

REVIEW: APLIKASI MIKROKONTROLER SEBAGAI PENGUKUR PERCEPATAN GRAVITASI BUMI DARI FENOMENA GETARAN HARMONIS

¹⁾Riski Ramadani, ²⁾ Muhimmatul Khoiro

¹⁾ Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: riski.20056@mhs.unesa.ac.id

²⁾ Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: muhimmatulkhoiro@unesa.ac.id

Abstrak

Percepatan gravitasi bumi merupakan percepatan yang terjadi karena gaya tarik-menarik benda besar sehingga dapat didefinisikan sebagai laju perubahan kecepatan terhadap waktu tertentu. Secara teori percepatan gravitasi bumi sebesar 9.83 m/s^2 , namun tidak semua lokasi di bumi ini memiliki nilai percepatan yang sama. Perbedaan tersebut disebabkan dari pengaruh dari gaya tarik benda langit, kerapatan suatu massa, dan ketinggian suatu tempat. Pengukuran percepatan gravitasi bumi dapat diukur melalui gerak osilasi benda di fenomena lingkungan sekitar. Tujuan penelitian literatur review ini untuk mengkaji komponen-komponen yang dapat menghasilkan pengukuran percepatan gravitasi bumi yang akurat, presisi dan efisien. Metode literatur review ini menggunakan metode analitik dengan model Miles dan Huberman. Hasil dari penelitian ini, sensor ultrasonik memiliki akurasi pendeteksian benda beresilansi yang lebih tinggi dibandingkan sensor inframerah, obstacle IR, dan fototransistor yang rentan terhadap cahaya sehingga menghasilkan *error* yang cukup besar dan penggunaan NodeMCU ESP32 dapat digunakan pada alat ukur percepatan gravitasi bumi karena memiliki performa yang lebih andal dalam mengakuisisi data dibandingkan mikrokontroler Arduino Uno, Atmega16, dan Atmega328, serta penggunaan metode rel osilasi berbahan perunggu dan bola pejal S4C5 untuk solusi metode bandul matematis dan pegas bermassa. Dari penggunaan komponen-komponen tersebut dapat menemukan nilai percepatan gravitasi bumi yang akurat, presisi, dan efisien sehingga nilai percepatan gravitasi lokal dapat dipertimbangkan pada bidang konstruksi pembangunan, pertanian dan mitigasi bencana.

Kata Kunci: percepatan gravitasi bumi; nodemcu esp32; rel osilasi

Abstract

Earth's gravitational acceleration is the acceleration that occurs due to the attractive force of large objects, so that it can be defined as the rate of change of velocity over a specific time. In theory, the acceleration due to gravity is 9.83 m/s^2 , but not all locations on this Earth have the same acceleration value. The influence of the gravitational pull of celestial bodies, the mass's density, and the place's height cause this difference. The Earth's gravitational acceleration can be measured through the oscillatory motion of objects in the phenomenon of the surrounding environment. This literature review research aims to examine components that can produce accurate, precise, and efficient measurements of the acceleration of Earth's gravity. This literature review uses an analytic method with the Miles and Huberman model. The results of this study ultrasonic sensors have a higher accuracy of detecting oscillating objects than infrared sensors, IR obstacles, and phototransistors which are susceptible to light resulting in relatively large errors, and the use of NodeMCU ESP32 can be used in measuring the acceleration of Earth's gravity because it has a higher performance. More reliable in acquiring data than the Arduino Uno, Atmega16, and Atmega328 microcontrollers, as well as using the oscillating rail method made of bronze and S4C5 solid ball for the solution of the mathematical pendulum method and spring with mass. Using these components makes it possible to find accurate, precise, and efficient values of the acceleration of gravity of the Earth so that local values of gravity can be considered in the fields of construction, agriculture, and disaster mitigation.

