

e-ISSN: 2597-7563

p-ISSN: 1907-350X

Vol. 20 No. 2, Oktober 2025

JURNAL TEKNIK MESIN INDONESIA

Editorial

- Ubaidillah
- Iis Siti Aisyah
- Toto Supriyono
- Hery Try Waloyo
- Sandi Rais



Badan Kerja Sama - Teknik Mesin Indonesia



editor@jtmi.bkstm.org



<https://jurnal.bkstm.org>

EDITORIAL BOARD

Editor-in-chief:

Prof. Ir. Ubaidillah, S.T., M.Sc., Ph.D.
Universitas Sebelas Maret | Scopus ID: 54407593200
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7190-5849>

Editor Board Members

Prof. Dr.-Ing. Mulyadi Bur
Universitas Andalas | Scopus ID: 6701395065
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0723-6724>

Prof. Dr. Ir. Ario Sunar Baskoro, S.T., M.T., M.Eng.
Universitas Indonesia | Scopus ID: 57205093380
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0768-4196>

Dr. Ir. Sri Raharno, S.T., M.T.
Institut Teknologi Bandung | Scopus ID: 56179645200
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2829-2124>

Dr. Ir. Hery Tri Waloyo, ST., M.T.
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa | Scopus ID: 56179920400
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2406-7106>

Ir. Toto Supriyono, M.T., Ph.D.
Universitas Pasundan | Scopus ID: 57721388200
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1128-8161>

Sandi Rais, S.T., M.T.
Universitas Khairun | Scopus ID: 56669595800
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8901-1122>

Section editor:

Dr. Ir. Sugiharto, M.T.
Universitas Pasundan | Scopus ID: 56500504800
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9971-2862>

Ir. Iis Siti Aisyah, S.T., M.T., Ph.D.
Universitas Muhammadiyah Malang | Scopus ID: 57189065795
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9986-2038>

Reviewer

Jurnal ini didukung oleh panel reviewer yang terdiri dari para ahli dari berbagai lembaga dan negara yang keahliannya relevan dengan ruang lingkup jurnal. Peninjau memainkan peran penting dalam menjaga kualitas ilmiah, orisinalitas, dan integritas naskah yang diterbitkan.

Prof. Dr. Ir. Priyono Soetikno, DEA	Universitas Pasundan
Prof. Dr.rer.nat. Ir. A.P. Bayuseno, M.Sc	Universitas Diponegoro
Prof. Dr. Eng. Jalaluddin, S.T., M.T.	Universitas Hasaunddin
Prof. Dr. Ir. Rustan Tarakka, M.T.	Universitas Hasanuddin
Prof. Dr. Eng. Meifal Rusli, S.T., M.T.	Universitas Andalas
Prof. Dr. Nazaruddin, S.T., M.T.	Universitas Riau
Dr. Ir. Suwarsono, M.T.	Universitas Muhammadiyah Malang
Dr. Ir. Dedi Lazuardi, DEA	Universitas Pasundan
Dr. Ir. Ade Bagdja, MME	Universitas Pasundan
Dr. Ir. Mohamad Yamin	Universitas Gunadarma
Dr. Ir. Muchlis N, S.T., M.T.	Universitas Khairun
Dr. Ir. Irwan Suriawan, S.T., M.T.	STT Wastukencana
Dr. Ir. Irwansyah, S.T., M.Eng., IPM	Universitas Syiah Kuala
Dr. Ir. Erwin, S.T., M.Eng., ASEAN Eng.	Universitas Darma Persada
Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T.	Universitas Lampung
Dr. Ir. Marthen Paloboran, S.T., M.T.	Universitas Negeri Makassar
Dr. Eng. Eka Satria	Universitas Andalas
Dr. Eng. Dendi Adi Saputra	Universitas Andalas
Dr.-Ing. John Malta	Universitas Andalas
Dr. Eng. Ilhamdi	Universitas Andalas
Dr. Sigit Iswahyudi, S.T., M.T.	Universitas Tidar
Ismet Hari Mulyadi, Ph.D.	Universitas Andalas
Rosyida Permatasari, Ph.D.	Universitas Trisakti
Zulkifli Amin, Ph.D	Universitas Andalas
Adhes Gamayel, S.T., M.T., Ph.D.	Universitas Global Jakarta
Jhoni Rahman, B.Eng., M.Eng., Ph.D.	Universitas Islam Riau
Asral, S.T., M.Eng., Ph.D.	Universitas Riau
Ir. Sandi Rais, S.T., M.T.	Universitas Khairun
Ahmad Suudi, S.T., M.T.	Universitas Lampung
Arif Rahman Saleh, S.T., M.T.	Universitas Tidar
Fajar Paundra, S.T., M.T.	Insititu Teknologi Sumatera
Bahtiar Rahmat, S.Pd., M.Eng.	Politek Industri Furnitur & Pengolahan Kayu
Destri Muliastri, S.Si., M.T.	Politeknik Negeri Bandung

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan atas tersusunnya publikasi ini sebagai bagian dari kontribusi akademik dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan penerapannya di bidang teknik dan rekayasa. Naskah yang dihimpun dalam edisi ini merepresentasikan beragam pendekatan analitis dan aplikatif yang relevan dengan kebutuhan industri dan masyarakat saat ini.

Topik yang disajikan mencakup kajian analisis struktur menggunakan metode elemen hingga (FEA) pada sistem trolley untuk memahami kekuatan dan stabilitas terhadap variasi beban. Selain itu, terdapat pengembangan sistem monitoring suhu multi-channel berbasis mikrokontroler yang menunjukkan integrasi teknologi embedded system dalam pengukuran dan kontrol.

Aspek desain dan analisis juga diperkuat melalui pemodelan meja belajar sederhana berbasis pendekatan elemen hingga, yang menekankan optimasi material dan struktur. Dalam konteks keberlanjutan, dibahas pula aplikasi drone untuk penaburan benih jagung sebagai solusi inovatif dalam pertanian modern.

Topik lain mencakup pengembangan sistem keselamatan berkendara berbasis aplikasi deteksi pintar, serta rancang bangun prototipe conveyor dengan sensor inframerah dan lengan robot berbasis Arduino untuk otomasi material handling. Selain itu, analisis kinerja mesin sepeda motor dengan modifikasi ruang bakar memberikan kontribusi pada peningkatan performa sistem energi.

Keseluruhan naskah mencerminkan sinergi antara analisis numerik, sistem kontrol, otomasi, dan inovasi teknologi yang sejalan dengan agenda Sustainable Development Goals (SDGs), khususnya pada aspek industri, inovasi, dan infrastruktur (SDG 9), pendidikan berkualitas (SDG 4), serta keberlanjutan sistem produksi.

Kami menyampaikan apresiasi yang setinggi-tingginya kepada para penulis atas kontribusi ilmiah yang berharga. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada para reviewer atas evaluasi yang kritis dan konstruktif sehingga kualitas publikasi ini dapat terjaga.

Akhirnya, kami berharap publikasi ini dapat memberikan manfaat luas serta menjadi referensi yang relevan bagi pengembangan ilmu dan praktik rekayasa.

Redaksi
Jurnal Teknik Mesin Indonesia

Prof. Ir. Ubaidillah, S.T., M.Sc., Ph.D.
Editor-in-chief

Daftar paper Vol. 20, No. 2, Oktober 2025

No.	ID	Title	Author	Page
1	11	Analisis kekuatan dan stabilitas struktur Trolley terhadap variasi beban statis menggunakan metode elemen hingga (FEA)	Khafidh Deedat Alnurasyid	1-9
2	2	Rancang bangun sistem monitoring suhu 10 channels berbasis mikrokontroler	Rustam Efendi	10-18
3	24	Pemodelan cerdas disain meja belajar sederhana: Analisis material dengan finite element approach	Ameliyana Rizky Syamara Putri Akhmad Yani	19-24
4	9	Aplikasi drone penabur benih jagung sebagai pertanian berkelanjutan	Tia Tanjung	25-30
5	23	Design of safety distance driving based on smart detect application	Muhammad Faizin	31-37
6	28	Rancang bangun prototype conveyor dengan sensor infrared dan robotic arm berbasis arduino untuk otomatisasi material handling	Filia Solagratia Takasumiang	38-44
7	31	Analisis kinerja sepeda motor dengan modifikasi oversize ruang bakar	Syaiful Arif	45-50

Analisis kekuatan dan stabilitas struktur *trolley* terhadap variasi beban statis menggunakan metode elemen hingga (FEA)

Khafidh Deedat Alnurrasyid¹, Iwan Nugraha Gusniar², Aripin³

^{1,2,3}Teknik Mesin, Universitas Singaperbangsa Karawang

Jl. HS.Ronggo Waluyo, Puseurjaya, Telukjambe Timur, Karawang, Jawa Barat

Email korespondensi: didatjr@gmail.com

Received: 30 September 2025, Reviewed: 7 November 2025, Published: 21 March 2026

DOI: <https://doi.org/10.71452/ysxcxc25>

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kekuatan dan stabilitas rangka troli ketika menerima beban statis dengan menggunakan pendekatan Finite Element Analysis (FEA). Model tiga dimensi troli dibuat melalui SolidWorks dan dianalisis pada tiga variasi pembebanan, yaitu 8.000 N, 10.000 N, dan 12.000 N. Material S45C dipilih karena memiliki karakteristik mekanik yang sesuai untuk aplikasi struktural. Analisis dilakukan terhadap parameter utama berupa tegangan von Mises, deformasi total, dan faktor keamanan untuk mengetahui respons struktural rangka secara menyeluruh. Hasil simulasi menunjukkan bahwa seluruh nilai tegangan maksimum masih berada jauh di bawah batas luluh material, sehingga struktur tetap berperilaku elastis. Deformasi total meningkat secara linier terhadap penambahan beban, menandakan bahwa rangka belum menunjukkan indikasi deformasi permanen atau potensi kerusakan. Nilai faktor keamanan berada pada kisaran 3,05 hingga 4,52, yang menunjukkan bahwa rancangan memiliki margin keselamatan yang tinggi terhadap variasi pembebanan. Penelitian ini penting dilakukan karena troli merupakan alat bantu utama dalam proses pemindahan material di lingkungan industri, sehingga diperlukan struktur yang kuat, stabil, dan aman untuk menjamin kelancaran operasional serta mencegah risiko kegagalan yang dapat mengganggu produktivitas. Melalui analisis berbasis FEA, kondisi kerja aktual dapat disimulasikan secara tepat sehingga desain rangka dapat divalidasi sebelum proses manufaktur, sekaligus menjadi dasar teknis dalam upaya penyempurnaan desain di masa mendatang.

Kata kunci: struktur trolley, pembebanan statik, FEA, tegangan Von Mises, faktor keamanan.

Abstract. This study aims to evaluate the strength and stability of a trolley frame subjected to static loading using the Finite Element Analysis (FEA) approach. A three-dimensional model of the trolley was developed in SolidWorks and analyzed under three loading conditions: 8,000 N, 10,000 N, and 12,000 N. S45C steel was selected due to its mechanical properties suitable for structural applications. The analysis focused on key parameters, including von Mises stress, total deformation, and safety factor, to obtain a comprehensive understanding of the structural response. The simulation results indicate that all maximum stress values remain well below the material's yield strength, ensuring that the structure behaves elastically. Total deformation increases linearly with the applied load, indicating that the frame has not exhibited any permanent deformation or signs of potential failure. The safety factor values range from 3.05 to 4.52, indicating that the design maintains a high safety margin under varying load conditions. This research is essential because trolleys serve as a primary material-handling tool in industrial environments, requiring a structure that is strong, stable, and safe to ensure smooth operations and prevent failures that may hinder productivity. Through FEA-based analysis, actual working conditions can be accurately simulated, allowing the frame design to be validated prior to manufacturing and serving as a technical foundation for further design improvements.

Keywords: trolley structure, static loading, FEA, von Mises stress, safety factor.

PENDAHULUAN

Industri manufaktur merupakan kumpulan perusahaan yang memiliki kesamaan dalam mengubah bahan mentah menjadi barang setengah jadi maupun barang jadi dengan nilai tambah yang signifikan. Jenis industri ini mencakup berbagai sektor seperti otomotif, pangan, sandang, dan lain sebagainya, di mana pemanfaatan peralatan mekanis dan teknologi produksi sangat bergantung pada karakteristik serta kompleksitas produk yang dihasilkan [1]. Dalam praktik produksinya, industri manufaktur biasanya mengandalkan kolaborasi antara tenaga kerja manusia dan mesin otomatis, sehingga efisiensi operasional ditentukan oleh keteraturan sistem kerja serta kualitas lingkungan kerja yang mendukung [2]. Kondisi tersebut menuntut adanya sistem pendukung yang mampu menunjang kelancaran proses produksi secara keseluruhan. Oleh karena itu, penggunaan alat bantu seperti *trolley* menjadi aspek penting untuk menciptakan alur kerja yang lebih terstruktur, menjaga keamanan produk selama proses

perpindahan maupun penyimpanan, serta mempertahankan kualitas produk hingga ke tahap distribusi [3].

Trolley merupakan alat yang digunakan dalam lingkungan industri untuk memindahkan barang, komponen, atau material dari satu titik ke titik lain dalam area produksi atau penyimpanan. *Trolley* umumnya dilengkapi dengan roda dan dirancang dengan berbagai konfigurasi, seperti rak bertingkat, platform datar, atau dudukan khusus, agar sesuai dengan jenis barang yang diangkut. Penggunaan *trolly* memiliki peran penting dalam mendukung kelancaran alur logistik internal karena mampu mengurangi beban kerja operator, meminimalkan risiko kerusakan barang akibat pengangkutan, serta meningkatkan efisiensi waktu perpindahan material. Umumnya, troli dirancang untuk mampu menahan beban hingga mencapai 1 ton atau sekitar 10.000 N, tergantung pada jenis dan kekuatan material yang digunakan pada setiap komponen strukturalnya, seperti rangka utama, pelat dasar, serta sambungan. Material dengan kekuatan tarik tinggi, seperti baja karbon, baja paduan, atau aluminium

grade industri, memiliki kapasitas daya dukung yang lebih besar dibandingkan dengan material ringan biasa [4]. Dalam konteks ini, tingkat kekakuan struktur pada *trolis* harus dirancang sedemikian rupa untuk memastikan keselamatan operasional, efisiensi penggunaan, serta keandalan dalam menopang beban yang dikenakan selama proses kerja.

Dalam proses perancangan, *trolis* harus mampu menahan beban statik yang timbul akibat bobot total yang didistribusikan oleh berat muatan, serta berbagai gaya diam yang bekerja baik saat *trolis* dalam kondisi tidak bergerak maupun selama proses perpindahan posisi. Oleh karena itu, analisis struktural menjadi aspek krusial untuk memastikan bahwa semua elemen rangka *trolis* memiliki ketahanan yang memadai terhadap gaya tekan, lentur, dan puntir yang mungkin terjadi. Desain yang optimal juga perlu mempertimbangkan faktor keamanan, jenis material, serta distribusi beban agar trolley dapat berfungsi secara stabil dan aman dalam berbagai kondisi operasional [5]. Untuk menjawab tantangan tersebut, analisis numerik menggunakan metode elemen hingga (*Finite Element Method/FEA*) menjadi salah satu pendekatan yang banyak diterapkan dalam bidang rekayasa teknik, khususnya melalui perangkat lunak *SolidWorks*. Metode *Finite Element* (FEA) memberikan kemampuan untuk mensimulasikan perilaku mekanik suatu struktur secara menyeluruh terhadap berbagai beban kerja, dengan mempertimbangkan karakteristik material secara rinci seperti modulus elastisitas, kekuatan tarik, serta batas leleh. Melalui pendekatan ini, distribusi tegangan, deformasi, dan faktor keamanan dapat dievaluasi secara akurat, sehingga memungkinkan perancang untuk mengidentifikasi potensi kegagalan struktur sebelum komponen diproduksi secara fisik, serta mengoptimalkan desain demi efisiensi dan keandalan produk [6].

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah disampaikan, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa statik struktur trolley dengan pendekatan metode elemen hingga (*Finite Element Method*). Evaluasi ini meliputi analisis distribusi tegangan, deformasi, serta perhitungan faktor keamanan guna memastikan bahwa desain struktur tersebut sesuai dengan standar keselamatan yang berlaku. Diharapkan, hasil dari studi ini dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan desain trolley yang lebih aman, andal, dan efisien secara struktural.

METODE

Penelitian ini diawali dengan tahap identifikasi kebutuhan dan spesifikasi teknis dari struktur trolley, yang mencakup kapasitas beban, dimensi, dan kriteria keamanan. Selanjutnya dilakukan pemodelan geometri tiga dimensi menggunakan perangkat lunak berbasis CAD (*Computer-Aided Design*), yakni *SolidWorks*. Setelah model geometri selesai, tahap berikutnya adalah pemilihan material berdasarkan pertimbangan sifat mekanik, seperti kekuatan tarik, modulus elastisitas, serta ketahanan terhadap deformasi permanen. Menurut peneliti terdahulu yaitu, Jamian.R (2020) menegaskan bahwa pemilihan material dengan karakteristik mekanik yang unggul, seperti baja karbon, berperan penting dalam meningkatkan tingkat

keamanan serta memperpanjang masa pakai suatu komponen [7].

Analisis numerik dilakukan menggunakan pendekatan metode elemen hingga (*Finite Element Analysis/FEA*) yang juga difasilitasi melalui fitur Simulation pada perangkat lunak *SolidWorks*. Analisis ini juga dilakukan untuk menghitung tiga parameter yaitu mencakup evaluasi tegangan von Mises, Tegangan von Mises merupakan tegangan ekuivalen yang digunakan sebagai acuan untuk menilai apakah suatu material bersifat duktail akan mengalami kegagalan ketika nilai tegangan tersebut mencapai atau melampaui batas luluh material [8].

