

PROTOTYPE ALAT PENUNJUK TITIK PUSAT GRAVITASI OTOMATIS BERBASIS SENSOR LOADCELL

PROTOTYPE OF AUTOMATION CENTER OF GRAVITY POINTING DEVICE BASED ON LOADCELL SENSOR

Bagus Sukma Liza¹, Setyawan Ajie Sukarno², Afrianda³, Adinda Melati Putri⁴

^{1,2,4}Teknologi Rekayasa Mekatronika, Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika, Politeknik Manufaktur Bandung

email: 223442029@mhs.polman-bandung.ac.id¹

email: ajie@ae.polman-bandung.ac.id²

email: adinda.melati@polman-bandung.ac.id⁴

³Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Malang

email: teguh.afrianda.2303228@student-s.um.ac.id³

Abstrak

Proyek ini bertujuan untuk membuat prototipe alat penunjuk Center of Gravity (CoG) otomatis yang berbasis loadcell yang menggunakan Arduino Uno sebagai mikrokontroler utama. Penentuan Center of Gravity secara manual seringkali memerlukan waktu yang cukup lama dan memiliki potensi kesalahan pengukuran. Oleh karena itu, alat ini dirancang untuk mendeteksi dan menghitung posisi titik pusat gravitasi suatu objek secara langsung dan akurat dengan bantuan laser dioda yang digerakkan secara horizontal oleh motor servo. Servo motor akan mengarahkan laser dioda melintasi permukaan objek, sementara sensor load cell digunakan untuk mengukur berat objek pada berbagai titik. Informasi mengenai berat total dan posisi CoG kemudian ditampilkan secara real-time pada serial monitor. Metode penelitian proyek ini menggunakan metode penelitian waterfall yang diawali dengan menganalisis kebutuhan komponen, merancang, merakit, hingga pengujian prototipe alat. Hasil penelitian proyek ini menunjukkan prototipe alat ini mampu menunjukkan titik pusat gravitasi secara langsung, teliti, dan juga presisi. Dengan mengetahui titik pusat gravitasi kita dapat mengoptimalkan energi, performa, bahkan keamanan dari suatu sistem baik kendaraan, robotika atau bahkan bangunan.

Kata kunci: Titik pusat gravitasi, Loadcell, Arduino Uno, Motor Servo, Laser Dioda

Abstract

This project aims to make a prototype of a loadcell-based automatic Center of Gravity (CoG) indicating device that uses Arduino Uno as the main microcontroller. Manual determination of the Center of Gravity often takes a long time and has the potential for measurement errors. Therefore, this tool is designed to detect and calculate the position of the center of gravity of an object directly and accurately with the help of a diode laser that is moved horizontally by a servo motor. The servo motor will direct the diode laser across the surface of the object, while the load cell sensor is used to measure the weight of the object at various points. Information about the total weight and CoG position is then displayed directly on the serial monitor. The research method of this project uses the waterfall research method which begins with analyzing component needs, designing, assembling, and testing prototype tools. The results of this project research show that this prototype tool is able to point the center of gravity directly, accurately, and also precisely. By knowing the center of gravity, we can optimize the energy, performance, and even safety of a system, be it a vehicle, robotics, or even a building.

Keywords: Center of gravity, Loadcell, Arduino Uno, Servo Motor, Laser Diode

PENDAHULUAN

Titik Pusat Gravitasi atau sering disebut Center of Gravity (CoG) merupakan tempat dimana beban terdistribusi secara merata (Fathtabar, A *et al.*, 2024). Ketika titik pusat gravitasi suatu benda berpindah dari satu lokasi ke lokasi lain maka akan mengakibatkan titik pivot juga berpindah. Dengan mengetahui titik pusat gravitasi memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap fundamental mekanika dan desain sistem dinamis. Penentuan titik pusat gravitasi yang akurat juga dapat meningkatkan kinerja dan mengurangi risiko kegagalan sistem (Yu & Watanabe., 2021).