Keywords: earth's gravitational acceleration; nodemcu esp32; oscillating rail

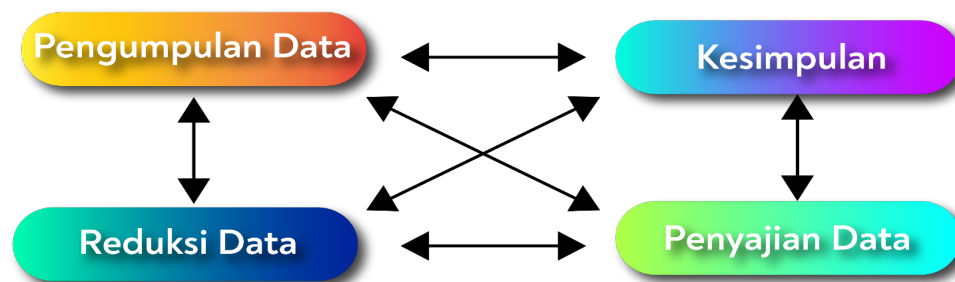
I. PENDAHULUAN

Percepatan gravitasi bumi merupakan percepatan yang terjadi karena gaya tarik-menarik benda besar sehingga dapat didefinisikan sebagai laju perubahan kecepatan terhadap waktu tertentu (Suwanti, *et al.*, 2016). Percepatan gravitasi bumi memiliki arah tegak lurus menuju permukaan tanah yang mengakibatkan setiap benda mengalami gaya tarik menuju inti bumi. Gaya tarik ini mempengaruhi berbagai benda yang berukuran kecil maupun besar, sehingga mempengaruhi setiap pengukuran besaran fisika yang melibatkan gaya standar, seperti pengukuran arus dan tekanan (Marson dan Faller, 1986). Dari penelitian yang dilakukan oleh Isaac Newton, percepatan gravitasi di bumi sebesar $9,83 \text{ m/s}^2$ (Rosdianto, 2017), namun pengukuran dari percepatan gravitasi pada setiap daerah tidak selalu sama, hal ini disebabkan perbedaan ketinggian suatu tempat, kerapatan suatu massa atau dikarenakan gaya tarikan dari benda langit yang posisinya berdekatan dengan bumi sehingga terjadi perubahan pada medan gravitasi (Suwanti, *et al.*, 2016). Oleh karena itu perlu dilakukan pengukuran pada suatu daerah untuk mengetahui besarnya percepatan gravitasi di suatu tempat. Dengan ditemukannya nilai percepatan gravitasi dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam berbagai bidang, Contohnya pada perancangan pembangunan bendungan air (Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi, 2016) serta pada bidang mitigasi bencana, dengan diketahui percepatan gravitasi dapat memetakan *sinkhole* pada suatu kawasan untuk menghindari depresi di tanah (Sayekti, 2019). Untuk mengetahui nilai dari percepatan gravitasi, ada beberapa metode yang dapat digunakan seperti, bandul matematis dan pegas (Astuti, 2016). Kedua metode tersebut termasuk dalam fenomena gerak harmonis sederhana yang merupakan gerak osilasi benda melewati titik kesetimbang disebabkan gaya pemulihnya sehingga menghasilkan getaran tiap satuan detik. Dengan fenomena gerak harmonis tersebut dapat menentukan percepatan gravitasi dari nilai periodenya (Widyaningrum dan Prastowo, 2015).