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \quad (1)$$

Dimana,

σ_v = Tegangan von – mises (N/mm²) =

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ = Tegangan utama dalam tiga sumbu

Deformasi total merupakan salah satu indikator penting dalam mengevaluasi kestabilan elemen balok terhadap kekuatannya. Umumnya, deformasi menggambarkan perubahan bentuk yang terjadi pada struktur, seperti pembengkokan atau pergeseran posisi titik-titik pada bentang balok, yang dikenal sebagai defleksi akibat beban yang bekerja sepanjang bentangnya [9].

$$\delta = \frac{F.L}{A.E} \quad (2)$$

Di mana,

δ = Deformasi (mm)

F = Gaya yang bekerja (N)

L = Panjang material (mm)

A = Luas penampang (mm²)

E = Modulus elastisitas (N/mm²)

Serta faktor keamanan (*safety factor*) digunakan sebagai tolok ukur untuk memastikan bahwa perencanaan suatu elemen mesin berada dalam batas aman. Berdasarkan teori yang dikemukakan oleh Mott R (2004), untuk struktur yang menerima beban statis dan membutuhkan tingkat keandalan tinggi, nilai *safety factor* yang disarankan berada dalam rentang 1,25 hingga 2,0 [10].

$$n = \frac{\sigma_y}{\sigma_{act}} \quad (3)$$

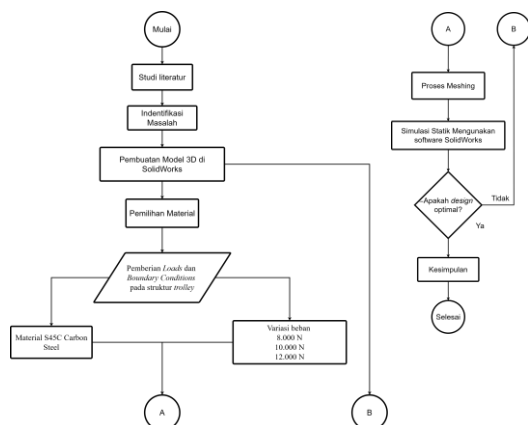
Dimana,

n = Faktor keamanan

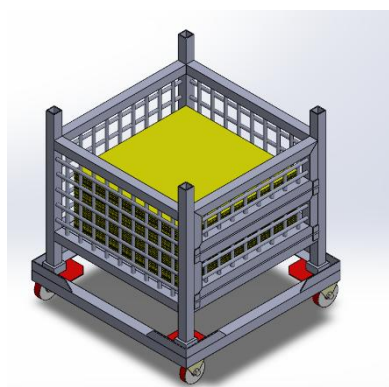
σ_y = Tegangan luluh material (N/mm²)

σ_{act} = Tegangan aktual yang terjadi pada material (N/mm²)

Hasil dari simulasi digunakan untuk menilai apakah desain telah memenuhi batas aman yang ditetapkan dan untuk memberikan masukan perbaikan pada desain apabila diperlukan. Dengan metode ini, validitas struktur dapat diuji secara virtual sebelum dilanjutkan ke tahap manufaktur.



Gambar 1. Diagram alir Analisis Kekuatan dan Stabilitas Struktur Trolley terhadap Variasi Beban Statis.



Gambar 2. Design struktur trolley.

Material Properties

Penelitian ini difokuskan pada analisis kekuatan struktur rangka troli dengan menerapkan metode *Finite Element Analysis* (FEA). Evaluasi dilakukan dalam kondisi pembebanan statik untuk mengetahui perilaku mekanis rangka, seperti tegangan dan deformasi yang terjadi. Selain itu, pembebanan dilakukan dalam tiga level berbeda, yaitu sebesar 8.000 N, 10.000 N, dan 12.000 N, beban ini didasarkan pada kondisi aktual penggunaan *trolley* yang difungsikan untuk menopang bahan baku produksi dengan estimasi berat operasional maksimum dengan tujuan untuk menganalisis respons struktur terhadap variasi beban yang diterapkan dalam kondisi statik [11]. Material yang digunakan dalam struktur tersebut adalah baja karbon tipe S45C, yang dikenal memiliki sifat mekanis yang baik dan sesuai untuk aplikasi yang menuntut ketahanan terhadap beban tinggi. S45C adalah baja karbon sedang (medium carbon steel) dari standar Jepang JIS G4051. Baja ini memiliki kandungan karbon sekitar 0,45%, yang memberikan kombinasi antara kekuatan dan ketangguhan. Baja S45C banyak digunakan pada komponen mekanik seperti poros, roda gigi, baut, crankshaft, dan bagian mesin lainnya yang memerlukan sifat kekuatan tarik dan ketahanan terhadap keausan yang cukup baik.

Tabel 1. Material Properties S45C Carbon Steel [12].

Parameter	Nilai
Density	7.85 (g/cm ³)
Modulus of Elasticity	205-210 GPa
Poisson Ratio	0.27 – 0.30 N/A
Yield Strength	345 N/mm ² (MPa)
Tensile Strength	570-700 N/mm ² (MPa)

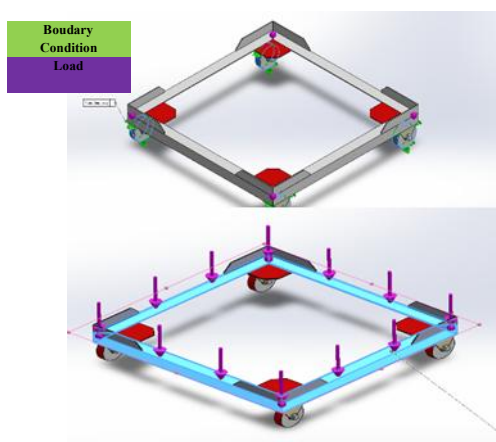
Pemberian Load dan Boundary Condition pada struktur trolley

Analisis menggunakan metode elemen hingga, penerapan beban yang ditempatkan pada bagian rangka troli, serta penentuan kondisi batas merupakan aspek penting yang sangat memengaruhi ketelitian dan kesesuaian hasil simulasi terhadap kondisi nyata [13]. Pada gambar pertama, ditampilkan model struktur rangka dengan empat roda di setiap sudut. Warna hijau menunjukkan adanya penempatan *Fixed Geometry*, yang berarti bagian tersebut dianggap terkunci atau tidak mengalami perpindahan dalam simulasi. Hal ini digunakan untuk mensimulasikan kondisi tumpuan tetap, di mana gaya atau momen eksternal tidak akan menyebabkan pergerakan pada titik-titik tersebut. Titik-titik ini biasanya merepresentasikan area yang terhubung langsung ke permukaan atau elemen pendukung tetap seperti lantai atau kerangka utama [14]. Sementara itu, pada gambar kedua, terdapat panah berwarna ungu yang mengarah ke bawah dan tersebar secara merata pada sisi-sisi rangka. Panah-panah ini menggambarkan penerapan beban statis yang bekerja vertikal ke bawah, biasanya dimaksudkan untuk merepresentasikan beban yang ditopang oleh struktur, baik berasal dari berat sendiri, muatan, atau gaya eksternal lain. Posisi dan jumlah beban ini disesuaikan dengan skenario pengujian struktur untuk mengetahui seberapa besar pengaruhnya terhadap deformasi, tegangan, dan stabilitas keseluruhan rangka [15]. Dalam penelitian ini, beban yang diterapkan bersifat statis, menggambarkan kondisi di mana struktur menerima gaya konstan akibat massa muatan yang diletakkan di atas rangka troli. Sementara itu, kondisi batas ditetapkan untuk membatasi gerakan pada titik-titik tertentu yang berperan sebagai penopang tetap dalam sistem. Penyesuaian antara pembebanan dan batasan dilakukan berdasarkan penggunaan di lapangan, agar hasil simulasi mampu merepresentasikan respons mekanis struktur secara lebih akurat dan sesuai dengan kondisi nyata, seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.

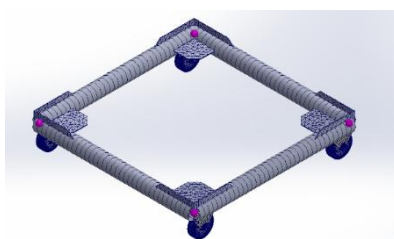
Proses Meshing

Setelah tahap penentuan geometri, jenis material, beban, serta kondisi batas selesai dilakukan, langkah berikutnya dalam analisis elemen hingga (*Finite Element Analysis*/FEA) adalah proses meshing. Proses ini bertujuan untuk membagi model geometri menjadi sejumlah elemen kecil yang saling terhubung, yang dikenal sebagai elemen

hingga, guna mempermudah perhitungan numerik dalam simulasi [16]. Elemen-elemen ini digunakan untuk menyederhanakan perhitungan dalam analisis numerik, sehingga distribusi tegangan, deformasi, dan parameter mekanik lainnya dapat dianalisis secara mendetail dan akurat. Akurasi hasil simulasi sangat bergantung pada kualitas serta tingkat kerapatan mesh yang diterapkan. Mesh dengan ukuran terlalu besar berisiko menghasilkan perhitungan yang kurang tepat, sedangkan mesh yang sangat halus cenderung membutuhkan waktu komputasi yang lebih lama. Oleh karena itu, penting untuk menentukan ukuran elemen secara optimal dan konsisten, guna memperoleh hasil simulasi yang efisien namun tetap mencerminkan respons struktur secara realistis. Adapun gambar dari meshing dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 3. Pemberian Loads dan Boundary Condition pada struktur trolley.



Gambar 3. Proses Meshing pada Struktur trolley.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi numerik menggunakan metode elemen hingga (*Finite Element Analysis, FEA*) yang telah dilakukan terhadap model struktur rangka *trolley*. Simulasi ini bertujuan untuk mengevaluasi respons mekanis struktur terhadap variasi beban statik yang diterapkan, mencakup tiga skenario pembebanan: 8.000 N, 10.000 N, dan 12.000 N. Evaluasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *SolidWorks Simulation*, berdasarkan model geometri dan parameter material yang telah ditentukan.

Analisis dilakukan terhadap tiga parameter utama, yaitu tegangan *von Mises*, deformasi total (*total displacement*), dan faktor keamanan (*safety factor*). Ketiga parameter ini dipilih karena mewakili aspek krusial dalam

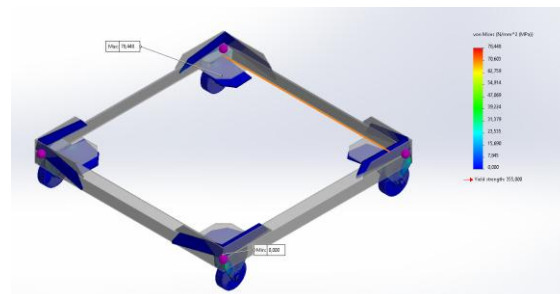
penilaian kekuatan dan stabilitas struktur. Tegangan *von Mises* digunakan untuk mengevaluasi apakah material mengalami tegangan melebihi batas elastis (tegangan luluh), sedangkan deformasi total digunakan untuk melihat perubahan bentuk global dari struktur akibat beban. Faktor keamanan disimulasikan untuk menentukan apakah desain struktur berada dalam batas aman sesuai dengan standar teknik yang berlaku.

Tabel 2. Rincian informasi meshing pada struktur trolley.

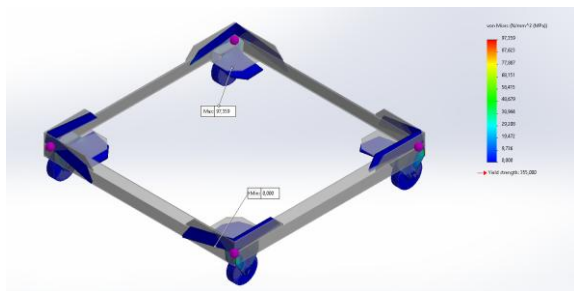
Parameter	Keterangan
Mesh type	Solid mesh
Mesher used	Standar mesh
Automatic transition	Off
Include mesh auto loops	Off
Element size	21.1800 mm
Tolerance	1.0276
Mesh quality	High
Total node	30.560
Total element	20.590

Analisis Tegangan Von Mises

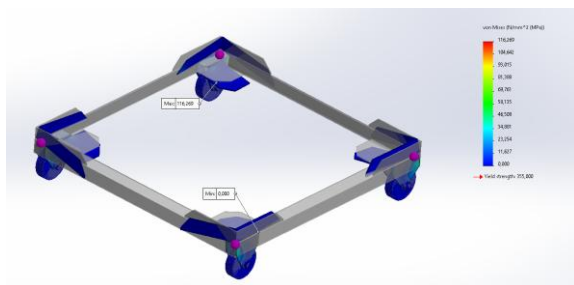
Analisis tegangan *von Mises* dilakukan untuk mengevaluasi apakah struktur *trolley* mampu menahan pembebanan tanpa mengalami kegagalan plastis. Tegangan ini digunakan sebagai parameter acuan untuk menilai apakah tegangan maksimum yang terjadi pada struktur telah mendekati atau melampaui batas elastisitas material. Adapun visualisasi hasil simulasi tegangan *von Mises* yang ditampilkan pada Gambar 5 hingga Gambar 7 untuk masing-masing variasi beban statik. Distribusi warna menunjukkan intensitas tegangan, dengan area berwarna merah menunjukkan tegangan maksimum yang terjadi pada rangka *trolley*. Nilai tegangan maksimum untuk masing-masing variasi beban ditampilkan pada Tabel 3.



Gambar 4. Simulasi Tegangan Von Mises Struktur Trolley Beban 8.000 N.



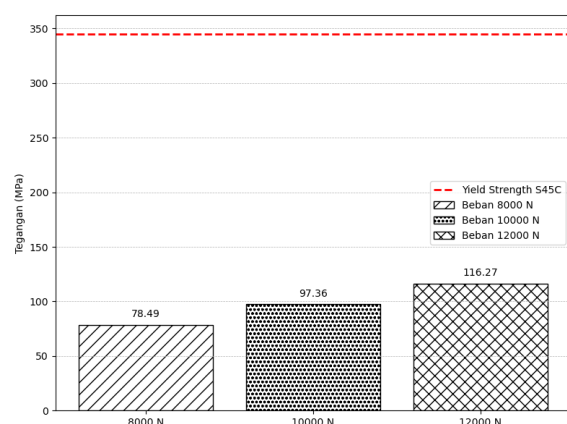
Gambar 5. Simulasi Tegangan Von Mises Struktur Trolley Beban 10.000 N.



Gambar 6. Simulasi Tegangan Von Mises Struktur Trolley Beban 12.000 N.

Tabel 3. Tegangan Von Mises Maksimum pada Struktur Trolley terhadap Beban Statik.

<i>Yield Strength</i> N/mm ² (MPa) <i>S45C Carbon Steel</i>	Beban (N)	Nilai N/mm ² (MPa)
345	8000	78,488
	10000	97,359
	12000	116,269



Gambar 8. Tegangan von Mises Maksimum terhadap Variasi Beban Struktur Trolley.

Adapun hubungan antara variasi beban statik dan tegangan maksimum yang terjadi pada struktur *trolly* ditunjukkan pada Gambar 8.

Gambar 8 menunjukkan bahwa tegangan *Von Mises* maksimum meningkat seiring bertambahnya beban statik yang diterapkan pada struktur *trolly*. Pada beban 8.000 N, tegangan yang terjadi sebesar 78,49 MPa, meningkat menjadi 97,36 MPa pada 10.000 N, dan mencapai 116,27 MPa pada 12.000 N. Seluruh nilai tersebut berada jauh di bawah tegangan luluh material S45C sebesar 345 MPa, yaitu berkisar antara 22% hingga 34% dari batas elastis.

Hal ini mengindikasikan bahwa struktur masih bekerja dalam zona elastis dan tidak menunjukkan potensi kegagalan plastis. Oleh karena itu, desain rangka dapat dikatakan aman terhadap ketiga variasi beban yang diuji. Meskipun demikian, peningkatan tegangan yang signifikan pada beban tinggi menunjukkan perlunya batasan operasional atau penguatan lokal pada area kritis guna menjaga keandalan jangka panjang.

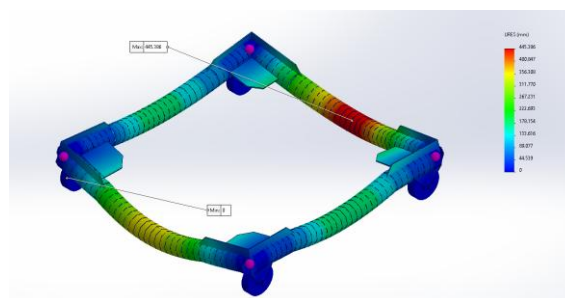
Berdasarkan teori *VonMises yield criterion* juga dikenal sebagai *maximum distortion energy criterion* material *ductile* mulai mengalami plastisitas ketika energi distorsi melebihi energi distorsi pada kondisi *uniaxial tensile test*, yaitu saat tegangan *von Mises* mencapai batas *yield strength* material [17]

Analisis Deformasi Total

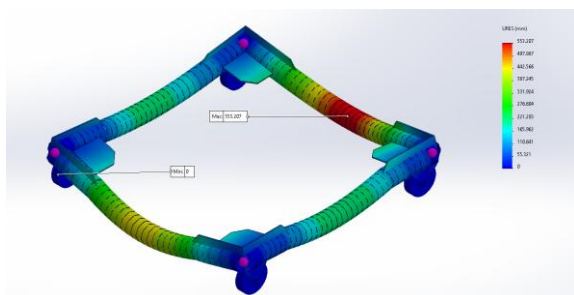
Deformasi total merupakan parameter penting yang digunakan untuk mengevaluasi respon geometrik struktur terhadap pembebanan yang diberikan. Deformasi menunjukkan perubahan bentuk atau perpindahan titik-titik pada struktur akibat gaya statik, yang dapat berupa pembengkokan, pergeseran, atau defleksi [18].

Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai deformasi maksimum meningkat seiring bertambahnya beban. Deformasi terbesar terjadi pada bagian tengah pelat atas struktur *trolly*, yang secara langsung menerima distribusi beban. Adapun simulasi deformasi total dilihat pada Gambar 9 hingga Gambar 11, dengan nilai deformasi total maksimum untuk masing-masing variasi beban dapat dilihat pada Tabel 4.

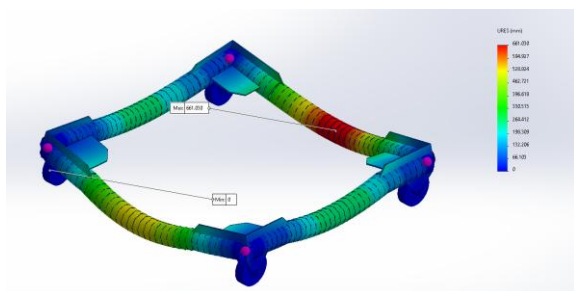
Hasil deformasi total maksimum disajikan dalam bentuk Gambar 12 yang menunjukkan hubungan antara besar beban statik yang diterapkan dengan nilai perpindahan maksimum yang terjadi pada rangka *trolly*. Nilai deformasi yang semakin meningkat menunjukkan adanya hubungan linier antara beban dan perubahan bentuk struktur.