Menurut Liu dkk. titik pusat gravitasi yang tidak sesuai, dapat menimbulkan beberapa risiko saat bom mengenai sayap pesawat, bom tidak mengenai target di lapangan, bahkan bom tidak akan mengalami ledakan akibat pitching berlebih sehingga fuze bom tidak jatuh lebih awal karena ekor bom mendarat terlebih dahulu (Liu, Y. *et al.*, 2018). Dalam kasus lain seperti robotika menurut Zaheer dkk. titik pusat gravitasi diperlukan untuk mendeteksi risiko *rollover* pada robot mobile, hal ini seringkali tidak diketahui akibat distribusi beban yang tidak pasti (Zaheer, M. H., & Yoon, P., 2020). Pengukuran titik pusat gravitasi secara real-time dengan metode sederhana dan biaya murah masih menjadi tantangan saat ini.

Penelitian yang dilakukan saat ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pengukuran titik pusat gravitasi yang memanfaatkan sensor loadcell sebagai sensor berat yang diintegrasikan dengan arduino uno sebagai mikrokontroler. Sistem ini dirancang untuk menghitung titik pusat gravitasi secara real-time dengan memanfaatkan prinsip kerja loadcell. Berdasarkan prinsip kerja loadcell menurut Silva dkk. distribusi massa suatu benda yang terdeteksi oleh dua loadcell akan ditampilkan pada serial monitor (Silva *et al.*, 2020). Dengan pendekatan ini, penelitian menawarkan solusi yang sederhana, efisien, dan dapat diterapkan dalam skala kecil maupun menengah.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan alat pengukuran yang efisien dan berbiaya rendah. Selain itu, sistem ini dapat menjadi dasar untuk pengembangan lebih lanjut dalam penelitian yang melibatkan analisis distribusi massa dan kestabilan mekanik.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini kami menggunakan metode waterfall (Kurniawati & Mohammad Badrul., 2021) dalam membuat prototipe alat penunjuk titik pusat gravitasi otomatis berbasis loadcell dengan mikrokontroler arduino uno. Berikut rincian metode pada jurnal ini:

- Analisis Kebutuhan Komponen
Pada penelitian yang kami lakukan ini terdapat 6 komponen utama yang digunakan, yaitu;
 - a. Arduino Uno
Arduino uno disini sebagai mikrokontroler yang bertugas untuk mengolah data yang diterima oleh sensor loadcell nantinya melalui modul HX711 (Fatchur Rochman *et al.*, 2024). Kemudian menggerakkan motor servo mengarahkannya pada titik pusat gravitasi berdasarkan berat yang terdeteksi.
 - b. Loadcell dan Modul HX711
Loadcell yang diintegrasikan dengan modul HX711 ini sebagai sensor pendeteksi berat (Fatchur Rochman *et al.*, 2024). Pada prototipe ini terdapat dua buah loadcell yang masing-masing mendeteksi berat benda di titik yang berbeda untuk menentukan distribusi berat objek.
 - c. Motor Servo

Motor servo digerakkan secara horizontal oleh mikrokontroler berdasarkan data yang diterima oleh loadcell sesuai dengan perhitungan titik pusat gravitasi (Fadli Bima Prakarsa & Edidas., 2022).

d. Laser Dioda

Laser Dioda digunakan sebagai pointer untuk menunjukkan posisi titik pusat gravitasi secara visual (Nasution, *et al.*, 2021). Laser dioda diletakkan pada servo horn sehingga posisi titik pusat gravitasi ditunjukkan secara langsung pada objek.