Pada umumnya pengukuran percepatan gravitasi bumi dilakukan secara manual dengan menghitung jumlah osilasi dari bandul matematis atau pegas (Elot, *et al.*, 2022). Pengukuran seperti ini berpotensi besar mengalami kesalahan perhitungan karena keterbatasan manusia untuk mengamati pergerakan benda yang berosilasi, sehingga dimanfaatkan berbagai mikrokontroler dan sensor *proximity* untuk mengukur percepatan gravitasi bumi sebagai solusi pengukuran manual. Sensor *proximity* digunakan untuk mendeteksi benda yang berosilasi sedangkan mikrokontroler berfungsi untuk mengakuisisi data secara otomatis dengan bantuan *chip* (Tullah, 2019), namun berdasarkan literatur yang ada penggunaan komponen mikrokontroler dan sensor *proximity* masih menghasilkan *persentase error* yang cukup tinggi. Alat ukur menghasilkan *persentase error* tinggi disebabkan penggunaan sensor dengan akurasi rendah, mikrokontroler kurang handal dan penggunaan metode yang kurang efisien sehingga sistem osilasi terganggu oleh faktor lingkungan (Noor, *et al.*, 2020). Selain itu, alat pengukur percepatan gravitasi bumi dari literatur yang ada memiliki kekurangan, yakni tidak praktis karena masih memerlukan *device* (laptop) sebagai *interface* yang disambungkan dengan kabel ke alat pengukur untuk dapat membaca nilai dari percepatan gravitasi bumi. Oleh karena itu, penelitian ini termasuk jenis penelitian kajian literatur membahas mengenai perancangan alat pengukuran percepatan gravitasi bumi yang menghasilkan nilai *persentase error* yang rendah dan mudah digunakan dengan melakukan teknik analisis dengan model Miles dan Huberman untuk menemukan hasil perancangan.

II. METODE

Penelitian ini termasuk dalam penelitian jenis kajian literatur dengan desain kualitatif. Teknik analisis data menggunakan metode analitik dengan model Miles dan Huberman yang memiliki 4 tahapan (Sugiyono, 2020) yakni: proses mengumpulkan data melalui artikel yang telah terpublikasi pada jurnal ilmiah nasional maupun internasional; kedua mereduksi data dengan memfokuskan data-data yang penting untuk diperjelas secara mendalam; ketiga melakukan penyajian data dalam bentuk deskripsi, tabel, bagan maupun hubungan antar subjek; terakhir menarik kesimpulan dari semua data yang telah didapatkan dari penelitian yang bersumber dari *google scholar* dan *researchgate*. Untuk proses penelitian tergambar pada gambar 1.



Gambar 1. Model Penelitian Miles dan Huberman (Sugiyono, 2020)

Tahapan penelitian kajian literatur ini tergambar pada gambar 1, setiap tahapan dijelaskan sebagai berikut:

1. **Pengumpulan Data**
Pada tahap awal ini dilakukan pengambilan data. Data yang didapatkan dari kajian literatur merupakan data yang bisa dilihat, didengar dan diamati. Data yang didapatkan bukan data akhir yang langsung disimpulkan pada penelitian.
2. **Reduksi Data**
Data diperoleh dari pengumpulan data dari literatur acuan. Dari data yang diperoleh dilakukan reduksi (merangkum, memilih data pokok, memfokuskan data-data penting dan mencari pola dari literatur).
3. **Penyajian Data**
Penyajian data dilakukan setelah melakukan reduksi data. pada tahap ini, data disajikan dalam bentuk tabel dan uraian singkat. Setiap data pada literatur acuan dideskripsikan sehingga dapat dianalisis.
4. **Kesimpulan**
Pada tahap akhir dilakukan penarikan kesimpulan dari analisis data kualitatif serta dilakukan verifikasi. Kesimpulan pada model penelitian ini bersifat sementara dan tidak berubah bila tidak ditemukan bukti-bukti yang kuat pada tahap pengumpulan data selanjutnya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis penggunaan mikrokontroler dan sensor yang akurat, presisi dan efisien dalam pengukuran percepatan gravitasi bumi. Sejumlah artikel yang digunakan bersumber dari seminar nasional, jurnal nasional dan internasional yang didapatkan dari penelusuran melalui *google scholar* dan *researchgate*. Tabel 1 merupakan data sintesis dari beberapa sumber artikel.