Gambar 9. Distribusi Deformasi Total Beban 8.000 N.



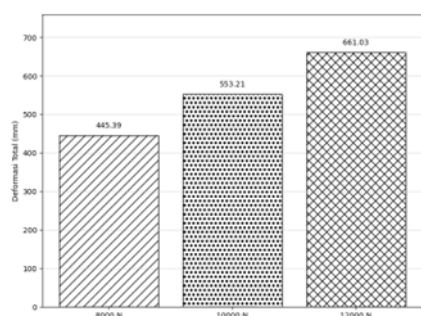
Gambar 10. Distribusi Deformasi Total Beban 10.000 N.



Gambar 11. Distribusi Deformasi Total Beban 12.000 N.

Table 4. Hasil Distribusi Deformasi Total Terhadap Beban Struktur Trolley.

Material	Beban	Maksimum Displacement (mm)
S45C Carbon Steel	8000	445,386
	10000	553,207
	12000	661,030



Gambar 12. Deformasi Total Maksimum Struktur Trolley terhadap Beban Statik.

Dari Gambar 12, hasil simulasi menunjukkan bahwa deformasi total maksimum yang terjadi pada struktur *trolley* meningkat secara bertahap sesuai dengan pertambahan beban statik yang diberikan. Pada pembebanan sebesar 8.000 N, deformasi maksimum tercatat sebesar 445,39 mm. Nilai ini meningkat menjadi 553,21 mm pada beban 10.000 N, dan mencapai 661,03 mm pada pembebanan tertinggi, yaitu 12.000 N. Peningkatan deformasi yang relatif sebanding terhadap beban menunjukkan bahwa

struktur merespons gaya yang diberikan secara linier dan konsisten.

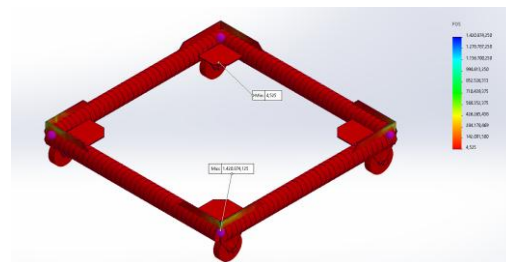
Respons linier dari deformasi ini menunjukkan bahwa struktur masih bekerja dalam zona elastis material. Berdasarkan Hooke's Law, selama tegangan yang dihasilkan masih berada di bawah batas luluh, deformasi yang timbul bersifat elastis dan dapat kembali ke bentuk semula setelah beban dihilangkan. Prinsip ini diperkuat oleh literatur teknik dari Budynas dan Nisbett (2015) yang menegaskan bahwa deformasi elastis tidak menyebabkan kerusakan struktural permanen selama tidak melampaui batas elastis material [19].

Selain itu, penelitian oleh Sun L. (2020) dalam *nanosctructural metallic* juga menunjukkan bahwa struktur logam dengan respon deformasi linier terhadap pembebanan statik menunjukkan kinerja mekanik yang aman dan efisien hingga mendekati batas elastisnya [20].

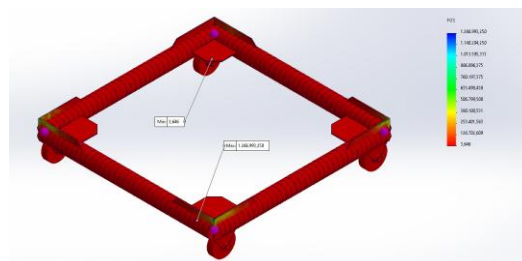
Analisis Safety Factor

Dalam penelitian ini, tegangan luluh material S45C adalah sebesar 345 MPa. Tegangan aktual diperoleh dari hasil simulasi tegangan *Von Mises* maksimum untuk masing-masing variasi beban. Nilai faktor keamanan yang direkomendasikan untuk struktur statik menurut Mott (2002) berada pada rentang 1,25 hingga 2,0 untuk memastikan struktur cukup aman terhadap beban kerja tanpa *over design* [21]. Adapun nilai faktor keamanan pada struktur *trolley* dihitung berdasarkan hasil simulasi pada Gambar 13 hingga Gambar 15 dan hasilnya ditampilkan dalam Tabel 5.

Gambar 16 menunjukkan perbandingan antara nilai faktor keamanan pada masing-masing variasi beban statik terhadap batas aman yang direkomendasikan.



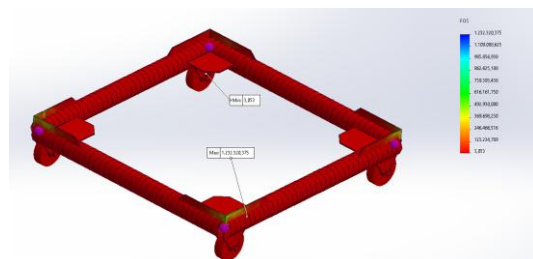
Gambar 13. Simulasi Safety Factor pada struktur Trolley dengan beban 8.000 N.



Gambar 14. Simulasi Safety Factor pada Struktur Trolley dengan Beban 10.000 N.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai faktor keamanan pada struktur *trolley* menurun seiring bertambahnya beban statik yang diberikan. Nilai tertinggi diperoleh pada beban 8.000 N sebesar 4,525, kemudian

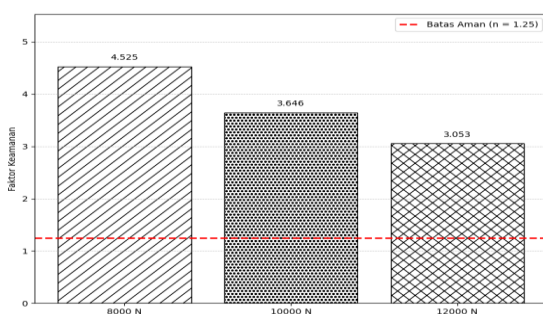
menurun menjadi 3,646 pada beban 10.000 N, dan mencapai 3,053 pada beban 12.000 N. Meskipun terjadi penurunan, seluruh nilai masih berada di atas batas aman yang direkomendasikan untuk struktur statik, yaitu 1,25.



Gambar 15. Simulasi Safety Factor pada Struktur Trolley dengan Beban 12.000 N.

Table 5. Hasil Simulasi Safety Factor Terhadap Variasi Beban Struktur Trolley.

Material	Beban	Safety Factor
S45C Carbon Steel	8000	4,525
	10000	3,646
	12000	3,053



Gambar 16. Safety Factor Struktur Trolley terhadap Variasi Beban Statik.

Di mana nilai faktor keamanan yang cukup tinggi menunjukkan bahwa struktur memiliki margin keamanan yang baik terhadap kegagalan. Hal ini penting untuk menjaga keandalan struktur dalam kondisi kerja sebenarnya, termasuk adanya toleransi terhadap variasi beban, kesalahan produksi, atau ketidaksesuaian material. Dengan hal ini, nilai faktor keamanan yang relatif tinggi pada rentang 3,053–4,525 menandakan bahwa struktur rangka troli memiliki cadangan daya dukung (safety margin) yang signifikan terhadap ketidakpastian beban, toleransi manufaktur, dan variasi material. Studi dalam Literature Safety Margins and Design Margins menjelaskan bahwa margin keselamatan ditambahkan pada desain untuk mengatasi risiko yang diketahui, sementara margin desain mengompensasi ketidakpastian proses dan toleransi [22].

Dalam kondisi penggunaan nyata, nilai *safety factor* yang tinggi berarti troli mampu menahan beban operasional meskipun terdapat ketidaksempurnaan manufaktur seperti kualitas las yang bervariasi, penyimpangan dimensi saat produksi, maupun potensi penurunan kekuatan material akibat korosi atau keausan selama pemakaian jangka panjang. *Safety factor* di atas 3 juga menunjukkan bahwa struktur tetap aman jika terjadi distribusi beban yang tidak merata, misalnya ketika muatan ditempatkan hanya pada salah satu sisi troli atau ketika troli digunakan pada permukaan lantai yang tidak rata. Dengan demikian, nilai *safety factor* yang dihasilkan tidak hanya mengonfirmasi bahwa desain memenuhi syarat keamanan secara teoritis, tetapi juga menunjukkan bahwa troli mampu bekerja secara andal dalam kondisi lapangan yang dinamis dan tidak ideal.

Pembahasan Fenomena Hasil Simulasi

Hasil simulasi FEA menunjukkan bahwa peningkatan tegangan *von Mises* pada setiap kenaikan beban merupakan respons alami struktur sesuai teori elastisitas, di mana tegangan akan meningkat sebanding dengan gaya yang diberikan. Tegangan maksimum muncul pada area sambungan dan sudut rangka karena adanya konsentrasi tegangan akibat perubahan geometri. Dalam kondisi nyata, area tersebut merupakan titik rawan yang berpotensi mengalami retak atau kerusakan awal, namun karena seluruh tegangan yang dihasilkan masih jauh di bawah batas luluh material S45C, troli tetap aman dan bekerja dalam zona elastis.

Deformasi total yang meningkat secara linier terhadap beban menunjukkan bahwa struktur masih berperilaku elastis. Deformasi terbesar terjadi pada pelat atas yang menerima beban langsung, sehingga menjadi area utama terjadinya lendutan. Dalam penggunaan riil, deformasi ini perlu diperhatikan karena dapat memengaruhi stabilitas muatan, tetapi selama berada di bawah batas elastis material, tidak menimbulkan risiko deformasi permanen. Hal ini mengindikasikan bahwa rancangan rangka troli masih cukup kaku dan mampu menahan beban operasional dengan baik.

Nilai faktor keamanan yang menurun seiring bertambahnya beban merupakan konsekuensi dari meningkatnya tegangan internal, namun seluruh nilai *safety factor* masih berada jauh di atas batas minimum (1,25). Hal ini menunjukkan bahwa struktur memiliki margin keselamatan yang tinggi, sehingga tetap aman digunakan pada seluruh variasi beban yang diuji.

Secara keseluruhan, hasil simulasi menegaskan bahwa desain troli memiliki kekuatan dan kestabilan yang baik untuk penggunaan nyata. Titik tegangan tinggi menunjukkan area yang dapat diperkuat untuk meningkatkan umur pakai, sedangkan pola deformasi dan nilai faktor keamanan membuktikan bahwa material S45C dan desain rangka telah sesuai untuk aplikasi beban statik. Temuan ini dapat digunakan sebagai dasar peningkatan desain maupun penentuan batas beban kerja aman pada produk di lapangan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan metode Finite Element Analysis (FEA) terhadap struktur troli pada tiga variasi beban statik, yaitu 8.000 N, 10.000 N, dan 12.000 N, diperoleh beberapa kesimpulan penting terkait kinerja dan kelayakan struktur secara aktual. Pertama, hasil analisis tegangan von Mises menunjukkan bahwa tegangan maksimum meningkat seiring bertambahnya beban, masing-masing sebesar 78,49 MPa, 97,36 MPa, dan 116,27 MPa. Seluruh nilai ini masih jauh di bawah batas luluh material S45C (345 MPa), sehingga struktur tetap berada dalam zona elastis dan tidak menunjukkan potensi kegagalan plastis. Dalam situasi aktual, hal ini mengindikasikan bahwa troli mampu bekerja dengan aman meskipun digunakan pada beban maksimum operasional.

Deformasi total yang terjadi juga meningkat secara linier dengan penambahan beban, mulai dari 445,39 mm pada 8.000 N hingga 661,03 mm pada 12.000 N. Pola deformasi yang linier menunjukkan bahwa material masih merespons secara elastis sesuai teori *Hooke*. Dalam penggunaan nyata, deformasi ini menggambarkan lendutan saat troli menahan beban. Meskipun masih dalam batas aman, area pelat atas yang mengalami deformasi terbesar menjadi titik yang perlu diperhatikan untuk memastikan stabilitas muatan dan kenyamanan operasional pada penggunaan jangka panjang.

Nilai *safety factor* menunjukkan penurunan seiring meningkatnya beban, yaitu 4,525 pada 8.000 N, 3,646 pada 10.000 N, dan 3,053 pada 12.000 N. Meskipun menurun, seluruh nilai berada jauh di atas batas aman minimum (1,25), sehingga struktur memiliki margin keselamatan yang tinggi. Dalam kondisi aktual, *safety factor* yang lebih

besar dari 3 menunjukkan bahwa troli tetap aman digunakan meskipun terdapat ketidaksempurnaan manufaktur, ketidakseimbangan distribusi beban, atau degradasi material akibat pemakaian.

Secara keseluruhan, hasil simulasi membuktikan bahwa struktur troli memiliki kekuatan, kekakuan, dan stabilitas yang memadai untuk digunakan dalam kondisi operasional nyata. Nilai tegangan yang rendah terhadap batas luluh menunjukkan kesesuaian material, deformasi linier menunjukkan struktur bekerja dalam kondisi elastis, dan nilai *safety factor* yang tinggi memastikan tingkat keselamatan yang baik. Hasil simulasi ini dapat dijadikan dasar pengembangan desain, penentuan kapasitas beban operasional yang aman (*safe working load*), serta perbaikan lokal pada area yang menerima konsentrasi tegangan tinggi untuk meningkatkan umur pakai dan keandalan *troli* pada lingkungan industri.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Iwan Nugraha Gusniar dan Bapak Aripin selaku dosen pembimbing atas bimbingan, arahan, dan dukungan yang telah diberikan selama proses penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Program Studi Teknik Mesin, Universitas Singaperbangsa Karawang, atas fasilitas dan sarana yang mendukung kelancaran penelitian ini. Tidak lupa, terima kasih kepada keluarga dan rekan-rekan yang senantiasa memberikan semangat dan motivasi hingga terselesaikannya laporan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Akbar Kurniawan and Muhammad Yasin, "Strategi Orientasi pada Industri Manufaktur," *Jurnal Ekonomi Bisnis dan Kewirausahaan*, vol. 1, no. 4, pp. 30–33, Jul. 2024, doi: 10.69714/9dqvj29.
- [2] I. Imaduddin, S. A. A. Sari, T. A. Hermansyah, and A. C. T. R. Tenridolong, "Pengaruh Teknologi Industri 5.0 terhadap Efisiensi Manajemen Produksi di Perusahaan Manufaktur," *EKOMA : Jurnal Ekonomi, Manajemen, Akuntansi*, vol. 4, no. 1, pp. 2376–2384, Nov. 2024, doi: 10.56799/ekoma.v4i1.5969.
- [3] Adji Kurnianto and Aswan Munang, "Analisis pengaruh lingkungan kerja terhadap produktivitas kerja pada operator mesin turning manual," *JENIUS : Jurnal Terapan Teknik Industri*, vol. 4, no. 2, pp. 190–200, Jun. 2023, doi: 10.37373/jenius.v4i2.501.
- [4] N. I. Mufadhol, B. Hartoyo, and S. Kumbarasari, "Rancang bangun troli pengangkut sparepart kapal laut berkapasitas 1 ton," *JME (Jurnal Mekanika dan Energi)*, vol. 2, no. 1, pp. 1–7, 2023.
- [5] S. Wijaya and R. Hanifi, "Perancangan Dan Analisis Statik Pada Hand Trolley Menggunakan Pendekatan Metode Elemen Hingga," *ARMATUR: Artikel Teknik Mesin & Manufaktur*, vol. 5, no. 2, pp. 62–69, 2024.
- [6] C. Tabayyun, Kardiman, and Ujiburrahman, "Analisis Frame Meja Dandori Menggunakan Metode Finite Element Analysis (FEA)," *Metrotech (Journal of Mechanical and Electrical Technology)*, vol. 4, no. 2, pp. 77–87, May 2025, doi: 10.70609/metrotech.v4i2.6955.
- [7] R. Jamian, M. A. Sahat, and J. A. Shukor, "The Adoption of Poka-yoke Mechanism towards Reducing the Incident of Unlifted Side Stand of Motorcycle," *Progress in Engineering Application and Technology*, vol. 1, no. 1, pp. 448–457, 2020.
- [8] P. M. Padila and D. T. Santoso, "Analisis Statik Center Stand Sepeda Motor Menggunakan Metode Elemen Hingga," *ARMATUR: Artikel Teknik Mesin & Manufaktur*, vol. 6, no. 1, pp. 101–108, 2025.
- [9] M. Alaydrus, S. Nurlina, and C. R. N, "Analisis Deformasi Struktur Balok Beton Bertulang Dengan Lubang Hollow Core Pada Tengah Balok," *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya*, vol. 1, no. 3, 2016.