e. Breadboard

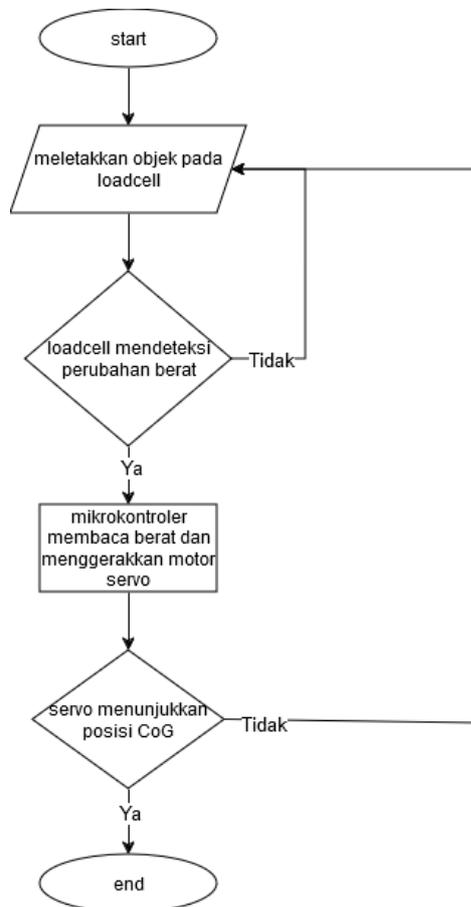
Breadboard digunakan sebagai papan prototipe untuk menghubungkan komponen-komponen yang digunakan tanpa perlu menyolder (Agus Setiawan, *et al.*, 2024). Breadboard memudahkan pemasangan kabel jumper dan memastikan koneksi antarkomponen, seperti Arduino, Loadcell, Motor Servo, dan Laser Dioda.

f. Kabel Jumper

Kabel Jumper berperan untuk menghubungkan setiap komponen dalam sistem ini (Tulus Ujianto, *et al.*, 2023). Kabel jumper menghubungkan Arduino Uno dengan modul HX711, Arduino dengan motor servo dan laser dioda.

- Perancangan

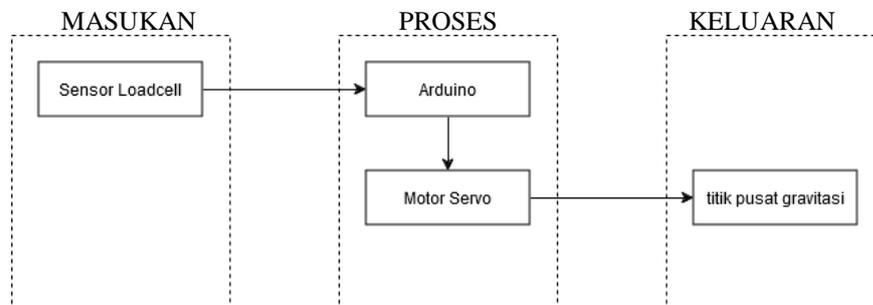
Adapun tahapan perancangan penelitian yang dilakukan terbagi menjadi beberapa tahap yaitu sebagai berikut:



a) Membuat flowchart dan diagram block

Gambar 1. Flowchart CoG

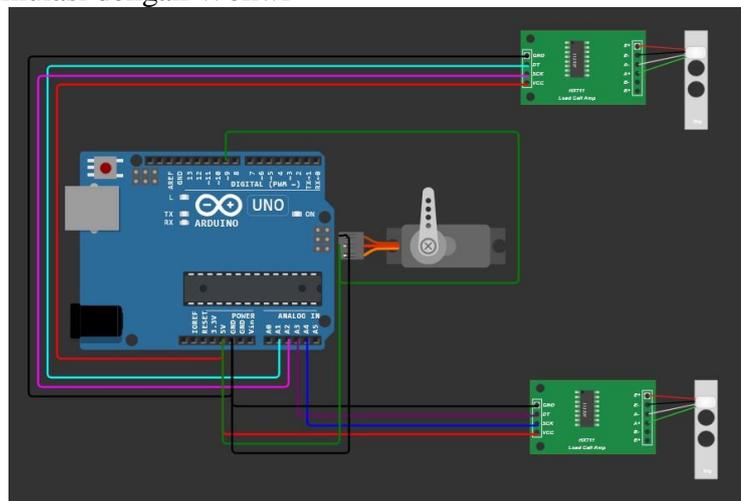
Gambar 1 merupakan flowchart CoG yang merupakan serangkaian dalam alur sistem. Objek yang digunakan diletakkan diatas loadcell, kemudian loadcell akan mendeteksi perubahan berat. Jika loadcell tidak mendeteksi adanya perubahan berat maka ulangi proses ini hingga loadcell mendeteksi perubahan berat. Selanjutnya sinyal akan diterima dan diproses oleh mikrokontroler Arduino Uno dan menggerakkan servo ke arah posisi titik pusat gravitasi dari objek, jika servo tidak menunjukkan posisi titik pusat gravitasi ulangi kembali proses ke langkah awal.