Tabel 1. Sintesis Artikel Acuan

No.	Penulis	Komponen	Persentase Error
1	Yusmaniar Afifah Noor, <i>et al.</i> (2020)	Sensor ultrasonic HC-SR04 dan mikrokontroler ATmega16	1,23%
2	Sanjaya, <i>et al.</i> (2018)	Ultrasonik HC-SR04, Arduino Uno dan menggunakan Laptop untuk interface <i>Python 2,7</i>	0,20%
3	Umar, <i>et al.</i> (2021)	Arduino Uno dan sensor Phototransistor	3,98%
4	Pili dan Violanda (2019)	Mikrokontroler Atmega 328 dan Sensor ultrasonik (HC-SR04).	0,40%
5	Setya, <i>et al.</i> (2021)	Sensor Obstacle IR dan Arduino Uno	3,90 %

B. Pembahasan

Dari hasil sintesis beberapa sumber literatur yang menjadi acuan, percepatan gravitasi bumi dapat diukur dengan mengamati fenomena gerak bolak-balik suatu benda melewati titik kesetimbangannya atau sering disebut dengan gerak harmonis. Percepatan gravitasi bumi dapat diukur dengan metode bandul matematis dan pegas berbeban. Selain itu, dalam mengakuisisi hasil pengamatan dari periode bandul matematis dan pegas beresilasi memanfaatkan beberapa jenis mikrokontroler seperti; arduino uno; mikrokontroler Atmega 328; mikrokontroler Atmega16 serta penggunaan sensor *proximity* yang berfungsi untuk mendeteksi pergerakan objek. Alat pengukuran dari penelitian sebelumnya, memanfaatkan mikrokontroler dan sensor *proximity*, namun masih menghasilkan *persentase error* yang cukup besar sehingga pengukuran tidak akurat. Dalam fisika, pengukuran yang akurat sangat penting untuk mengurangi tingkat kesalahan. Dari mengkaji artikel-artikel sebelumnya, dilakukan rancangan alat pengukur gravitasi bumi yang lebih akurat dan efisien.

Pada penelitian yang dilakukan Yusmaniar Afifah Noor, *et al.* (2020) digunakan sensor ultrasonik HC-SR04 yang memiliki tingkat ketelitian pendeteksian yang tinggi sebesar 99,94%, namun sensor diletakan pada jarak 1 cm dengan objek yang diamati sehingga menghasilkan *error* yang tinggi karena sensor HCSR04 memiliki limit minimum pengukuran di jarak 2 cm (Indrayana, *et al.*, 2018). Mikrokontroler Atmega16 memiliki SRAM dengan kapasitas 1 Kbytes (Atmel, 2010) yang tergolong kecil sehingga akuisisi alat ukur terbatas hingga 100 getaran. Metode pengukuran menggunakan fenomena pegas bermassa, namun metode ini memiliki kekurangan seperti koefisien pegas yang besar sehingga pergerakan osilasi cepat menyebabkan *error* sensor HCSR04 karena tingkat presisi deteksi objek sekitar >1ms (Koyama, *et al.*, 2018) serta metode ini terpengaruh faktor lingkungan sehingga pergerakan sulit dikontrol (Afifah Noor, *et al.*, 2020).

Pada penelitian Sanjaya, *et al.* (2018) menggunakan komponen ultrasonik HC-SR04 dan Arduino Uno, tetapi alat ini kurang praktis karena memerlukan laptop sebagai *interface Python 2,7* untuk melihat data yang dihasilkan alat ukur, serta tidak dapat digunakan di luar ruangan karena harus terhubung dengan device lain dan perlu catu daya eksternal. Metode pengukuran menggunakan bandul matematis, namun metode ini memiliki kekurangan karena tali kasar dan massa berukuran besar sehingga gerak osilasi teredam karena gaya gesek yang besar. Selain itu, sensor yang digunakan memiliki akurasi tinggi namun akuisisi dari mikrokontroler Arduino Uno dengan spesifikasi SRAM 2 kb (tergolong kecil) sehingga data yang di proses dalam satu waktu terbatas mengakibatkan kesalahan pembacaan cukup besar (Widyatmika, *et al.*, 2021).