- [10] I. Roswandi and R. Rahmat, "Analisis beban pada hook pembalik produk AEET dengan software SolidWorks 2018," in *Prima*, 2020, pp. 10–18.
- [11] A. Bagus Prasetyo, K. Ayuhikmatin Sekarjati, I. P. A. Assagaf, and I. Rizaki Putra, "Studi Numerik Pengaruh Variasi Pembebanan Troli Pengangkut Barang di Laboratorium Manufaktur ITNY Terhadap Analisis Struktur Menggunakan Metode Elemen Hingga," *Journal of Energy, Materials, & Manufacturing Technology*, vol. 2, no. 01, pp. 30–39, Jan. 2023, doi: 10.61844/jemmtec.v2i01.280.
- [12] Y. Ketmuang, V. Boonmag, and A. Phukaoluan, "Fracture Analysis of S45C Medium Carbon Steel for the Van Front Drive Shaft," *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, pp. 35–43, 2024, doi: 10.18178/ijmerr.13.1.35-43.
- [13] J. A. Martins and E. C. Romão, "The Importance of Accurate Boundary Conditions in Obtaining Reliable Shearing Stresses on a Torsional Finite Element Simulation," *Engineering, Technology & Applied Science Research*, vol. 12, no. 3, pp. 8482–8487, Jun. 2022, doi: 10.48084/etasr. 4708.
- [14] M. A. Sabtu, A. E. Admi, M. Mohamed Salleh, S. A. Osman, and S. A. Osman, "Finite Element Analysis of Stress Distribution in AL6061 Frame Structures Under Varying Applied Loads," *International Journal of Integrated Engineering*, vol. 16, no. 2, Apr. 2024, doi: 10.30880/ijie.2024.16.02.027.
- [15] W. Lee and C. Zhang, "Computational consistency of the material models and boundary conditions for finite element analyses on cantilever beams," *Advances in Mechanical Engineering*, vol. 10, no. 6, Jun. 2018, doi: 10.1177/1687814018780029.
- [16] Y. Liu and G. Glass, "Effects of Mesh Density on Finite Element Analysis," Apr. 2013. doi: 10.4271/2013-01-1375.
- [17] P. D. Barsanescu and A. M. Comanici, "von Mises hypothesis revised," *Acta Mech*, vol. 228, no. 2, pp. 433–446, Feb. 2017, doi: 10.1007/s00707-016-1706-2.
- [18] J. Choi, K. Lee, J. Lee, and Y. Kang, "Evaluation of quasi-static responses using displacement data from a limited number of points on a structure," *International Journal of Steel Structures*, vol. 17, no. 3, pp. 1211–1224, Sep. 2017, doi: 10.1007/s13296-017-9027-4.
- [19] J. E. Shigley, L. D. Mitchell, and H. Saunders, "Mechanical Engineering Design (4th Ed.)," *Journal of Mechanisms, Transmissions, and Automation in Design*, vol. 107, no. 2, pp. 145–145, Jun. 1985, doi: 10.1115/1.3258702.
- [20] L. G. Sun, G. Wu, Q. Wang, and J. Lu, "Nanostructural metallic materials: Structures and mechanical properties," *Materials Today*, vol. 38, pp. 114–135, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.mattod.2020.04.005.
- [21] R. L. Mott, *Machine elements in mechanical design*. Pearson Educación, 2004.
- [22] C. Eckert and O. Isaksson, "Safety Margins and Design Margins: A Differentiation between Interconnected Concepts," *Procedia CIRP*, vol. 60, pp. 267–272, 2017, doi: 10.1016/j.procir.2017.03.140.

Rancang bangun sistem monitoring suhu 10 channels berbasis mikrokontroler

Rustam Efendi^{1*}, Arjal Tando², La Ode Sabara³, Irwansyah⁴

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin, Universitas Sulawesi Tenggara

³Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin, Universitas Sulawesi Tenggara

Jl. Kapten Piere Tendean No. 109 A, Baruga, Kendari, Sulawesi Tenggara, 93121, Indonesia

⁴Prodi Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Almuslim

Jl. Almuslim, Matangglumpangdua, Paya Cut, Kec. Peusangan, Kabupaten Bireuen, Aceh 24261, Indonesia

Email korespondensi: rustamefendi032@gmail.com

Received: 30 September 2025, Reviewed: 7 November 2025, Published: 21 March 2026

DOI: <https://doi.org/10.71452/z1gycp96>

Abstrak. Sistem monitoring suhu sangat dibutuhkan dalam kegiatan penelitian, khususnya pada fokus konversi energi di Program Studi Teknik Mesin. Salah satu sistem yang banyak digunakan adalah data logger, namun kendala biaya menjadi penghambat utama dalam pengadaannya. Salah satu hardware yang dapat dibuat menjadi sistem yang bekerja layaknya data logger adalah mikrokontroler Arduino. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem data logger suhu 10 channel berbasis mikrokontroler yang menggunakan modul amplifier CJMCU MAX31856. Sistem ini mengintegrasikan sensor termokopel tipe K, modul RTC DS3231, modul SD Card, dan display OLED. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah perancangan hardware dan software. Perancangan dilakukan mulai dari pemilihan komponen, perakitan perangkat keras, pemrograman, hingga pengujian fungsional dan kalibrasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem monitoring diuji di dalam ruangan laboratorium selama tiga hari untuk mengukur suhu ruangan, didapatkan data antarchannel saling berimpit, meskipun tetap saja ditemukan adanya kesalahan pengukuran untuk beberapa waktu. Regresi linier juga didapatkan dengan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,99$ sehingga dapat dikatakan nilai sistem monitoring dengan kontrol suhu autonic mempunyai nilai kedekatan yang tinggi. Di sisi lain, pengujian pada pipa tembaga yang mendapatkan transfer panas dari air panas juga menunjukkan tren peningkatan suhu, di mana rentang suhu yang terukur adalah 27 hingga 39 °C.

Kata kunci: data logger, MAX31856, mikrokontroler, suhu, termokopel tipe K

Abstract. A temperature monitoring system is essential in research, especially in the field of energy conversion in the Mechanical Engineering Study Program. One of the most commonly used systems is a data logger; however, its high cost often limits accessibility. An alternative hardware that can function as a data logger is the Arduino microcontroller. This study aims to design and develop a 10-channel temperature data logger system based on a microcontroller using the CJMCU MAX31856 amplifier module. The system integrates a type-K thermocouple sensor, DS3231 RTC module, SD Card module, and OLED display. The research applies both hardware and software design methods, covering component selection, hardware assembly, programming, and functional testing with calibration. The system was tested in a laboratory for three days to monitor the room temperature. The results showed that data from all channels overlapped closely, although minor measurement errors occasionally occurred. Linear regression analysis yielded an R^2 of 0.99, indicating high accuracy compared with an Autonic temperature controller. Further testing on copper pipes exposed to hot-water heat transfer showed a temperature increase trend, with readings ranging from 27 °C to 39 °C. The system proves reliable, accurate, and cost-efficient for laboratory energy research applications.

Keywords: data logger, MAX31856, microcontroller, temperature, type K thermocouple.

PENDAHULUAN

Menguraikan sistem monitoring suhu sangat dibutuhkan pada kegiatan penelitian, khususnya di Program Studi Teknik Mesin dengan fokus penelitian konversi energi. Penggunaan sistem monitoring suhu yang sangat terkenal saat ini adalah data logger dan data akuisisi. Hanya saja yang menjadi hambatan adalah biaya pengadaan. Saat ini *platform* mikrokontroler merupakan perangkat keras *open source* dan dapat dihubungkan dengan berbagai sensor [1-6].

Efendi *et al* [7] melakukan penelitian data logger 1 *channel* menggunakan amplifier MAX31856 produk buatan Amerika Serikat (US) dengan merek Adafruit berbasis mikrokontroler yang terintegrasi dengan data logger v1.0 (RTC1307 dan modul SD Card), display data disajikan dengan menggunakan aplikasi Arduino IDE. Hasil penelitian ini menyajikan kinerja pembacaan amplifier yang stabil dan konsisten dengan sensor termokopel tipe K. Penelitian yang serupa juga dilakukan

oleh Joni and Efendi [8], di mana data logger dirancang dan dibangun dengan 10 channel dengan amplifier MAX31856, menggunakan display LCD Crystal yang menampilkan per channel dan saling bergantian, serta Data logger v1.0 (RTC1307 dan modul SD Card). Hasil penelitian memperlihatkan bahwa dengan sistem 10 *channel* secara visual tidak ada perbedaan signifikan antara satu amplifier dengan yang lain. Hal tersebut dibuktikan dengan uji statistik ANOVA yang didapatkan 0,998. Penelitian ini dilanjutkan oleh Efendi *et al* [9] dengan melakukan analisis regresi linier sederhana pada kesepuluh amplifier MAX31856. Nilai koefisien determinasi (R^2) didapatkan berkisar 0,999 hingga 1. Nilai tersebut menunjukkan tingkat kesamaan yang sangat tinggi. Penelitian dengan menggunakan amplifier dengan chip MAX31856 dengan pembuatan PCB yang berbeda yakni CJMU MAX31856 menunjukkan kinerja yang seragam antara satu amplifier dengan yang lain dalam membaca termokopel tipe K [10]. Jumlah amplifier terhubung dengan termokopel tipe K sebanyak 6 *channels*. Data

logger ini menggunakan display OLED yang menampilkan data pengukuran secara keseluruhan, terintegrasi dengan RTC DS3231 dan modul SD Card.

Berdasarkan uraian di atas, telah dijumpai bahwa penggunaan amplifier CJMCU-MAX31856 belum banyak digunakan meskipun chip yang digunakan sama, yakni MAX31856. Hal ini dilakukan karena amplifier CJMCU-MAX31856, selain lebih murah dan tersedia di Indonesia, juga merupakan salah satu upaya uji coba pembuatan prototipe sekaligus menguji kinerja. Tujuan penelitian ini adalah membuat sistem monitoring suhu yang bekerja seperti data logger suhu secara *real-time*.

METODE

Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan alat laptop ASUS X450CC (spesifikasi prosesor Intel® Core™ i5-3337U 1.8 GHz, 8 GB DDR3-SDRAM, SSD SPARTAN 240 GB, NVIDIA® GeForce® GT 720M 2 GB, Intel® HD Graphics 4000, Windows 10) dan software Arduino IDE versi 2.0.2. Software Arduino IDE versi 2.0.2, solder, obeng, dan lem tembak. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah satu buah Arduino Mega 2560, 10 unit Modul CMJCU MAX31856 (Universal termokopel) dilengkapi dengan termokopel tipe K, Adaptor USB V-Gen, Modul RTC, Modul SD Card, Micro SD V-Gen 32 GB, kabel jumper, dan box panel. Skema data logger disajikan pada Gambar 1. Komponen sistem monitoring disajikan pada Tabel 1.

Perancangan Sistem Monitoring

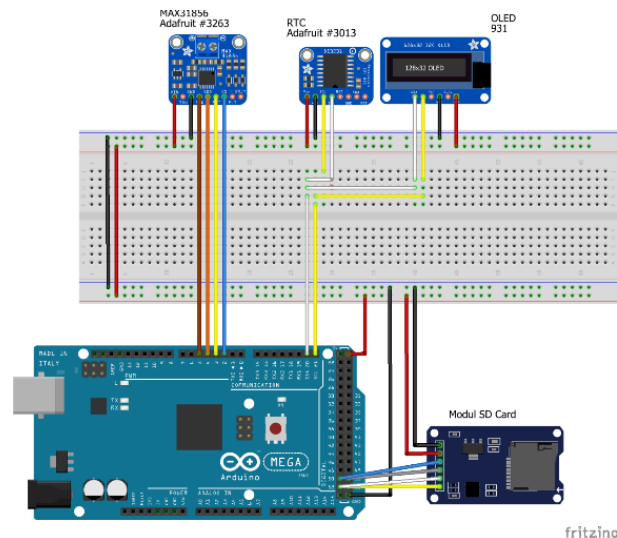
Perancangan sistem monitoring suhu multichannel ini dilakukan untuk menghasilkan sistem monitoring suhu yang mampu membaca hingga 10 *channel* secara simultan menggunakan sensor termokopel tipe K yang terhubung dengan modul amplifier CJMCU-MAX31856. Sistem ini dikembangkan dengan mempertimbangkan aspek fungsionalitas, efisiensi biaya, kemudahan penggunaan, dan fleksibilitas pengembangan.

Tabel 1. Komponen sistem monitoring suhu

No	Komponen	Jumlah Unit
1	CJMCU-MAX31856	10 Pcs
2	Arduino Mega 2560	1 Pcs
3	Box Panel Warna Hitam	1 Pcs
4	OLED 0.96	1 Pcs
5	Modul SD Card	1 Pcs
6	32GB V-Gen SD Card	1 Pcs
7	Baut 2 mm	20 Pcs
8	Kabel USB	1 Pcs
9	RTC3231	1 Pcs
11	Kabel Jumper 40 cm	80 Pcs
12	Termokopel tipe K	10 Pcs

Wiring sistem monitoring suhu yang ditunjukkan pada Gambar 1 terdiri atas Arduino Mega 2560, modul amplifier Adafruit MAX31856, modul RTC, dan display OLED.

Wiring ini memberikan gambaran mengenai rancangan sistem monitoring suhu.



Gambar 1. Wiring system monitoring suhu

Uji Fungsional

Uji fungsional dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh komponen dalam sistem monitoring suhu 10 channel bekerja sesuai dengan fungsinya masing-masing. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi integrasi antara perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) yang telah dirancang serta memastikan data suhu dapat direkam, ditampilkan, dan disimpan dengan benar. Metode kalibrasi yang diterapkan untuk menstandarkan sistem pemantauan suhu berbasis mikrokontroler dengan sensor termokopel dilakukan dengan cara membandingkan hasil pengukuran dari satu sensor termokopel dengan alat ukur standar yang sudah terkalibrasi. Setelah perbandingan dilakukan, dibuat persamaan regresi linier untuk menggambarkan hubungan antara pembacaan sensor termokopel dan alat ukur standar. Persamaan regresi linier ini kemudian diterapkan untuk mengkalibrasi sensor termokopel, sehingga memberikan pembacaan yang lebih akurat. Sensor termokopel yang telah terkalibrasi kemudian digunakan sebagai acuan untuk mengkalibrasi sensor-sensor lainnya, sehingga seluruh sensor dalam sistem data logger dapat menghasilkan data yang lebih konsisten dan sesuai dengan standar yang ditetapkan. Metode ini merujuk pada penelitian sebelumnya [11, 12]. Dalam penelitian ini, kontrol suhu Autonics tipe TX4S-24R digunakan sebagai alat pembanding. Data yang diambil pada penelitian ini di antaranya: hari, tanggal, tahun, jam, dan 10 data suhu. Semua data diambil secara real time dan nantinya dianalisis untuk mengetahui keakuratan sistem monitoring buatan mandiri.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem Monitoring Suhu Hasil Rancang Bangun

Sistem monitoring suhu 10 *channel* dengan menggunakan termokopel tipe K dan amplifier CJMCU MAX31856 sebagai pembaca sensor termokopel yang dihasilkan pada

penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2. Pada bagian sistem monitoring suhu yang terlihat dari luar box, terdapat modul SD Card, display (OLED), dan 10-channel

Amplifier CJMCU MAX31856. Box dapat dibuka dengan melepas baut pada bagian penutup.



Gambar 2. Sistem monitoring suhu 10 channels

Validasi Kode Program Bahasa C++

Proses perancangan program menggunakan aplikasi Arduino IDE dengan bahasa C++. *Library* yang digunakan oleh Amplifier CJMCU MAX31856 merupakan *Library* bawaan Adafruit MAX31856, hal ini digunakan karena sama-sama menggunakan chip MAX31856 manufaktur Maxim. Proses perancangan program ini dimulai dengan mendeteksi satu per satu amplifier CJMCU MAX31856, diikuti dengan mengecek RTC3231, modul SD Card dan juga OLED 0.96". Setelah semua telah dipastikan bekerja, selanjutnya adalah menggabungkan kode hingga menjadi sistem program yang siap digunakan sebagai sistem data logger (Gambar 3). Tahapan berikutnya adalah melakukan verifikasi dan upload ke perangkat keras, dalam hal ini Arduino, dan sensor-sensor yang terlibat. Sistem akan bekerja dan tampil di OLED 0.96" sebagaimana yang disajikan pada Gambar 2.

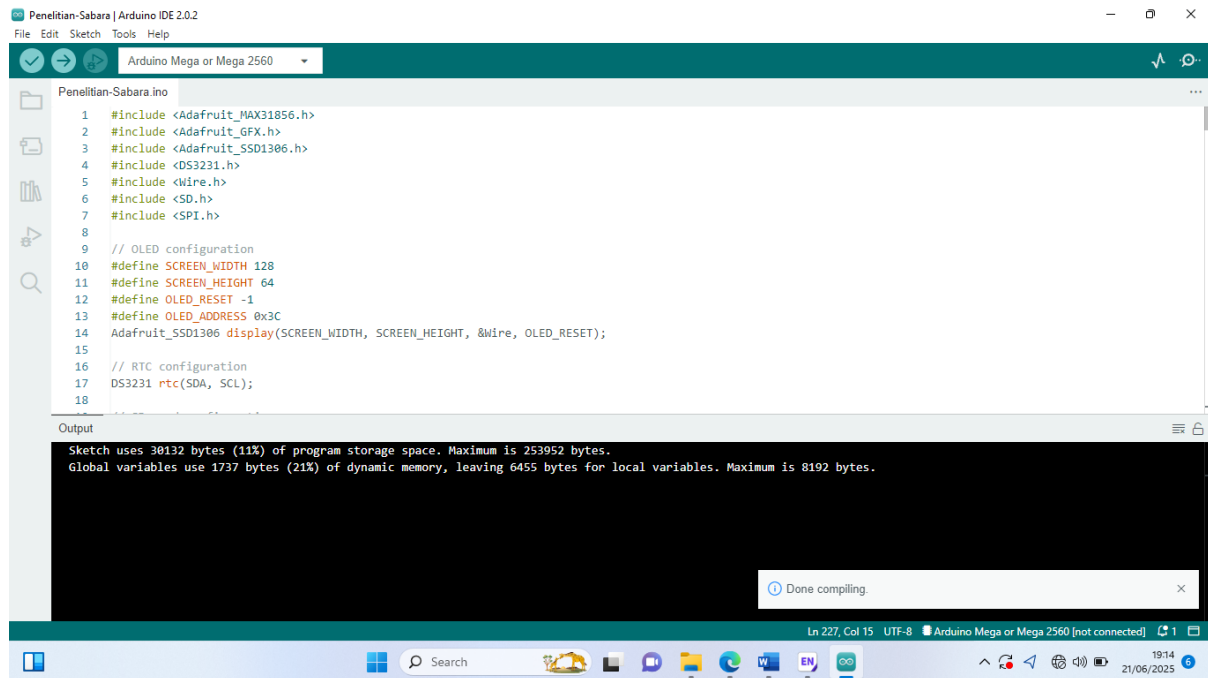
Posisi Amplifier CJMCU MAX31856

Amplifier CJMCU MAX31856 dipasang berurutan sesuai dengan pin digital yang digunakan. Sebagai contoh, *channel* 1 (T1) menggunakan pin digital 2, 3, 4, dan 5 dan total *channel* yang dibuat pada penelitian sebanyak 10 channel. Urutan T1 disimpan pada bagian sebelah kiri berurut ke belakang hingga T10 (Gambar 2). Pengaturan ini dibuat untuk memudahkan pengguna sistem monitoring

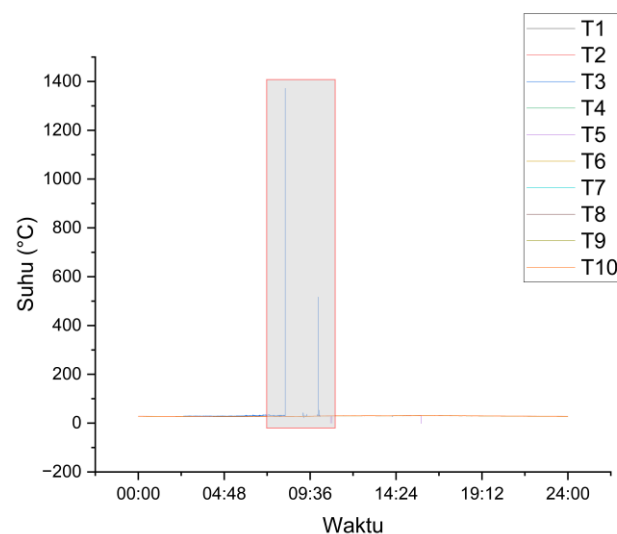
suhu. Sementara pada display OLED 0.96" pada bagian baris pertama adalah *time* atau waktu, baris kedua adalah *date* atau tanggal, *channel* T1 hingga T5 berada pada ruas kiri dan T6 hingga T10 berada pada ruas kanan. Data ditampilkan secara bersamaan pada OLED 0.96". Sistem monitoring ini dapat dinyalakan dengan menggunakan adaptor 5 V dan juga dapat menggunakan *power bank* (dalam penelitian menggunakan *power bank* berkapasitas 10.000 mAh merek Anker), sehingga alat ini dapat disebut *portabel* atau mudah dibawa ke mana saja.