Gambar 2. Diagram Blok CoG

Gambar 2 merupakan Diagram blok yang merepresentasikan hubungan antarkomponen utama dalam bentuk blok. Pertama komponen Loadcell mengukur berat dari suatu objek yang diletakkan pada Loadcell. Selanjutnya data berat dari loadcell dikirimkan ke Arduino Uno, disini Arduino Uno akan membaca data berat dari Loadcell melalui pin analog dan menghitung posisi titik pusat gravitasi dari objek. Data koordinat titik pusat gravitasi diproses oleh motor servo. Motor servo yang sudah diintegrasikan dengan laser bergerak dan memposisikan sesuai dengan titik pusat gravitasi yang sudah dihitung. Visualisasi laser akan menunjukkan posisi titik pusat gravitasi secara akurat pada permukaan objek.

b) Membuat simulasi dengan Wokwi



Gambar 3. Schematic Prototipe CoG

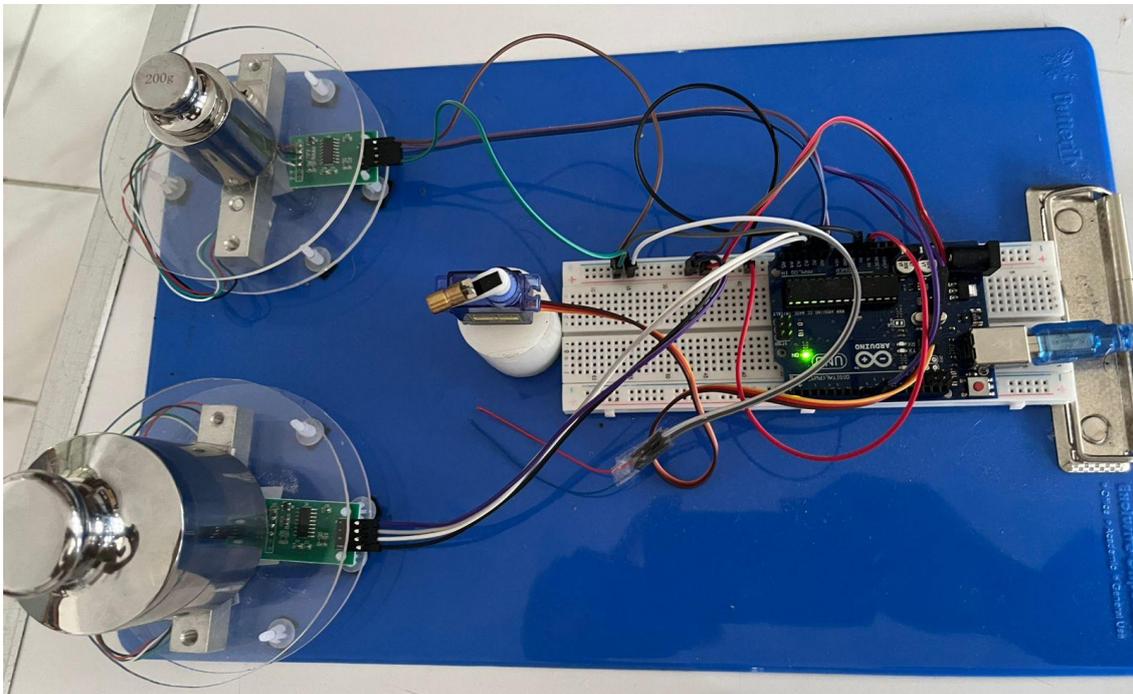
Gambar 3 yaitu membuat simulasi alat pada Wokwi. Pin VCC pada Loadcell dihubungkan dengan pin 5V Arduino Uno. Pin GND pada Loadcell dihubungkan dengan pin GND Arduino Uno. Pada Loadcell 1, pin DT dihubungkan dengan pin A1, pin SCK dihubungkan dengan pin A2. Pada Loadcell 2, pin DT dihubungkan dengan pin A3, pin SCK dihubungkan dengan pin A4. Pada Motor Servo kabel