Pada penelitian Umar, *et al.* (2021) menggunakan arduino uno dan sensor phototransistor sebagai komponen utama alat ukur percepatan gravitasi bumi. Alat ukur ini memiliki *persentase error* yang cukup tinggi karena menggunakan Arduino Uno yang memiliki spesifikasi rendah (SRAM 2 kb) sehingga kesalahan akuisisi data cukup besar (Farnell, 2022). Penggunaan sensor phototransistor juga penyumbang *persentase error* pada pengukuran karena sistem tidak terisolasi sehingga sensor phototransistor rentan terkena cahaya lingkungan serta penggunaan massa berwarna merah mengakibatkan kesalahan pendeteksian objek oleh sensor phototransistor (Mustapha, *et al.*, 2014). Metode dengan bandul matematis pada penelitian ini, memiliki kekurangan karena penggunaan tali yang kasar dan objek yang digunakan tidak solid sehingga rentan teredam oleh gaya gesek udara.

Pada penelitian yang dilakukan Pili dan Violanda (2019) menggunakan komponen mikrokontroler Atmega 328 dan sensor ultrasonik (HC-SR04) untuk mengukur percepatan gravitasi bumi dengan metode bandul matematis. Pada susunan kerangka alat ukur ini hanya menggunakan mikrokontroller atmega328, sensor ultrasonik, dan bandul matematis yang ditempelkan kertas bundar sebagai penghalangan pemantulan gelombang ultrasonik setiap pendulum melintasi sensor. Alat ukur ini tidak bisa digunakan di luar ruangan karena tidak memiliki kerangka pelindung sehingga rentan terganggu faktor lingkungan. Selain itu kertas yang direkatkan pada bandul menyebabkan kesalahan pembacaan saat berayun di sudut yang kecil (Willem, 2022) dan besarnya penampang kertas memperbesar gaya gesek udara dengan benda yang beresilasi (Yuningsih dan Dewi, 2022) serta penggunaan mikrokontroler atmega 328 tergolong rendah dengan spesifikasi SRAM 2 kb dan EEPROM 1 kb yang berfungsi untuk menyimpan data selama program utama bekerja, semakin kecil kapasitas SRAM dan EEPROM ini mempengaruhi akuisisi data dari hasil pengukuran (Prasetya, 2020).

Pada penelitian Setya, *et al.* (2021) alat ukur percepatan gravitasi bumi menggunakan komponen utama, seperti Sensor Obstacle IR dan Arduino Uno serta metode bandul matematis. Alat ukur ini menghasilkan *persentase error* cukup besar sekitar 3,90%. Hal tersebut terjadi karena penggunaan sensor obstacle IR yang memiliki kemampuan mengukur waktu osilasi terbatas hingga 10^{-3} detik saja (Osoyoso, 2017) dan sensor ini sensitif terhadap cahaya sehingga faktor lingkungan mempengaruhi tingkat pengukuran alat ini serta metode bandul matematis menghasilkan *persentase error* yang cukup besar, jika menggunakan sudut yang besar untuk beresilasi maka menghasilkan persamaan gerak nonlinier. Selain itu, penggunaan Arduino Uno dengan spesifikasi SRAM hanya 2 kb sehingga mempengaruhi akuisisi data (Farnell, 2022) yang didapatkan dari sensor Obstacle IR.

Dari analisis penggunaan sensor infrared, obstacle IR dan fototransistor menghasilkan *persentase error* yang lebih tinggi dibandingkan dengan sensor ultrasonik. Hasil kajian menunjukkan bahwa sensor ultrasonik, obstacle IR, fototransistor dan inframerah memiliki karakteristik yang berbeda dalam hal pengukuran. Sensor ultrasonik memberikan karakteristik keluaran linier sedangkan sensor inframerah, obstacle IR, fototransistor dan inframerah menunjukkan karakteristik keluaran nonlinier (Mustapha, *et al.*, 2014). Hal tersebut menunjukkan bahwa sensor ultrasonik mampu mendeteksi jarak benda yang akurat saat beresilasi, bahkan dengan warna dan bahan penghalang yang berbeda dibandingkan dengan sensor obstacle IR, fototransistor dan inframerah yang berpotensi menghasilkan *error* yang lebih tinggi karena keterbatasan dalam penangkapan sinyal gelap terang dan tidak dapat mengukur benda yang beresilasi dengan gerakan cepat.