Pengujian Sistem Monitoring Suhu

Pengujian sistem monitoring dilakukan untuk menguji kemampuan sistem monitoring, meliputi: kinerja sampling data, konsistensi, kesalahan pengukuran, dan kemampuan durasi pengukuran. Kinerja sampling data memberikan gambaran bahwa hasil rancang bangun sistem monitoring suhu efektif dan efisien dalam mengumpulkan data suhu secara berkala. Sistem dievaluasi dengan menilai frekuensi dan ketepatan dalam pengambilan sampel, mengelola fluktuasi suhu dalam rentang waktu pengukuran. Data dikumpulkan dan dievaluasi apakah sesuai dengan waktu yang telah ditetapkan. Gambar 4 sampai Gambar 6 memperlihatkan pengukuran suhu dengan durasi waktu 3 hari (23 sampai 25 Juli 2025).



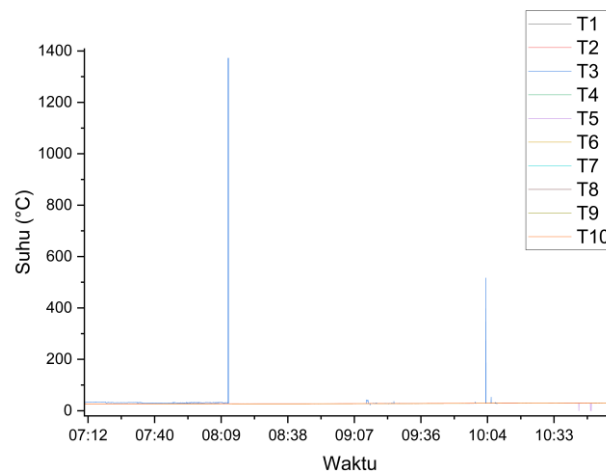
Gambar 3. *Verify* kode program sistem monitoring suhu



Gambar 4. Pengujian sistem monitoring suhu di hari pertama (23 Juli 2025)

Konsistensi pengukuran sistem monitoring suhu dapat dikatakan konsisten apabila 10 *channel* ditempatkan pada satu titik yang sama dan data yang diperoleh tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Sistem dievaluasi dengan melakukan pengukuran berulang pada suhu yang sama pada berbagai interval untuk mengonfirmasi bahwa temuannya konsisten dan tidak menunjukkan fluktuasi

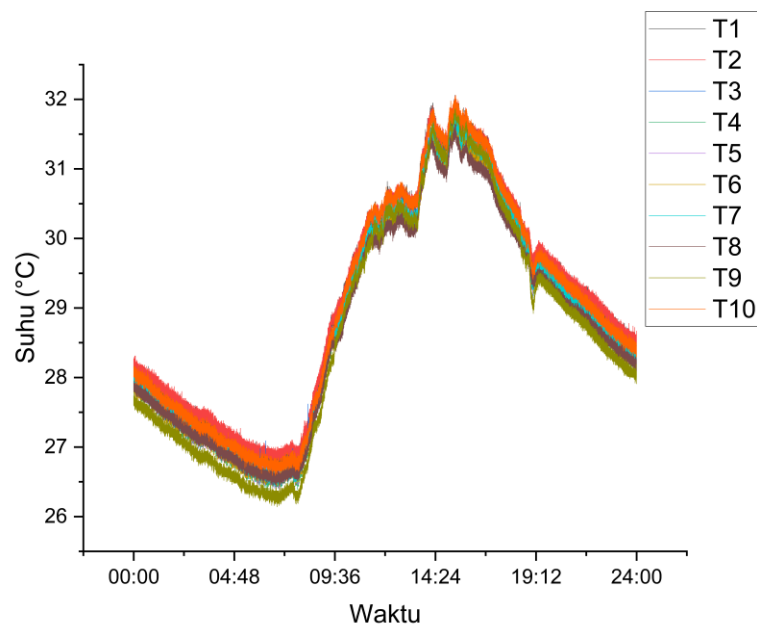
besar, yang mungkin menunjukkan adanya masalah dengan sistem sensor atau perangkat keras yang digunakan. Secara umum, konsistensi pengukuran ditunjukkan pada Gambar 4 hingga Gambar 6. Pola kenaikan dan penurunan suhu secara visual memberikan tampilan yang sama.



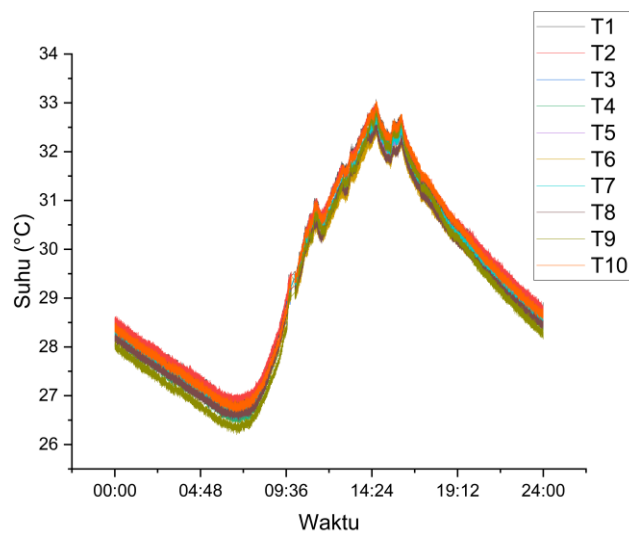
Gambar 5. Kesalahan pengukuran (23 Juli 2025)

Kesalahan pengukuran (*measurement error*) umumnya disebabkan oleh sensor suhu yang bermasalah atau ketidakstabilan tegangan listrik sehingga menghasilkan data yang bias atau data pencilan. Kesalahan pengukuran ini dapat dijumpai pada saat proses pengukuran berlangsung ataupun dapat dilihat dari data yang terkumpul atau terekam. Data kesalahan pengukuran disajikan pada Gambar 4.4, di mana channel T3 menunjukkan kesalahan pengukuran dalam beberapa waktu. Hanya saja, bila dilihat secara keseluruhan, data yang disajikan cukup baik antar-channel. Kemampuan durasi pengukuran dievaluasi

dengan menentukan kemampuan sistem untuk berfungsi secara terus-menerus dalam jangka waktu yang lama tanpa penurunan performa. Sistem dievaluasi untuk ketangguhannya dalam pengambilan sampel dan perekaman data secara terus-menerus selama periode yang ditentukan, dalam kondisi lingkungan yang stabil dan dinamis. Selama 3 hari, pengukuran suhu ruangan secara kontinu dilakukan, menunjukkan kemampuan pengukuran tanpa penurunan kinerja dari sistem monitoring buatan mandiri ini.



Gambar 6. Pengujian sistem monitoring suhu di hari kedua (24 Juli 2025)



Gambar 7. Pengujian sistem monitoring suhu di hari ketiga (25 Juli 2025)

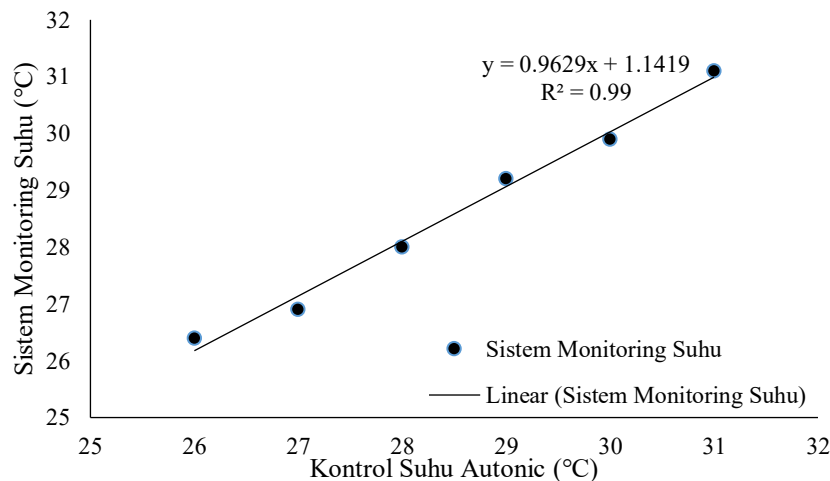
Perbandingan Sistem Monitoring dan Kontrol Suhu Autonic tipe TX4S-24R

Pengujian perbandingan sistem monitoring suhu dengan kontrol suhu autonic dilakukan untuk menstandarkan pembacaan suhu agar data yang didapatkan menjadi valid.

Kedua data tersebut dibuat regresi linier di mana didapatkan persamaan $y = 0,9629x + 1,1419$ dan koefisien determinasi atau R^2 didapatkan 0,99. Secara kedekatan data

Gambar 8 menunjukkan bahwa sumbu X adalah data pengukuran suhu ruangan menggunakan Autonic TX4S-24R (termokopel tipe K) dan sumbu Y adalah data pengukuran dengan menggunakan sistem monitoring s

dengan Autonic tipe TX4S-24R sangat baik dan sudah dapat digunakan sebagai data yang valid. Garis linier juga menunjukkan tingkat akurasi sistem monitoring.

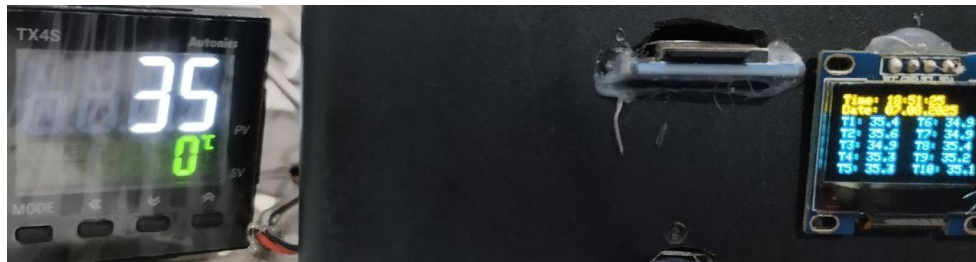


Gambar 8. Grafik regresi linier sistem monitoring

Konsistensi Pembacaan Sistem Monitoring Suhu

Termokopel diposisikan pada posisi yang sama. Hal ini dilakukan untuk menguji hasil pembacaan antarchannel. Hasil pengujian sistem monitoring pada beberapa level suhu menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan yang

signifikan (Gambar 9). Hal ini memperlihatkan bahwa pembacaan antar-channel memiliki konsistensi pembacaan yang baik. Data yang lain juga diperlihatkan pada Tabel 2 dengan suhu terukur 28 °C, di mana data pengukuran tersebut menunjukkan presisi sistem monitoring suhu.



Gambar 9. Pengujian perbandingan sistem monitoring suhu dengan kontrol suhu Autonic

Merujuk pada data logger midi Logger GL240 Graphtech (Gambar 10), maka dapat dinyatakan bahwa sistem monitoring suhu yang dibuat pada penelitian ini

memiliki fungsi yang sama, yaitu merekam dan menyimpan data serta pembacaan suhu yang tidak berbeda secara signifikan.



Gambar 10. midi Logger GL240 Graphtech

Tabel 2. Pengambilan data secara *real time*

Hari dan Tanggal	Jam	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
Wednesday 23.07.2025	00:00:00	28.27	28.47	28.13	28.01	28.08	28.08	28.02	27.98	28.00	28.30
Wednesday 23.07.2025	00:00:02	28.27	28.45	28.13	28.05	28.09	28.01	28.08	28.07	27.97	28.25
Wednesday 23.07.2025	00:00:04	28.42	28.52	28.16	28.03	28.11	28.02	28.09	27.98	28.03	28.18
Wednesday 23.07.2025	00:00:06	28.32	28.42	28.18	28.03	28.11	28.05	28.11	28.05	27.92	28.21
Wednesday 23.07.2025	00:00:08	28.23	28.42	28.19	28.05	28.14	28.09	28.05	28.02	27.97	28.21
Wednesday 23.07.2025	00:00:10	28.29	28.45	28.19	27.98	28.05	28.09	28.16	28.00	28.05	28.23
Wednesday 23.07.2025	00:00:12	28.36	28.42	28.13	28.05	28.02	28.12	28.13	28.05	27.97	28.18
Wednesday 23.07.2025	00:00:14	28.36	28.43	28.16	28.05	28.07	28.01	28.08	27.98	28.02	28.19
Wednesday 23.07.2025	00:00:16	28.34	28.41	28.13	28.08	28.11	28.09	28.07	28.09	28.03	28.16
Wednesday 23.07.2025	00:00:18	28.32	28.38	28.21	28.08	28.11	28.12	28.09	27.94	28.00	28.16
Wednesday 23.07.2025	00:00:20	28.29	28.41	28.21	28.09	28.08	28.07	28.09	28.07	27.97	28.23
Wednesday 23.07.2025	00:00:22	28.27	28.41	28.19	28.09	28.14	28.07	28.05	28.01	27.91	28.23
Wednesday 23.07.2025	00:00:24	28.23	28.43	28.16	28.08	28.16	28.09	28.16	28.01	27.92	28.23
Wednesday 23.07.2025	00:00:26	28.39	28.45	28.14	28.05	28.11	28.03	28.03	28.03	28.07	28.18
Wednesday 23.07.2025	00:00:28	28.29	28.37	28.12	27.97	28.12	28.11	28.05	27.95	27.97	28.20
Wednesday 23.07.2025	00:00:30	28.31	28.42	28.12	28.03	28.08	28.13	28.05	28.09	28.02	28.20

Pengukuran suhu pipa tembaga dilakukan dengan cara memanaskan air menggunakan *heater*. Air panas mentransfer panas ke pipa tembaga. Pada pipa tembaga

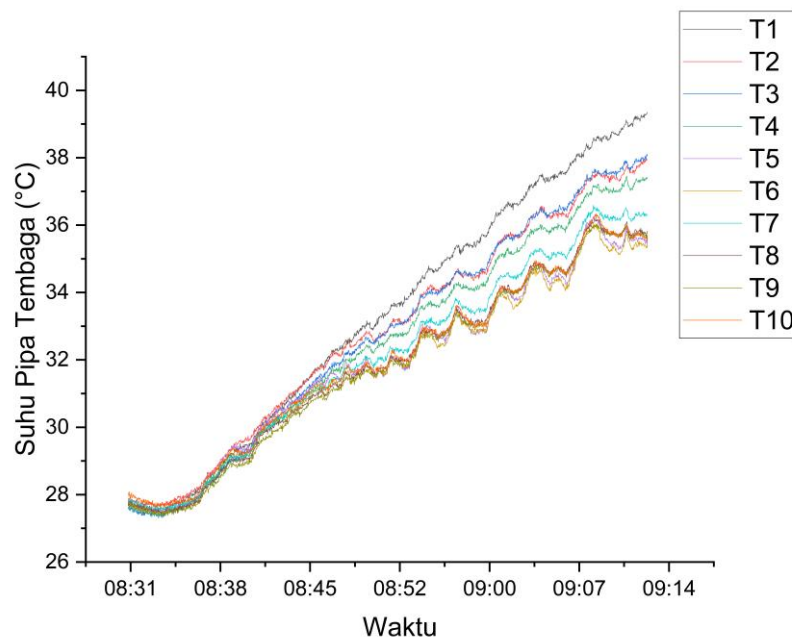
tersebut diberi 10 titik sesuai dengan jumlah *channel* sistem monitoring, yakni 10 channel (Gambar 11).



Gambar 11. Posisi termokopel T1 berada pada bagian bawah beuran hingga T10 pada posisi paling atas

Trend kenaikan suhu memperlihatkan bahwa mulai T1 hingga T10 (Gambar 12). Pengujian ini memberikan gambaran profil suhu pipa tembaga yang mendapatkan transfer panas dari air panas yang dipanaskan

menggunakan *heater*. Penelitian ini menyajikan data bahwa T1 berada pada posisi terdekat dengan media air panas, terus berurut hingga T10 berada pada posisi paling terjauh dari media air panas.



