuenschel, P. C., & Nettleton, L. L. (2008). *Monograph Series Elementary Gravity And Magnetism For Geologists And Seismologists* (1st ed.). Society of Exploration Geophysicists.
- Yohanes, S., Toda, G., Yuliana, M., Tati, M., Bhoga, Y. C., & Astro, R. B. (2020). Penentuan Percepatan Gravitasi Menggunakan Konsep Gerak Jatuh Bebas. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, 4(1), 30.
- Yusuf, M. (2018). Pengukuran Gaya Berat Lokal Untuk Metrologi. *PPI KIM*.
- Zumbrun, H. (2024). *Force Calibration for Technicians and Quality Managers* (3rd ed.).