Pemilihan jenis mikrokontroler juga mempengaruhi hasil dari pengukuran karena mikrokontroler adalah pengendali utama dari semua komponen sehingga dapat sesuai dengan tujuan pemrograman. Menurut penelitian Widyatmika *et al.* (2021) penggunaan NodeMCU ESP32 menghasilkan nilai *error* yang lebih rendah pada penerapan alat pengukuran tegangan dan arus dibandingkan penggunaan mikrokontroler jenis Arduino Uno yang menghasilkan nilai *error* yang lebih tinggi. Dari perbandingan spesifikasi NodeMCU ESP32 juga lebih unggul dibandingkan mikrokontroler Atmega16 dan mikrokontroler Atmega328, sehingga NodeMCU ESP32 dapat digunakan untuk meningkatkan kinerja dari performa alat pengukuran percepatan gravitasi bumi untuk menggantikan Arduino Uno, mikrokontroler Atmega16 dan mikrokontroler Atmega328 yang digunakan pada penelitian sebelumnya.

Pada penelitian sebelumnya, metode pengukuran percepatan gravitasi bumi dilakukan dengan mengamati periode osilasi pegas bermassa dan bandul matematis, namun pada kedua metode ini memiliki kekurangan; pada bandul matematis menggunakan tali yang berukuran besar untuk menopang bola pejal yang digantung di ujung tali. Penggunaan tali yang besar menjadikan gaya gesek udara yang berinteraksi dengan ayunan semakin besar, sedangkan kekurangan dari metode pegas bermassa memiliki kekurangan dalam penentuan perhitungan periode osilasi dari *time series* mikrokontroler karena kesulitan mengontrol pergerakan pegas. Oleh karena itu, dalam pemodelan gerak osilasi ini dapat menerapkan rel osilasi untuk mengatasi permasalahan yang terjadi pada metode pegas bermassa dan bandul matematis. Perancangan model ini dapat menggunakan jari-jari lintasan dengan ukuran lebih kecil dari 17×10^{-2} m untuk mendapatkan nilai percepatan gravitasi yang mendekati teori (Elfira, 2017). Menurut penelitian Yunus, *et al.* (2019) interaksi antara material Baja S45C dan bronze memiliki koefisien gesek tergolong kecil. kedua material tersebut dapat diaplikasikan untuk mengurangi gaya gesek lintasan saat bola pejal bergerak beresilasi diatasi dengan penerapan material Baja S45C sebagai bola pejal berukuran 50mm yang bergerak pada rel osilasi dan penggunaan material perunggu (*Bronze*) sebagai kawat lintasan dengan diameter berukuran lebih kecil dari 17×10^{-2} m.

IV. PENUTUP

A. Simpulan

Percepatan gravitasi bumi dapat diukur dengan mengamati fenomena gerak harmonis di lingkungan sekitar seperti, bandul matematis dan pegas bermassa. Penerapan mikrokontroler dan sensor *proximity* digunakan untuk mengurangi *persentase error* dari pengukuran manual dengan mengamati jumlah osilasi dengan penglihatan manusia, oleh karena itu pada beberapa literatur yang menjadi acuan digunakan mikrokontroler dan sensor ultrasonik, infrared, obstacle IR dan phototransistor untuk mengatasi pengukuran