Gambar 12. Profil suhu pipa tembaga mendapatkan transfer panas

KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil merancang dan membangun sistem monitoring suhu menggunakan sensor termokopel tipe K dengan basis mikrokontroler. Uji coba selama tiga hari untuk menguji keandalan, konsistensi, dan error

menggambarkan bahwa sistem monitoring berjalan sesuai dengan perintah kode. Sistem monitoring suhu dengan membandingkan dengan kontrol suhu Autonic tipe TX4S-24R juga menunjukkan tingkat akurasi yang baik. Hal ini ditunjukkan dengan perolehan koefisien determinasi atau $R^2 = 0,99$, yang membuktikan bahwa kedekatan data sistem

monitoring suhu dengan referensi atau acuan profil suhu pada pipa tembaga yang mendapatkan transfer panas dari air panas yang dipanaskan menggunakan heater juga menunjukkan tren peningkatan suhu yang terukur oleh sistem monitoring hasil rancang bangun rentang suhu 27 sampai 39 °C.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada penanggung jawab Laboratorium Pusat Riset dan Teknologi, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Tenggara yang telah memfasilitasi penelitian ini sehingga dapat terselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Feng Y, Wang J. Design and development of a low-cost glazing measurement system. *MethodsX*. 2020;7:101028.
- [2] Kuo C-C, Chen W-J. Development and application of intelligent monitoring system for rapid tooling applied in low-pressure injection molding. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2020;111(11-12):3453-67.
- [3] Moyen NE, Somero GN, Denny MW. Mussel acclimatization to high, variable temperatures is lost slowly upon transfer to benign conditions. *Journal of Experimental Biology*. 2020;223(13).
- [4] Padfield T, Padfield N, Lee DS-H, Thøgersen A, Nielsen AV, Andersen CK, et al. Back protection of canvas paintings. *Heritage Science*. 2020;8(1):96.
- [5] Roihan I, Koestoer RA, editors. Data logger multichannel based on Arduino Uno applied in thermal measurement of solar still Carocell L3000. *The 2nd International Conference on Physical Instrumentation and Advanced Materials 2019*; 2020.
- [6] Guerrero Quezada GI, Arias Pozo PA. Diseño y construcción de un banco didáctico de instrumentación para la calibración de los termopares tipo J, K & T, y control de un horno de tres etapas [Thesis Bachelor]. Riobamba – Ecuador: Escuela Superior Politécnica De Chimborazo; 2021.
- [7] Efendi R, Herlina H, Tando A, Padang WL, Darwin D, Mustafid MA, et al. Alat Monitoring Suhu Berbiaya Rendah Berbasis Arduino Mega 2560 dengan Menggunakan Sensor Adafruit MAX31856. *Jurnal Mekanova: Mekanikal, Inovasi dan Teknologi*. 2023;9(1):261-6.
- [8] Joni J, Efendi R. Rancang bangun thermocouple data logger multichannel berbasis Arduino Mega 2560. *ARMATUR: Artikel Teknik Mesin Manufaktur*. 2024;5(1):90-8.
- [9] Efendi R, Padang WL, Aries M, Tando A, Herlina H, Nakkir M, et al. Analisis regresi sederhana hasil pembacaan thermocouple amplifier Adafruit MAX31856. *Sultra Journal of Mechanical Engineering*. 2024;3(1):18-22.
- [10] Efendi R, Tando A, Herlina H, Padang WL, Aries M, Charlos L, et al. Rancang Bangun Sistem Monitoring Suhu Multichannel Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal CRANKSHAFT*. 2025;8(1):20-7.
- [11] Septiana R, Roihan I, Karnadi J, Koestoer RA, editors. Calibration of K-type thermocouple and MAX6675 module with reference DS18B20 thermistor based on Arduino DAQ. *Prosiding SNTTM XVIII*; 2019.
- [12] Septiana R, Caniago DP, Kurniawan H. Evaluasi dan Kalibrasi Data Akuisisi Temperatur Berbasis Arduino dan MAX31855. *Jurnal Elektronika Otomasi Industri*. 2024;11(2):621-7.

Pemodelan cerdas desain meja belajar sederhana: Analisis material dengan finite element approach

Ameliyana Rizky Syamara Putri Akhmad Yani¹, Najib Razzaq¹, Muhammad Nawfal Imano¹, Nafidz Aditya Mardawani¹, Bondan Vadika Muprisa¹, Muhammad Alfin Abdurachim Putra¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Soedirman
Jl. Raya Mayjen Sungkono No.KM 5, Dusun 2, Blater, Kec. Kalimanah, Kabupaten Purbalingga, Jawa Tengah 53371
Email korespondensi: ameliyana.yani@unsoed.ac.id

Received: 30 September 2025, Reviewed: 7 November 2025, Published: 21 March 2026

DOI: <https://doi.org/10.71452/573ht734>

Abstrak. Penelitian ini menganalisis kekuatan meja belajar dengan menggunakan metode Finite Element Analysis (FEA) dan mengeksplorasi variasi material seperti plastik PE very low density, ductile iron, dan kayu Balsa 2. Fokus utama studi ini adalah pada pemodelan tiga dimensi serta simulasi uji beban seberat 3000 N, dengan menggunakan standar fixture fixed geometry. Hasil simulasi menunjukkan bahwa ductile iron memiliki deformasi terkecil (0.051 mm), sementara kayu Balsa mencatatkan deformasi terbesar kedua (2.070 mm). Namun, analisis Faktor Keamanan (FS) sebesar 1.03 membuktikan bahwa kayu balsa memiliki kekuatan yang memadai dan rasio kekuatan terhadap berat (strength-to-weight ratio) yang superior. Studi ini memberikan wawasan penting dalam pemilihan material optimal untuk desain meja belajar yang tangguh dan tahan lama, menjamin performa maksimal dalam penggunaan sehari-hari.

Kata kunci: Analisis Elemen Hingga, Deformasi Material, Kayu Balsa, Pemilihan Material, Simulasi Beban

Abstract. This study analyzes the strength of study tables using the Finite Element Analysis (FEA) method and explores material variations, including very low-density PE plastic, Ductile iron, and balsa wood. The main focus of this study is on three-dimensional modeling and load-test simulations of 3000 N using a standard fixed-geometry fixture¹⁰. The simulation results show that Ductile iron exhibited the minimum deformation (0.051 mm), while balsa wood recorded the second largest (2.070 mm). However, a Factor of Safety (FS) analysis of 1.03 proves that balsa wood possesses adequate strength and a superior strength-to-weight ratio, making it the optimal choice. This study provides important insights into selecting optimal materials for designing sturdy, durable study tables that deliver maximum performance in everyday use.

Keywords: Finite Element Analysis, Material Deformation, Balsa Wood, Material Selection, Load Simulation

PENDAHULUAN

Meja adalah salah satu perabot yang memiliki peran penting dalam berbagai aktivitas sehari-hari, baik di rumah, kantor, maupun ruang belajar. Fungsinya yang beragam, mulai dari tempat menulis, bekerja, hingga menyimpan barang, menjadikannya esensial di banyak aspek kehidupan. Bagian atas meja memiliki permukaan yang rata lalu disangga dengan kaki, bisa empat, dua, atau bahkan satu kaki, memberikan permukaan yang rata di mana objek dapat ditempatkan, dan dapat digunakan untuk tujuan seperti makan, menulis, bekerja, atau bermain game [1]. Dalam lingkungan akademis, meja belajar menjadi elemen kunci yang mendukung proses belajar-mengajar. Dengan permukaan datar yang disangga oleh kaki penyangga, meja belajar dirancang untuk menopang berbagai peralatan seperti buku, laptop, dan alat tulis. Kekuatan dan kestabilan meja sangat penting untuk memastikan kenyamanan dan efisiensi belajar dalam jangka panjang, terutama ketika digunakan secara intensif.

Penelitian mengenai rangka meja telah dilakukan secara luas guna menilai tingkat keamanan dan kinerja yang sesuai untuk penggunaan meja. Dalam penelitian ini, fokus ditujukan pada desain dan evaluasi kekuatan rangka meja kerja menggunakan metode elemen hingga. Penelitian ini menggunakan variasi beban sebesar 150 kg, 175 kg, 200 kg, dan 225 kg, yang diaplikasikan pada rangka meja. Simulasi hasil menunjukkan bahwa rangka

meja mampu menahan beban hingga 200 kg dengan faktor keamanan sebesar 2,06, mengindikasikan keamanan dan kinerja yang memadai untuk aplikasi meja kerja ini [2]. Penelitian untuk pengujian desain meja telah dilakukan terkait dengan variasi bentuk kaki meja. Penelitian tersebut mendapatkan desain kaki meja ruang tamu yang optimal dengan beban yang diberikan [3].

Pengujian pada rangka meja las berdasarkan desain, simulasi, dan analisis tegangan struktur dilakukan dengan menggunakan *Finite Element Analysis* (FEA). Kapasitas beban yang diberikan pada pengujian ini dibatasi sebesar 40 kg atau 400 *newton*. Pada hasil simulasi struktur rangka meja las yang diberikan beban sebesar 400 N, ditampilkan nilai deformasi maksimum sebesar 0,05505 mm dan nilai *safety factor* minimum sebesar 6,66. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa desain struktur rangka meja las yang telah dihasilkan sangat aman untuk menahan beban statis ataupun beban kejutan [4]. Permodelan dengan pendekatan beda hingga telah digunakan dalam analisis pemilihan desain pada kursi taman. Pemodelan diterapkan untuk mendapatkan respons desain terhadap beban yang diberikan. Berdasarkan respons dari pemodelan tersebut, terpilihlah desain yang tepat dan sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan [5]. Analisis kekuatan pembebanan frame pada meja las dilakukan dengan sistem numerik menggunakan perangkat lunak berupa Autodesk Inventor Professional 2020. Hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur rangka meja las dengan material besi ST 37

memiliki tegangan, deformasi, massa, dan faktor keamanan sebesar 20.0755 MPa, 0.0582948 mm, 40 kg [4].

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah *Finite Element Approach* (FEA) atau metode elemen hingga yang muncul pada tahun 1960. Dalam bidang struktur, FEA telah dikembangkan untuk menyelesaikan persoalan statik, dinamik, linier maupun non linier. FEA adalah bentuk prosedural numerik yang dapat diterima oleh engineer untuk perkiraan nilai ambang batas dengan cara mencari nilai defleksi, tegangan, dan faktor keamanan dari sebuah struktur [6]. Pendekatan *Finite Volume* dapat digunakan dalam pemecahan permasalahan komputasi dinamika fluida. Metode ini dapat digunakan dalam proses desain optimasi suatu turbin air [7] maupun turbin angin [8]. Metode finite element telah digunakan dalam menganalisa alat uji bending pipa. Analisis yang dilakukan dalam penelitian tersebut menilai kriteria keamanan struktur *roller* dan tegangan jenis pipa galvanis [9].

Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan pendekatan berupa *Finite Element Approach* (FEA) untuk menguji keandalan dan ketahanan pada meja belajar. Penelitian simulasi kekokohan meja belajar menggunakan metode elemen hingga bertujuan untuk mengevaluasi perbandingan kekuatan terhadap beban dengan memanfaatkan material simulasi, seperti plastik PE *very low density*, *ductile iron*, dan kayu balsa. Melalui analisis FEA, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kekokohan, optimalisasi desain, perbandingan performa material, dan analisis beban dinamis.

METODE

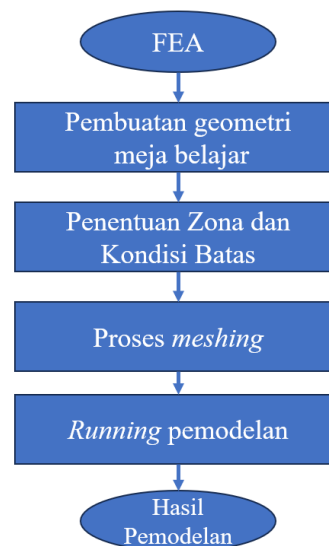
Penelitian ini dilakukan dengan pemodelan tiga dimensi menggunakan perangkat lunak dengan metode *Finite Element Approach* (FEA). Penelitian ini dilakukan pada desain meja belajar dengan variasi material. Simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga, yaitu SolidWorks Simulation 2023 (atau tuliskan software yang Anda gunakan). Tipe analisis yang digunakan adalah Static Linear Analysis, dengan asumsi material bersifat elastis linier, homogen, dan isotropis.

Parameter simulasi yang digunakan dijabarkan sebagai berikut:

- Jenis elemen: Solid tetrahedral
- Tipe mesh: Curvature-based mesh
- Kerapatan mesh: Fine (elemen kecil untuk meningkatkan presisi)
- Jumlah elemen/nodes: (Dapat ditambahkan sesuai hasil software)
- Boundary condition: Fixed geometry pada keempat kaki meja yang bersentuhan dengan lantai
- Pembebanan: Beban statis sebesar 3000 N, diberikan pada permukaan atas meja secara merata
- Model material: Linear elastic dengan modulus elastisitas, densitas, dan Poisson ratio sesuai spesifikasi pada Tabel 1–3

Pengaturan ini bertujuan memastikan bahwa hasil simulasi deformasi, tegangan, dan regangan dapat menggambarkan respons struktural meja terhadap beban statik secara akurat.

Tahapan penelitian ditunjukkan pada diagram alir Gambar 1. Metodologi yang digunakan adalah modifikasi dari diagram alir pada penelitian [10].

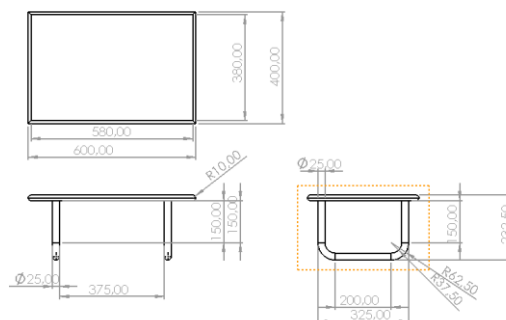


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Tahap pertama adalah pembuatan geometri meja belajar. Desain tiga dimensi dari meja belajar ditunjukkan oleh Gambar 2. Dimensi meja belajar ditunjukkan pada Gambar 3. Dimensi meja menggunakan satuan ukuran dalam milimeter (mm). Material yang digunakan pada meja merupakan variasi dari penelitian ini. Di mana variasi material yang digunakan adalah plastik PE *very low density*, *ductile iron*, dan kayu balsa.



Gambar 2. Desain meja belajar tiga dimensi



Gambar 3. Dimensi desain meja belajar

Langkah berikutnya adalah menentukan zona pemodelan. Di mana pemodelan dibagi menjadi dua zona, yaitu *fixtures* dan *external loads*. Keseluruhan skematik pemodelan ditunjukkan oleh Gambar 4a, zona *fixtures* ditunjukkan pada Gambar 4b, dan zona *external loads* ditunjukkan oleh Gambar 4c. Kondisi batas dalam simulasi uji beban meja yaitu berat yang digunakan dalam simulasi uji beban. Berat yang digunakan sebesar 3000 N atau 300 kg. Material yang digunakan yaitu plastik PE *very low density*, *ductile iron*, dan kayu balsa. Spesifikasi dari masing-masing material ditunjukkan oleh Tabel 1 [11], Tabel 2 [12], dan Tabel 3 [13].

Tabel 1. Spesifikasi Material *Plastic PE very low density*

Sifat	Nilai	Satuan
Modulus elastisitas	172.3689323	N/mm ²
Rasio Poisson	0.3	N/A
Modulus Kekakuan		N/mm ²
Kepadatan massa	905.000005	Kg/m ³
Kekuatan Tarik	34.00000012	N/mm ²
Kekuatan Tekanan		N/mm ²
Kekuatan Leleh	6.894757293	N/mm ²
Koefisien Ekspansi Termal		/K
Konduktivitas Termal	0.322	W/(m.K)
Kapasitas Panas	1842	J/(kg.K)
Rasio Redaman Material		N/A

Sumber : Karaagac et al., (2020)

Tabel 2. Spesifikasi material *ductile iron*

Sifat	Nilai	Satuan
Modulus elastisitas	120000	N/mm ²
Rasio Poisson	0.31	N/A
Modulus Kekakuan	77000	N/mm ²
Kepadatan massa	7100	Kg/m ³
Kekuatan Tarik	861.695	N/mm ²
Kekuatan Tekanan		N/mm ²
Kekuatan Leleh	551.485	N/mm ²
Koefisien Ekspansi Termal	1.1e-05	/K
Konduktivitas Termal	75	W/(m.K)
Kapasitas Panas	450	J/(kg.K)
Rasio Redaman Material		N/A

Sumber : Ramadan et al., (2021)

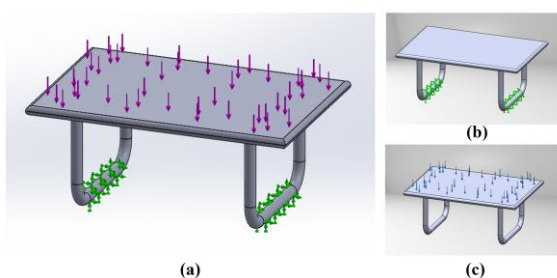
Tahap selanjutnya adalah melakukan pemilihan standar fixture, yaitu fixed geometry, karena meja yang digunakan bersifat tetap atau tidak berubah. Bagian yang dipilih yaitu bagian geometri dari meja yang kontak langsung dengan lantai. Tahapan ini dapat dilihat pada Gambar 4b. Pada tahap ini dilakukan pemberian beban atau tekanan pada meja. Batas maksimal dari pembebanan yaitu 3000 N atau

300 kg. Pada pembebanan daerah yang diberikan, beban terletak pada daerah atas meja. Pembebanan dapat dilihat pada Gambar 4c berikut. Langkah selanjutnya adalah melakukan proses meshing.

Tabel 3. Spesifikasi material kayu balsa

Sifat	Nilai	Satuan
Modulus elastisitas	2999.999232	N/mm ²
Rasio Poisson	0.29	N/A
Modulus Kekakuan	299.9999105	N/mm ²
Kepadatan massa	159.989899	Kg/m ³
Kekuatan Tarik		N/mm ²
Kekuatan Tekanan		N/mm ²
Kekuatan Leleh	19.999972	N/mm ²
Koefisien Ekspansi Termal		/K
Konduktivitas Termal	0.05	W/(m.K)
Kapasitas Panas		J/(kg.K)
Rasio Redaman Material		N/A

Sumber : Luo et al., (2022)



Gambar 4. a) Skematik meja gambar, b) *fixtures*, dan c) *external loads*.

Tahapan meshing dilakukan dengan tools yang sudah disediakan, di mana kita hanya mengatur atau memilih meshing dari *coarse* sampai dengan *fine*. Pada simulasi ini dilakukan *meshing* dengan memilih *fine*. Berikut merupakan gambar hasil dari meshing pada meja. Hasil meshing ditunjukkan oleh Gambar 5. Pada proses running, dilakukan setelah semua tahapan sebelumnya telah dilakukan dan dilakukan pengaturan kondisi batas yang telah dijelaskan pada penjelasan *case* pada bagian kondisi batas dan kondisi batas setiap material.