merah dihubungkan dengan pin 5V, kabel coklat dihubungkan dengan pin GND, dan kabel orange dihubungkan dengan pin 9 Arduino Uno.

- Perakitan
Setelah simulasi alat dibuat secara online dilanjutkan tahap perakitan yaitu merangkai alat dan kabel sesuai dengan simulasi yang sudah dibuat. Pin-pin pada komponen dihubungkan pada Arduino Uno melalui Breadboard. Semua komponen dirakit pada bidang seluas 35cm x 23cm. Jarak antara loadcell 1 dan loadcell 2 adalah 13cm dari tengah masing-masing loadcell.
- Pengujian
Setelah tahapan perakitan selesai dilanjutkan dengan pengujian alat. Pengujian alat diawali dengan kalibrasi loadcell terlebih dahulu sehingga pembacaan berat sesuai dengan perhitungan sehingga keluaran titik pusat gravitasi ditunjukkan akurat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah mensimulasikan yang di rancang melalui web Wokwi, prototipe CoG terlihat seperti Gambar 4.



Gambar 4. Prototipe CoG

Untuk pengujian prototype ini kami menggunakan massa yang bervariasi dengan 3 kondisi, yaitu pada pengujian pertama menggunakan beban untuk loadcell 1 = loadcell 2. Pengujian kedua, beban untuk loadcell 1 > loadcell 2. Pengujian ketiga, beban untuk loadcell 1 < loadcell 2. Sebelum pengujian loadcell dikalibrasi terlebih dahulu dengan massa beban 100gram, 200gram, dan 1000gram agar diperoleh hasil pembacaan yang akurat.

Tabel 1. Kalibrasi Loadcell 1

Percobaan	timbangan 100gram	Timbel 200gram	Timbel 1000gram
1	102.3	201.52	1009.13
2	100.57	201.68	1009.24

3	100.27	201.64	1009.6
4	100.4	201.87	1008.95
5	100.46	201.58	1008.89
6	100.39	201.69	1009.11
7	100.41	201.64	1009.2
8	100.45	201.79	1008.98
9	100.48	201.67	1009.08
10	100.49	201.56	1009.33
Rata-rata	100.622	201.664	1009.151
error (%)	0.00622	0.00832	0.009151

Tabel 2. Kalibrasi Loadcell 2

Percobaan Kalibrasi Loadcell 2	timbangan 100gram	Timbel 200gram	Timbel 1000gram
1	100.39	199.17	1000.28
2	100.32	200.31	1000.21
3	100.46	200.39	1000.47
4	100.07	199.59	1000.38
5	99.82	199.98	1000.44
6	100.14	200.34	1000.35
7	99.45	199.83	1000.37
8	98.84	200.46	1000.55
9	99.99	200.22	1000.38
10	99.99	200.38	1000.36
rata-rata	99.947	200.067	1000.379
error (%)	0.00053	0.000335	0.000379

Pada tabel 1 dan 2 merupakan data hasil kalibrasi loadcell menggunakan tiga macam timbel dengan massa yang berbeda-beda. Masing-masing timbel dilakukan percobaan sebanyak 10 kali yang kemudian hasil tersebut dirata-ratakan. sehingga diperoleh nilai error yang sangat kecil yaitu 0.0003% – 0.009%. Hal ini menunjukkan loadcell mampu membaca beban dengan sangat akurat.