manual, akan tetapi aplikasi dari kedua komponen tersebut masih memiliki kekurangan dari segi akurasi, presisi dan efisiensi karena masih menghasilkan *persentase error* yang cukup tinggi. Oleh karena itu, pada penelitian kajian literatur ini memberikan referensi rancangan alat ukur percepatan bumi menggunakan NodeMCU ESP32 yang memiliki keandalan dalam mengakuisisi hasil data dari sensor *proximity*. Pada perancangan ini menggunakan sensor ultrasonik yang memiliki akurasi pendeteksian objek yang lebih stabil dibandingkan penggunaan sensor infrared, obstacle IR dan phototransistor. Metode pengukuran percepatan gravitasi bumi menggunakan bola pejal dengan bentuk lintasan setengah lingkaran dengan ukuran lebih kecil dari 17×10^{-2} m untuk mendapatkan nilai percepatan gravitasi yang mendekati teori, serta penggunaan material baja S45C sebagai bola pejal yang berukuran 50 mm dan lintasan terbuat dari material perunggu (*Bronze*) yang memiliki koefisien gaya gesek yang tergolong kecil sehingga alat pengukuran lebih akurat dan presisi.

B. Saran

Pada penelitian alat ukur percepatan gravitasi bumi dapat menggunakan sensor yang lebih akurat dan mikrokontroler dengan spesifikasi handal sehingga pembacaan data lebih akurat. Kemudian, pada penelitian kajian literatur ini dibatasi pada fenomena gerak harmonis untuk mengukur percepatan gravitasi bumi diharapkan pada penelitian selanjutnya dapat mengkaji pengukuran percepatan gravitasi bumi menggunakan metode lain seperti, pergerakan benda pada bidang miring dan menjatuhkan bola pada ketinggian sehingga dapat membandingkan metode pengukuran percepatan gravitasi bumi yang lebih efisien, akurat dan presisi.

DAFTAR PUSTAKA

- Astuti, I. A. D. (2016). Pengembangan Alat Eksperimen Penentuan Percepatan Gravitasi Bumi Berdasarkan Teori Bidang Miring Berbasis Microcomputer Based Laboratoy (Mbl). *Faktor Exacta*, 9(2), 114–118.
- Atmel. (2010). Datasheet ATmega16 (L). *Atmel*, 07/10, 357. URL: <http://www.atmel.com/Images/doc2466.pdf>. Diakses pada 26 Desember 2022
- Elfira, D. (2017). Pengembangan Alat Peraga Rel Osilasi Kelereng Untuk Menentukan Percepatan Gravitasi Dalam Menunjang Pembelajaran Fisika Pada Materi Getaran Harmonis. *Inovasi Pendidikan Fisika*, 5(3), 64–68.
- Elot, Y. M., Angol, Y., Alus, G., Astro, R. B., & Nasar, A. (2022). Analisis Percepatan Gravitasi Berbasis Video Tracking Pada Ayunan Bandul. *Jurnal Kumparan Fisika*, 5(2), 69–76.
- Farnell. (2022). *Arduino ® UNO R3 Target areas: Arduino ® UNO R3 Features*. 1–13.
- Indrayana, I. P. T., Julian, T., & Triyana, K. (2018). Pengujian Akuisisi Data Sensor Ultrasonik HC-SR04 dengan Mikrokontroler ATMEGA 8535. *Journal Uniera*, 7(1), 35–40.
- Koyama, K., Shimojo, M., Senoo, T., & Ishikawa, M. (2018). High-Speed High-Precision Proximity Sensor for Detection of Tilt, Distance, and Contact. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 3(4), 3224–3231
- Marson, I., & Faller, J. E. (1986). *g - t h e acceleration of gravity: its measurement and its importance*. *Journal of Physics E: Scientific Instruments*, 19(1).
- Mustapha, B., Zayegh, A., & Begg, R. K. (2014). Ultrasonic and infrared sensors performance in a wireless obstacle detection system. *Proceedings - 1st International Conference on Artificial Intelligence, Modelling and Simulation, AIMS 2013*, 487–492.
- Noor, Y. A., & Barokah, A. (2020). Rancang Bangun Gerak Harmonis Sederhana sebagai Penghitung Periode Getaran Pegas. *Prosiding Seminar Nasional Fisika*, 6, 115–119.
- Osoyoo. (2017). Arduino IR Infrared Obstacle Avoidance Sensor Module. *Osoyoo.Com*, 5–6.
- Pili, U., & Violanda, R. (2019). Measurement of the gravitational acceleration using a simple pendulum apparatus, ultrasonic sensor, and Arduino. *Physics Education*, 54(4), 043009.
- Prasetya, I.D. (2020). *Rancang Bangun Stabilizer Kamera 3-Axis Menggunakan Sensor Gyroscope dan Kontroler PID*. Doctoral dissertation. Fakultas Teknik. Universitas Muhammadiyah Gresik: Gresik

- Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi. (2016). Perencanaan Bangunan Utama (Bendung) Diklat Teknis Perencanaan Irigasi Tingkat Dasar. *Kementerian PUPR Dan BPSDM, Perencanaan Bendungan*.
- Rosdianto, H. (2017). Penentuan Percepatan Gravitasi Pada Percobaan Gerak Jatuh Bebas Dengan Memanfaatkan Rangkaian Relai. *SPEKTRA: Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 2(2), 107.
- Sanjaya, W. S. M., Anggraeni, D., Denya, R., Pandriantama, H., Iklimah, I., & Dewi, I. P. (2018). A Low Cost of Simple Pendulum Experiment Apparatus Based on Ultrasonic Sensor and Arduino Microcontroller. *Al-Khidmat*, 1(2), 61–66.
- Sayekti, A. S. (2019). *Analisis Geofisika Menggunakan Data Gravitasi Dalam Penentuan Struktur Karst Bawah Permukaan Pada Daerah Malim Nawar, Perak, Malaysia*. Skripsi. Fakultas Teknik. Universitas Islam Riau: Pekanbaru.
- Setya, W., Fariha, D. N., Handayani, W., & Syafe'I, A. (2021). Design of Simple Harmonic Motion (SHM) devices based on IR obstacle sensors. *Journal of Physics: Conference Series*, 1869(1).
- Sugiyono, S. 2020. *Metode penelitian kualitatif, kuantitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta
- Suwanti, Sampurno, J., & Azwar, A. (2016). Pemodelan Variasi Nilai Percepatan Gravitasi di Daerah Khatulistiwa dengan Menggunakan Metode Gauss-Newton. *POSITRON*, 6(1).
- Tullah, R., Sutarman, S., & Setyawan, A. H. (2019). Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno Pada Toko Tanaman Hias Yopi. *Jurnal Sisfotek Global*, 9(1).
- Umar, M. I. A., Kurniawan, D., & Lizelwati, N. (2021). Fabrication of Digital Harmonic Vibration Practicum Using Phototransistor Sensor with Arduino-Uno Microcontroller. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 7(3), 468–473.
- Widyaningrum, K., & Prastowo, T. (2015). Penentuan Percepatan Gravitasi Bumi Lokal Dengan Bantuan Sistem Pegas-Massa Dan Sensor Ultrasonik. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, 04(2009), 55–60.
- Widyatmika, I. P. A. W., Indrawati, N. P. A. W., Prastya, I. W. W. A., Darminta, I. K., Sangka, I. G. N., & Sapteka, A. A. N. G. (2021). Perbandingan Kinerja Arduino Uno dan ESP32 Terhadap Pengukuran Arus dan Tegangan. *Jurnal Otomasi Kontrol Dan Instrumentasi*, 13(1), 35–47.
- Willem, D. K. (2022). *Analisis Sensor Ultrasonik Pada Benda Padat Dan Cair di Berbagai Waktu*. Skripsi. Fakultas Teknologi dan Informatika. Universitas Dinamika: Surabaya
- Yuningsih, N., & Dewi, Y. C. (2022). Gaya Gesekan Udara Terhadap Benda yang Bergerak Vertikal Tanpa Kecepatan Awal. *Prosiding Industrial Research ...*, 13–14.
- Yunus, M, Seprianto, D, dan Bhisusman, A. (2019). (2018). Analisa Pengujian Koefisien Gesek Material Baja S45C Terhadap Bronze. *PhD Diss., Politeknik Negeri Sriwijaya*, 11(1), 6–10.