Gambar 5. Hasil dari proses meshing objek meja belajar.

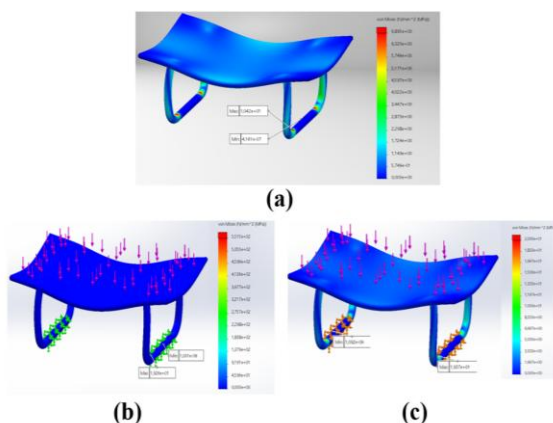
Dalam pemodelan ini, metode penyambungan (joint connection) pada struktur meja belum dimasukkan ke dalam simulasi. Seluruh komponen meja diasumsikan tersambung secara kaku (rigid connection). Asumsi ini dapat menyebabkan hasil deformasi dan distribusi tegangan menjadi berbeda dibandingkan dengan kondisi nyata, karena sambungan seperti baut, bracket, atau wood joinery memiliki kekakuan yang lebih rendah dibandingkan dengan sambungan kaku ideal.

Untuk penelitian lanjutan, dimensi sambungan, jenis pengikat, serta model interaksi antar komponen direkomendasikan untuk dimasukkan agar simulasi mendekati kondisi aktual penggunaan meja belajar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian menggunakan metode FEA telah dilakukan pada objek meja belajar secara tiga dimensi. Penelitian dilakukan dengan variasi material antara lain plastik PE *very low density*, *ductile iron*, dan kayu balsa. Hasil dari simulasi analisis kekuatan meja dengan material plastik PE *very low density* didapat nilai skala deformasi yaitu 3,12698, material *ductile iron* didapat nilai skala deformasi yaitu 1,173,58, dan material kayu Balsa didapat nilai skala deformasi yaitu 28,9854, dilihat dari hasil stress, displacement, dan strain. Nilai-nilai ini merupakan hasil post-processing numerik yang diperoleh langsung dari perangkat lunak simulasi FEA setelah proses running pemodelan.

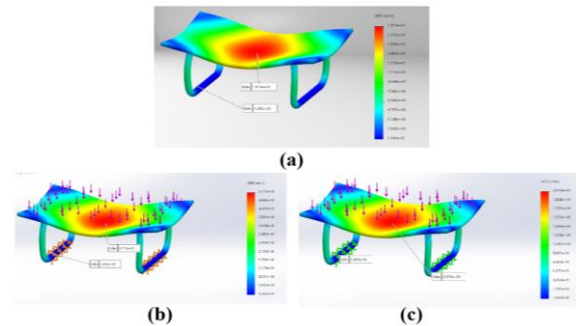
Pengujian pemodelan stres pada ketiga material meja belajar ditunjukkan oleh Gambar 6. Hasil yang didapat dari proses running dengan memasukkan kondisi batas pada material *plastik PE very low density* yaitu didapat nilai maksimal yaitu $1,042 \times 10^1$ MPa dan nilai minimum yaitu $4,161 \times 10^{-7}$ MPa. Pada material *ductile iron* diperoleh nilai maksimal yaitu $1,926 \times 10^1$ MPa dan nilai minimum yaitu $1,001 \times 10^{-6}$ MPa. Pada material kayu balsa, nilai maksimal yaitu $1,937 \times 10^1$ MPa dan nilai minimum yaitu $1,092 \times 10^{-6}$ MPa.



Gambar 6. Hasil simulasi stress dengan material a) plastik PE *very low density*, b) *ductile iron*, dan c) kayu balsa

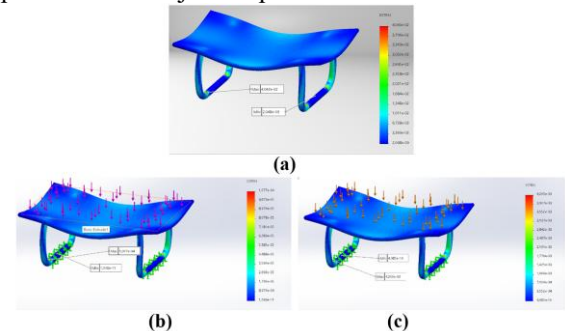
Gambar 7 menunjukkan hasil dari simulasi displacement pada meja belajar. Hasil displacement yang didapat dari proses running dengan memasukkan kondisi batas material *plastik PE very low density* yaitu didapat

nilai maksimal yaitu $1,919 \times 10^1$ mm dan nilai minimum yaitu $1,000 \times 10^{-30}$ mm. Hasil displacement pada material *ductile iron* didapat nilai maksimal yaitu $5,113 \times 10^{-2}$ mm dan nilai minimum yaitu $1,000 \times 10^{-30}$ mm. Proses running dengan material kayu balsa diperoleh nilai maksimal yaitu $2,070 \times 10^0$ mm dan nilai minimum yaitu $1,000 \times 10^{-30}$ mm.



Gambar 7. Hasil simulasi displacement dengan material a) plastik PE *very low density*, b) *ductile iron*, dan c) kayu balsa

Pengujian terakhir adalah simulasi strain pada desain meja terhadap tiga variasi material plastik PE *very low density*, *ductile iron*, dan kayu balsa. Hasil strain yang didapat dari proses running dengan memasukkan material *plastik PE very low density* yaitu didapat nilai maksimal yaitu $4,043 \times 10^{-2}$ dan nilai minimum yaitu $2,048 \times 10^{-9}$. Kemudian pada material *ductile iron* diperoleh nilai *strain* pada nilai maksimal yaitu $1,077 \times 10^{-4}$ dan nilai minimum yaitu $1,248 \times 10^{-11}$. Hasil strain yang didapat dari proses running pada material kayu balsa didapat nilai maksimal yaitu $4,263 \times 10^{-2}$ dan nilai minimum yaitu $4,085 \times 10^{-10}$. Hasil pemodelan ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Hasil simulasi strain dengan material a) plastik PE *very low density*, b) *ductile iron*, dan c) kayu balsa.

Secara teknis, berdasarkan hasil simulasi *displacement* (Gambar 7), material *ductile iron* menunjukkan kekakuan tertinggi dengan deformasi maksimum hanya 0.051 mm. Sementara itu, kayu balsa berdeformasi lebih besar, yaitu 2.070 mm. Nilai deformasi terbesar terjadi pada plastik PE *very low density* 19.19 mm.

Untuk menilai tingkat keamanan struktural, dilakukan perhitungan Faktor Keamanan (*Factor of Safety*) (FS), yaitu rasio antara *Yield Strength* material dan *Maximum Von Mises Stress* yang terjadi pada simulasi [14]. Nilai FS yang lebih besar dari 1 menunjukkan bahwa struktur mampu menahan beban tanpa mengalami deformasi permanen.

$$FS = \frac{\text{Yield Strength (Kekuatan Leleh)}}{\text{Maximum Von Mises Stress (Tegangan Maksimal)}} \quad (1)$$

Pada material plastik PE very low density, dengan Yield Strength 6.89475 N/mm² dan Maximum Stress 3.126e+00 MPa (3.126 N/mm²), didapatkan Faktor Keamanan (FS) sebesar 2.21. Untuk material ductile iron, dengan Yield Strength 551.485 N/mm² dan Maximum Stress 4.705e+00 MPa (4.705 N/mm²), didapatkan Faktor Keamanan (FS) sebesar 117.20.

Sedangkan material kayu Balsa, dengan Yield Strength 19.999 N/mm² dan Maximum Stress 1.937e+01 MPa (19.37 N/mm²), didapatkan Faktor Keamanan (FS) sebesar 1.03. Jika dibandingkan dengan material *ductile iron* yang memiliki FS jauh lebih tinggi, hal ini menunjukkan bahwa material sangat over-designed untuk beban 3000 N. Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun kayu Balsa berdeformasi lebih besar (kurang kaku), struktur meja tetap aman secara mekanis karena FS-nya masih di atas 1 [15]. Hal ini penting untuk mendukung pemilihan material.

Meskipun hasil simulasi menunjukkan bahwa ductile iron memiliki tingkat kekakuan yang superior dan mengalami displacement minimum 0.051 mm, material ini memiliki kerapatan massa yang sangat tinggi, 7100 kg/m³, dan biaya yang relatif tinggi. Dalam konteks desain meja belajar sederhana, aspek portabilitas dan efisiensi biaya menjadi pertimbangan penting. Sebaliknya, kayu balsa menawarkan rasio kekuatan terhadap berat (strength-to-weight ratio) yang unggul, didukung oleh kerapatan massa

yang sangat rendah, 159.989 kg/m³. Selain itu, analisis Faktor Keamanan (FS) yang mendekati 1.03 membuktikan bahwa struktur meja dari kayu balsa aman secara mekanis untuk menahan beban statis 3000 N. Oleh karena itu, kayu balsa direkomendasikan sebagai pilihan optimal, karena memenuhi kebutuhan akan struktur yang aman sekaligus ringan dan ekonomis.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai skala deformasi pada material *plastik PE very low density* yaitu 3,12698, sedangkan pada material *ductile iron* yaitu 1,173,58, dan material kayu balsaitu 28.9854. Material kayu balsa memiliki nilai skala deformasi terbesar daripada material plastik PE very low density dan ductile iron, namun memiliki Faktor Keamanan (FS) yang memadai (\$1.03\$) serta rasio kekuatan terhadap berat (strength-to-weight ratio) yang superior. Dengan demikian, kayu balsa merupakan material pilihan optimal untuk desain meja belajar sederhana, dengan mempertimbangkan aspek kekuatan yang memadai dan ringan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Civitas Akademika Universitas Jenderal Soedirman secara umum, dan Fakultas Teknik serta Jurusan Teknik Industri secara khusus, atas dukungan moril pada kegiatan mini riset yang telah dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Devi, N. D. S., Pujiraharjo, Y., & Muttaquen, T. Z. 2020. Perancangan Meja Taman Yang Terintegrasi Dengan Bangku Dan Sistem Informasi Sejarah. *Journal of Product Design, School of Creative Industry*, 7(2), 5240.
- [2] Wibawa, L. A. N. 2019. Desain Dan Analisis Kekuatan Rangka Meja Kerja (Workbench) Balai Lapan Garut Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik Mesin*, 3(1):13.
- [3] Hasan, F., Mardawani, N. A., Radiansyah, M. Y. F., & Sarwani, C. R. 2023. Pressure on a Living Room Table: A Design and Simulation Utilizing the Finite Difference Method. *Journal of Industrial and Mechanical Engineering*, 1(1), 43-52.
- [4] Prabowo, W. T., Arifin, F., Herlambang, Y. D., Ramadoni, & Damanik, W. R. H. 2023. Analisis Kekuatan Pembebanan Frame Pada Meja Las. *Jurnal Inovator*, 1(1):21-25.
- [5] Ridho, A. F., Wyatt, S. N., Zatinayara, K., Hanan, M. H., Alquroimia, M. A., & Ridwan. 2023. Three-Dimensional Analysis of Garden Bench Design on Pressure Distribution Using Finite Difference Method Approach. *Journal of Industrial and Mechanical Engineering*, 1(1), 35-42.
- [6] Arifin, F., Azharuddin, Arnoldi, D., Effendi, S., Herlambang, Y. D., Yahya, Fadilah, M.A., & Radjiq, A. 2023. Design Simulation of Upper Arm on Welding Table. *International Journal of Mechanics, Energy Engineering and Applied Science (IJMEAS)*, 1(1):7-11.
- [7] Purwanto, Hermawan, Budiono, & Prabowoputra, D. M. 2022. Simulation Study on Cross Flow Turbine Performance with an Angle of 20° to the Variation of the Number of Blades. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 31-36.
- [8] Prabowoputra, D. M., Krisnawati, M., Nurhidayat, A. R. S., Khosyi, M., Halim, R. F. N., & Zumara, H. 2023. CFD Analysis of The Stage-Ratio Factor on Savonius Wind Turbine Performance to Optimize Clean-Energy Conversion. In *E3S Web of Conferences*, 456, p. 01007.
- [9] Pratama, A. B., & Islahuddin. 2021. Analisis Tegangan Alat Uji Bending Pipa Skala Laboratorium Menggunakan Finite Element Analysis. *Jurnal Teknologi dan Informasi Bisnis*, 3(1):201-205.
- [10] Kešner, A., Chotěborský, R., Linda, M., Hromasová, M., Katinas, E., & Sutanto, H. 2021. Stress distribution on a soil tillage machine frame segment with a chisel shank simulated using discrete element and finite element methods and validate by experiment. *Biosystems Engineering*, 209, 125-138.

- [11] Karaagac, E., Koch, T., & Archodoulaki, V. (2020). The effect of PP contamination in recycled high-density polyethylene (rPE-HD) from post-consumer bottle waste and their compatibilization with olefin block copolymer (OBC). *Waste Management*, 119, 285–294. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.10.011>
- [12] Luo, L., Lan, Y., Zhang, Q., Deng, J., Zeng, Q., Gao, H., Du, G., & Zhao, W. (2022). Enhanced capacitance of phosphorus, nitrogen, and oxygen tri-doped balsa wood-based porous carbon for supercapacitors. *Journal of Energy Storage*, 58, 106339. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.106339>
- [13] Ramadan, M., Hafez, K. M., Alghamdi, A. S., Ayadi, B., & Halim, K. S. A. (2021). Novel approach for using ductile iron as substrate in bimetallic materials for higher interfacial bonding bearings. *International Journal of Metalcasting*, 16(2), 987–1000. <https://doi.org/10.1007/s40962-021-00653-0>
- [14] Menacho-Mendoza, E., Cedamano-Cuenca, R., & Díaz-Suyo, A. (2022). Stress analysis and factor of safety in three dental implant systems by finite element analysis. *The Saudi Dental Journal*, 34(7), 579–584. <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2022.08.006>
- [15] Hindroyuwono, R., Marvianto, R. A., Anjani, S. S., Pamungkas, M. B., & Arafat, Y. B. (2025). Stress analysis and safety factors of hand-rail hoppers based on the FEA method. *International Journal of Engineering Continuity*, 3(2), 120–131. <https://doi.org/10.58291/ijec.v3i2.318>

Aplikasi pesawat udara tanpa awak (PUTA) penabur benih jagung sebagai pertanian berkelanjutan

Mulyana¹, Handoko Riyanto¹, Erry Yulian Triblas Adesta¹,
Riza Muhida¹, Harjono Saputro¹, Muhammad Riza¹, Tia Tanjung²

¹Fakultas Teknik Mesin, Universitas Bandar Lampung

²Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Bandar Lampung

Jl. Zainal Abidin Pagar Alam No.26, Labuhan Ratu, Kedaton, Kota Bandar Lampung, Lampung

Email korespondensi: tia.tanjung@ubl.ac.id

Received: 30 September 2025, Reviewed: 7 November 2025, Published: 21 March 2026

DOI: <https://doi.org/10.71452/5nz0y581>

Abstrak. Pertanian jagung di Indonesia masih menghadapi tantangan dalam peningkatan produktivitas dan efisiensi proses budidaya. Data Badan Pusat Statistik menunjukkan bahwa pada tahun 2023 luas panen jagung mencapai sekitar 2,48 juta hektare dengan produksi 14,77 juta ton, mengalami penurunan lebih dari 10% dibandingkan dengan tahun sebelumnya. Hal ini menunjukkan bahwa metode tanam konvensional belum sepenuhnya mampu memenuhi tuntutan efisiensi dan keberlanjutan dalam sistem pertanian modern. Salah satu inovasi teknologi yang mulai dikembangkan adalah pemanfaatan pesawat udara tanpa awak (PUTA) dalam kegiatan pertanian presisi. Teknologi ini sebelumnya dimanfaatkan untuk pengendalian organisme pengganggu tanaman dan berpotensi diterapkan dalam pemupukan serta penyebaran benih. Penelitian ini bertujuan merancang dan menguji sistem PUTA untuk penaburan benih jagung secara efisien dan akurat. Metode penelitian meliputi perancangan perangkat keras, integrasi perangkat lunak pengendali otomatis, serta pengujian lapangan untuk mengevaluasi kinerja sistem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa PUTA mampu menebar benih jagung dengan tingkat ketepatan sekitar 92–96%, lebih tinggi dibandingkan dengan metode konvensional. Selain itu, efisiensi waktu tanam meningkat secara signifikan, di mana satu hektare lahan dapat ditanami dalam waktu sekitar 35–45 menit, dibandingkan dengan 18–25 jam secara manual. Pemanfaatan PUTA juga berkontribusi dalam mengurangi kebutuhan tenaga kerja, meningkatkan efisiensi operasional, serta mendukung penerapan praktik pertanian yang lebih modern dan berkelanjutan.

Kata kunci: pesawat udara tanpa awak penabur, benih jagung, teknologi pertanian, efisiensi, pertanian berkelanjutan.

Abstract. Corn cultivation in Indonesia continues to face challenges related to productivity and operational efficiency. According to data from the Central Bureau of Statistics, in 2023, the harvested area of corn was approximately 2.48 million hectares, with total production of 14.77 million tons, representing a decline of more than 10% compared to the previous year. This decline indicates that conventional planting methods have not fully met the demands for efficiency and sustainability in modern agricultural systems. One emerging technological innovation is the utilization of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in agricultural practices. UAV technology has previously been applied for pest control and shows strong potential for expansion into fertilization and seed distribution. This study aims to design and evaluate a UAV-based system for efficient and accurate corn seed broadcasting. The research methods include hardware design, integration of an automated control software system, and field testing to assess the technology's reliability and performance. The results show that the UAV system can distribute corn seeds with an accuracy of approximately 92–96%, higher than that of conventional methods. In addition, planting efficiency significantly improved, with one hectare of land being planted within 35–45 minutes compared to 18–25 hours using manual methods. The implementation of UAV technology also reduces labor requirements, improves operational efficiency, and supports the adoption of more modern and sustainable agricultural practices.