Hasil pengujian alat penunjuk titik pusat gravitasi ini memiliki akurasi yang sangat tinggi dengan rentang nilai error 0.0006% - 0.001% . Adapun CoG ideal diperoleh dari perhitungan dengan rumus berikut(Wu, Fuwei *et al.*, 2023);

$$CoG = \frac{(m_1 \times d_1) + (m_2 \times d_2)}{(m_1 + m_2)} cm$$

Dimana m1 dan m2 adalah massa berat yang digunakan dalam pengujian, sedangkan d1 dan d2 adalah jarak posisi loadcell dari titik referensi dalam pengujian yaitu 5cm dari titik referensi dan posisi d2 berada pada 18cm dari titik referensi sehingga dengan rumus tersebut diperoleh titik pusat gravitasi yang ideal. Untuk perhitungan nilai error diperoleh dari rumus berikut(Ferry Susanto, *et al.*, 2024);

$$Error = \frac{|Hasil pengukuran - Hasil perhitungan|}{Hasil perhitungan} \times 100\%$$

Tabel 3. Data Penelitian

Percobaan	Beban loadcell 1 = loadcell 2	Beban loadcell 1 > loadcell 2	Beban loadcell 1 < loadcell 2
1	11.45	7.14	15.82
2	11.49	7.15	15.82
3	11.51	7.15	15.82
4	11.49	7.15	15.82
5	11.48	7.15	15.82
6	11.49	7.15	15.82
7	11.47	7.15	15.82
8	11.45	7.15	15.82
9	11.48	7.15	15.82
10	11.48	7.15	15.82
Rata - rata	11.479	7.149	15.82
CoG Ideal	11.5	7.16	15.83
Error (%)	0.001826087	0.001536313	0.000631712

Berdasarkan Tabel 3 hasil data penelitian, sistem menunjukkan kinerja yang sangat baik dalam mendeteksi Center of Gravity (CoG) pada tiga percobaan pengujian, yaitu saat beban load cell 1 sama dengan load cell 2, load cell 1 lebih besar dari load cell 2, dan load cell 1 lebih kecil dari load cell 2. Pada kondisi beban seimbang, rata-rata pengukuran sebesar 11,479 mendekati nilai ideal 11,5 dengan tingkat error hanya 0,0018%. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem mampu memberikan hasil akurat pada kondisi ideal, dengan stabilitas data yang baik. Di sisi lain, ketika load cell 1 memiliki beban lebih besar dari load cell 2, tingkat error tercatat sebesar 0,0015%, yang merupakan error terendah di antara seluruh percobaan. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem dapat mendeteksi perbedaan kecil antara beban dengan presisi yang tinggi.

Selanjutnya, pada kondisi ketika load cell 1 lebih kecil dari load cell 2, rata-rata hasil pengukuran sebesar 15,82 mendekati nilai ideal 15,83 dengan tingkat error 0,0006%, yang merupakan error terkecil kedua. Ini menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat keakuratan yang sangat baik, bahkan pada situasi di mana perbedaan beban lebih jelas. Secara keseluruhan, sistem memberikan performa terbaik dalam kondisi beban tidak seimbang, baik ketika load cell 1 lebih besar maupun lebih kecil dari load cell 2, karena menghasilkan tingkat error yang lebih rendah dibandingkan dengan kondisi beban seimbang. Dengan akurasi yang tinggi ini, sistem layak diaplikasikan pada kebutuhan pengukuran CoG yang memerlukan presisi tinggi, seperti pada mesin dengan variasi beban. Untuk meningkatkan kinerja dalam kondisi beban seimbang, kalibrasi tambahan dapat dilakukan agar hasil pengukuran lebih mendekati nilai ideal.

KESIMPULAN

Dari hasil yang didapatkan tentang titik pusat gravitasi, didapatkan kesimpulan penelitian sebagai berikut:

1. Dari pengolahan data di atas rata-rata hasil pengujian kalibrasi menunjukkan adanya kesesuaian dengan berat sebenarnya. Pada pengujian dengan tiga macam kondisi protipe alat ini mampu menunjukkan posisi titik pusat gravitasi dengan sangat baik, hal ini dibuktikan dengan perbedaan nilai rata-rata pengukuran dengan nilai idealnya masih berada dalam batas toleransi yaitu <1%.

2. Berdasarkan hasil analisa data diatas, maka diketahui sistem prototipe alat penunjuk titik pusat gravitasi otomatis ini dapat diandalkan untuk mendeteksi perbedaan beban dan menentukan posisi titik pusat gravitasi dari suatu benda dengan akurat dan presisi.

DAFTAR PUSTAKA

- Liu, Y., Yang, Z., Deng, J., & Zhu, J. (2018). Investigasi penghematan bahan bakar untuk pesawat karena optimalisasi pusat gravitasi. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 322, 072018.
- Zaheer, M. H., & Yoon, P. (2020). Estimation of mobile robot's center of gravity for rollover detection. *2020 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM)*, 1567–1572.
- O Silva, V. T., de Medeiros Jr, R. N., O Silva, W., & R Medeiros, S. R. (2020). Using an Arduino microcontroller to build a planetary scale for study of weight force. *Physics Education*, 55(4), 045016.
- Wu, F., Sun, C., Li, H., & Zheng, S. (2023). Real-time center of gravity estimation for intelligent connected vehicle based on HEKF-EKF. *Electronics*, 12(2), 386.
- Yu, K., & Watanabe, Y. (2021). Effects of Center of Gravity Position on Rollover Based Upon Detection of Three-Dimensional Center of Gravity. *Toros Üniversitesi İİSBF Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(Special Issue on International Symposium of Sustainable Logistics), 70-84.
- Rochman, A. F., Sulistiyowati, I., Jamaaluddin, J., & Anshory, I. (2024). Development of Cavendish Banana Maturity Detection and Sorting System Using Open Source Computer Vision and Loadcell Sensor. *Ultima Computing: Jurnal Sistem Komputer*, 16(2), 63-73.
- Prakarsa, F. B., & Edidas, E. (2022). Rancang bangun alat sortir panen ikan lele berbasis Arduino UNO R3. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 6(1), 1202-1218.
- Setiawan, S. A., & Hidayat, M. (2024). PROTOTYPE LAMPU PENERANGAN JALAN OTOMATIS MENGGUNAKAN SENSOR LDR BERBASIS ARDUINO UNO. *PROSISKO: Jurnal Pengembangan Riset dan Observasi Sistem Komputer*, 11(1), 119-127.
- Ujiyanto, N. T., Fitria, R. I., Nawangnugraeni, D. A., & Jannah, H. R. (2023). Pintu Air Otomatis Pencegah Rob Berbasis Arduino. *Engineering: Jurnal Bidang Teknik*, 14(1), 57-64.
- Nasution, A., Minarni, M., Farma, R., & Ningsih, S. A. (2021). Pembuatan Alat Laboratorium Untuk Praktikum Optik Geometri Tingkat Sma Berbasis Laser Dioda. *Komunikasi Fisika Indonesia*, 18(2), 137-145.
- Susanto, F., Mintoro, S., Kohar, A., & Nurbaiti, N. (2024). Sistem Pengukur Tinggi Tubuh Otomatis Menggunakan Arduino Uno R3 Dan Sensor Ultrasonik Hc-Sr04. *Jurnal Komputasi*, 12(2), 134-142.
- Badrul, M. (2021). Penerapan Metode Waterfall Untuk Perancangan Sistem Informasi Inventory Pada Toko Keramik Bintang Terang. *PROSISKO: Jurnal Pengembangan Riset dan Observasi Sistem Komputer*, 8(2), 57-52.