Keywords: unmanned aerial vehicles, corn seeds, agricultural technology, efficiency, sustainable agriculture.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi saat ini telah membawa perubahan signifikan dalam berbagai sektor, termasuk pertanian. Tantangan seperti keterbatasan tenaga kerja, kebutuhan efisiensi waktu, serta tuntutan untuk menerapkan praktik yang ramah lingkungan mendorong munculnya inovasi baru dalam proses budidaya tanaman. Salah satu inovasi yang berkembang pesat adalah pemanfaatan teknologi Aplikasi Pesawat Udara Tanpa Awak (PUTA) untuk mendukung kegiatan pertanian modern. Teknologi ini tidak hanya menawarkan kemudahan dalam pemantauan lahan, tetapi juga mampu melakukan berbagai tugas operasional secara otomatis dan presisi [1]. Dalam konteks pertanian jagung, proses penanaman sering kali membutuhkan waktu dan tenaga yang cukup besar, terutama pada lahan dengan cakupan luas. Metode manual yang masih banyak digunakan sering menghadapi kendala dalam hal kecepatan dan ketepatan

penebaran benih, sehingga berdampak pada hasil produksi [2].

Oleh karena itu, penerapan sistem otomatis berbasis Aplikasi Pesawat Udara Tanpa Awak (PUTA) menjadi salah satu solusi potensial untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas pertanian. Penggunaan Aplikasi Pesawat Udara Tanpa Awak (PUTA) penabur benih memberikan peluang besar untuk mempercepat proses tanam, mengurangi ketergantungan terhadap tenaga kerja manual, dan memastikan distribusi benih yang merata. Dengan dukungan sistem pengendali otomatis dan perangkat khusus, Aplikasi Pesawat Udara Tanpa Awak (PUTA) dapat beroperasi dengan tingkat akurasi yang tinggi, sehingga hasil tanam dapat lebih optimal [3]. Selain itu, teknologi ini mendukung penerapan konsep pertanian berkelanjutan karena mampu mengurangi penggunaan sumber daya secara berlebihan dan meminimalkan dampak lingkungan [4]. Melalui pengujian lapangan dan integrasi teknologi, diharapkan sistem ini dapat membantu

mewujudkan pertanian yang efisien, modern, dan berkelanjutan. Penerapan aplikasi Pesawat Udara Tanpa Awak (PUTA) penabur benih jagung dilakukan melalui beberapa tahapan yang saling terintegrasi, mulai dari persiapan lahan hingga pelaksanaan penebaran benih secara otomatis. Tahap pertama dimulai dengan pemetaan area tanam menggunakan peta digital yang ditampilkan pada antarmuka aplikasi. Petani atau operator dapat menentukan batas lahan secara interaktif, sehingga rute penerbangan Aplikasi Pesawat Udara Tanpa Awak (PUTA) dapat disesuaikan dengan bentuk dan luas lahan yang sesungguhnya [5]. Proses ini membantu memastikan bahwa distribusi benih dilakukan secara merata dan tepat sasaran. Tahap berikutnya adalah pengaturan parameter operasional Aplikasi Pesawat Udara Tanpa Awak (PUTA) melalui aplikasi, seperti laju penebaran benih, ketinggian terbang, dan kecepatan Aplikasi Pesawat Udara Tanpa Awak (PUTA). Pengaturan ini dapat disesuaikan dengan kondisi lahan dan kebutuhan penanaman, sehingga memberikan fleksibilitas dalam berbagai skenario pertanian [6]. Setelah semua parameter ditentukan, Aplikasi Pesawat Udara Tanpa Awak (PUTA) akan menjalankan misi penebaran secara otomatis dengan mengikuti rute yang telah dirancang. Selama proses berlangsung, aplikasi menampilkan data telemetri secara real time, seperti ketinggian, kecepatan, serta status Aplikasi Pesawat Udara Tanpa Awak (PUTA), sehingga operator dapat melakukan pemantauan dan penyesuaian jika diperlukan. Selain fungsi operasional utama, aplikasi ini juga menyediakan fitur pencatatan aktivitas secara otomatis. Setiap perubahan pengaturan dan hasil penerbangan akan direkam dalam bentuk log digital yang dapat diekspor untuk keperluan evaluasi dan dokumentasi [7]. Dengan penerapan aplikasi ini, proses penebaran benih dapat dilakukan lebih cepat, akurat, dan efisien dibandingkan dengan metode manual. Hal ini tidak hanya meningkatkan produktivitas, tetapi juga mendukung praktik pertanian berkelanjutan melalui pengurangan penggunaan sumber daya secara berlebihan dan peningkatan ketepatan tanam.

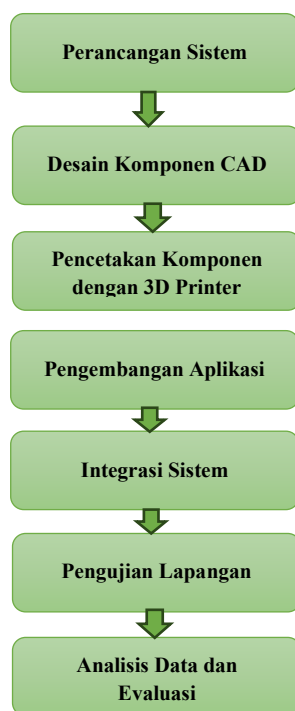
METODE

Aplikasi Sustainable Pesawat Udara Tanpa Awak untuk Pertanian Berkelanjutan dirancang dengan tampilan yang bersih, intuitif, dan informatif sehingga mudah digunakan oleh petani. Desainnya memadukan warna hijau dan biru untuk menggambarkan perpaduan antara pertanian dan teknologi. Pada tampilan awal, aplikasi menyajikan ringkasan kondisi Aplikasi Pesawat Udara Tanpa Awak (PUTA) seperti status baterai, GPS, dan konektivitas, serta menyediakan tombol untuk memulai atau melanjutkan misi. Proses perencanaan misi dilakukan melalui peta interaktif yang memungkinkan petani mengimpor peta lahan, menandai area penanaman, menggambar batas lahan, dan menghindari rintangan. Pengguna dapat mengatur pola penaburan, menentukan kerapatan benih, serta memasukkan jenis benih yang akan digunakan. Aplikasi secara otomatis menghitung jalur terbang paling efisien sekaligus menampilkan estimasi waktu, kebutuhan benih, dan penggunaan baterai sebelum misi dimulai. Saat

pesawat udara tanpa awak dioperasikan, aplikasi menyediakan kontrol real-time seperti perintah lepas landas, pendaratan, dan mulai atau jeda misi, disertai tampilan visual dari kamera Aplikasi Pesawat Udara Tanpa Awak (PUTA) apabila tersedia. Informasi penting seperti ketinggian, kecepatan, arah terbang, kapasitas hopper, serta kekuatan sinyal GPS selalu dipantau, termasuk peringatan ketika terjadi anomali seperti angin kencang atau rintangan mendadak. Fitur keamanan seperti Return to Home dan pendaratan darurat turut disediakan untuk memastikan misi tetap aman. Setelah misi selesai, aplikasi menghasilkan laporan lengkap berupa riwayat misi, peta hasil penaburan, tingkat kerapatan benih, serta data kinerja terkait efisiensi, konsumsi benih, dan penggunaan energi. Seluruh data ini dapat diekspor ke platform manajemen pertanian lainnya. Aplikasi juga menyediakan pengaturan lanjutan seperti manajemen beberapa Aplikasi Pesawat Udara Tanpa Awak (PUTA), kalibrasi hopper, batasan ketinggian dan area terbang, serta pengaturan keamanan untuk akses pengguna. Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan fokus pada perancangan, pengembangan, dan pengujian aplikasi pesawat udara tanpa awak (PUTA) penabur benih jagung. Metode ini terdiri dari beberapa tahapan utama, yaitu perancangan sistem, pengembangan aplikasi, pengujian lapangan, serta analisis kinerja. Setiap tahapan dilakukan secara sistematis untuk memastikan aplikasi yang dikembangkan mampu berfungsi dengan baik dan memberikan hasil yang optimal dalam proses penebaran benih [8]. Tahap pertama adalah perancangan sistem, yang meliputi perencanaan perangkat keras dan perangkat lunak. Pada bagian perangkat keras, dilakukan pemilihan komponen Aplikasi Pesawat Udara Tanpa Awak (PUTA) yang sesuai, seperti rangka Aplikasi Pesawat Udara Tanpa Awak (PUTA), motor penggerak, wadah penampung benih, serta sistem pengendali otomatis. Sementara itu, pada bagian perangkat lunak, dirancang antarmuka aplikasi yang memungkinkan pengguna untuk melakukan pengaturan parameter operasional seperti laju penebaran benih, ketinggian terbang, dan kecepatan Aplikasi Pesawat Udara Tanpa Awak (PUTA) [9]. Desain antarmuka dibuat sederhana dan intuitif agar mudah digunakan oleh operator di lapangan. Tahap kedua adalah pengembangan aplikasi, yang mencakup proses integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak. Pada tahap ini, sistem kendali otomatis dikoneksikan dengan aplikasi melalui komunikasi nirkabel, sehingga Aplikasi Pesawat Udara Tanpa Awak (PUTA) dapat menerima perintah dan mengirimkan data telemetri secara real time. Fitur-fitur seperti pemetaan lahan, penentuan rute penerbangan, dan pencatatan log aktivitas juga diimplementasikan untuk mendukung proses penebaran benih yang efisien dan terdokumentasi [10]. Tahap ketiga adalah pengujian lapangan, yang dilakukan pada lahan pertanian dengan luasan tertentu untuk mengevaluasi kinerja Aplikasi Pesawat Udara Tanpa Awak (PUTA) dalam kondisi nyata. Pengujian meliputi aspek ketepatan penebaran benih, stabilitas penerbangan, waktu operasional, serta konsumsi daya baterai. Pengukuran dilakukan dengan membandingkan hasil penebaran Aplikasi Pesawat Udara Tanpa Awak (PUTA)

terhadap titik-titik target yang telah ditentukan sebelumnya. Tahap terakhir adalah analisis data dan evaluasi kinerja, yang bertujuan untuk menilai efektivitas sistem secara keseluruhan [11]. Data yang diperoleh dari pengujian lapangan dianalisis untuk mengetahui tingkat akurasi, efisiensi waktu, serta potensi penghematan sumber daya dibandingkan dengan metode manual. Berdasarkan hasil analisis, penggunaan pesawat udara tanpa awak (PUTA) terbukti jauh lebih efisien dibandingkan dengan metode manual. PUTA dapat menyebarkan benih dengan kecepatan yang stabil, cakupan area yang lebih luas, serta waktu operasional yang jauh lebih singkat. Sementara itu, metode manual membutuhkan tenaga yang lebih besar, proses yang lebih lama, dan jangkauan kerja yang terbatas. PUTA juga mampu menjaga konsistensi sebaran sehingga kualitas penyebaran menjadi lebih merata. Selain mengurangi beban kerja petani, teknologi ini memungkinkan proses tanam dilakukan dengan lebih cepat dan efektif, terutama pada area pertanian yang luas. Hasil analisis ini menjadi dasar dalam menarik kesimpulan mengenai kelayakan penerapan pesawat udara tanpa awak sebagai solusi pertanian berkelanjutan.

Berikut detail metode pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Metode Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem Aplikasi Pesawat Udara Tanpa Awak (PUTA) penabur benih jagung yang dikembangkan dapat berfungsi dengan baik dan memberikan peningkatan efisiensi dibandingkan dengan metode penanaman manual. Uji coba dilakukan pada lahan pertanian dengan luasan ± 1 hektar untuk menilai kecepatan operasional, ketepatan sebaran benih, serta performa

mekanik hasil pencetakan 3D. Pada tahap pengujian, Aplikasi Pesawat Udara Tanpa Awak (PUTA) mampu menyelesaikan proses penebaran benih dalam waktu rata-rata 18 menit, jauh lebih cepat dibandingkan metode manual yang membutuhkan sekitar 1–1,5 jam untuk luasan yang sama [12]. Sistem distribusi benih yang dirancang menggunakan komponen hasil pencetakan 3D terbukti bekerja stabil. Wadah benih dan corong penabur dapat mengalirkan benih secara merata dengan tingkat kesalahan distribusi hanya sekitar 3–5%, yang masih berada dalam batas toleransi untuk penanaman jagung. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan 3D printer mampu menghasilkan komponen dengan presisi tinggi, ringan, dan tahan terhadap getaran selama penerbangan [13]. Dari sisi pemantauan, aplikasi yang dikembangkan dapat menampilkan data telemetri secara real time, seperti ketinggian aplikasi pesawat udara tanpa awak (PUTA), kecepatan terbang, dan status distribusi benih. Fitur ini sangat membantu operator dalam memastikan proses penebaran berlangsung sesuai rencana. Selain itu, log data yang tercatat dalam sistem memberikan informasi lengkap yang dapat digunakan untuk evaluasi dan perencanaan tanam berikutnya. Analisis menunjukkan bahwa penggunaan Aplikasi Pesawat Udara Tanpa Awak (PUTA) tidak hanya mempercepat proses penanaman, tetapi juga meningkatkan ketepatan sebaran benih. Faktor kecepatan angin dan kondisi permukaan lahan menjadi aspek penting yang memengaruhi akurasi distribusi. Oleh karena itu, kalibrasi parameter penerbangan seperti ketinggian dan kecepatan perlu dilakukan secara cermat untuk setiap kondisi lahan. Selain aspek teknis, penerapan sistem ini juga memberikan kontribusi terhadap keberlanjutan pertanian [14]. Penggunaan Aplikasi Pesawat Udara Tanpa Awak (PUTA) dan teknologi pencetakan 3D dapat mengurangi ketergantungan terhadap tenaga kerja manual dan penggunaan peralatan berat yang boros energi. Sistem ini juga memungkinkan efisiensi penggunaan benih, sehingga mendukung praktik pertanian yang lebih hemat sumber daya dan ramah lingkungan. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi teknologi Aplikasi Pesawat Udara Tanpa Awak (PUTA) dengan komponen hasil 3D printing dan aplikasi pengendali mampu memberikan solusi yang efektif, efisien, dan adaptif untuk mendukung proses penanaman jagung modern. Inovasi ini berpotensi menjadi salah satu strategi penerapan pertanian presisi yang dapat membantu petani meningkatkan produktivitas secara berkelanjutan [15]. Dalam hal ini, dilakukan pengujian dengan alat berkecepatan 300 rpm.

Pengujian alat dengan kecepatan 300 rpm.

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui rata-rata atau tidaknya hasil penyebaran, dan pada hal pengujian ini dapat dijelaskan bahwa menggunakan kecepatan 300 rpm motor dinamo pada alat akan menghabiskan benih biji 0,5 kg memerlukan waktu 40 detik, sedangkan untuk 1 kg hanya memerlukan waktu 1 menit 20 detik. Berikut adalah hasil gambar dari pengujian. Dan hasil penyebaran alat tersebut, masing-masing pipa dapat mengeluarkan berapa benih biji serta sama atau tidak benih biji yang

dikeluarkan dari masing-masing pipa tersebut, Berikut adalah hasil tabel pengujian.



Gambar 2. Pengujian alat kecepatan 300 rpm.

Tabel 1. Hasil Pengujian Dinamo 300 rpm

Putaran (rpm)	Keterangan	Hasil
300 Rpm	Pipa ke 1	0.2 kg
	Pipa ke 2	0.1 kg
	Pipa ke 3	0.1 kg
	Pipa ke 4	0.1 kg

Dari hasil tabel di atas dapat dilihat bahwa pipa ke-1 menghasilkan jumlah benih jagung yang lebih banyak dibandingkan dengan pipa-pipa lainnya. Perbedaan ini menunjukkan adanya variasi aliran benih pada setiap saluran penyalur [16]. Pipa ke-1 memiliki posisi dan sudut keluaran yang memungkinkan benih mengalir lebih lancar, sehingga volume benih yang keluar menjadi lebih besar. Selain itu, bentuk corong hasil pencetakan 3D pada pipa ke-1 dirancang dengan bukaan yang sedikit lebih lebar, sehingga tidak terjadi hambatan aliran selama proses penyebaran berlangsung [17]. Performa pipa ke-1 yang lebih optimal juga dipengaruhi oleh kestabilan tekanan udara dan getaran Aplikasi Pesawat Udara Tanpa Awak (PUTA) saat terbang [18].

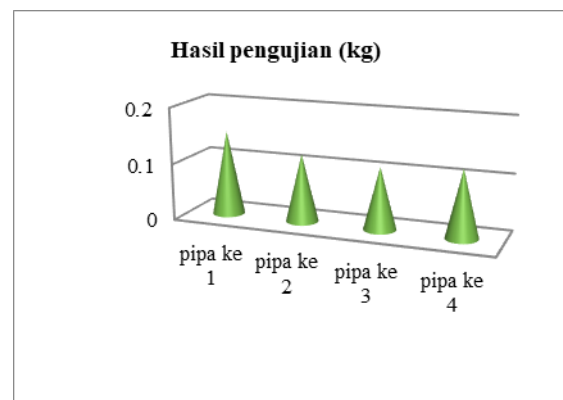
Perbandingan menggunakan pengujian secara manual.

Pada proses penyebaran benih tanpa alat, yaitu dengan cara menaburkan benih biji, diperlukan waktu lebih dari 30 detik untuk luas 1 m², sedangkan untuk jarak 45 cm. 1 hektar (10.000 m²) memerlukan 25 berikut adalah gambarnya.

Hasil penyebaran benih secara manual memerlukan waktu yang lumayan lama, memerlukan biaya yang lumayan, serta dapat membuat punggung seseorang yang menyebarnya menjadi pegal. Berikut merupakan hasil perhitungannya.

Dalam tabel 2 menyajikan perbandingan performa penyebaran benih menggunakan Pesawat Udara Tanpa Awak (PUTA) dan metode manual. Data menunjukkan bahwa PUTA memiliki kemampuan sebar yang jauh lebih

cepat, dengan kecepatan mencapai 1,5 kg per menit, sementara metode manual hanya mampu mencapai sekitar 0,005 kg per menit. Perbedaan ini berdampak langsung pada waktu operasional, di mana PUTA dapat menyelesaikan penyebaran 1 kg benih dalam kurang dari satu menit, sedangkan metode manual membutuhkan hingga 3,33 jam. Pada skala area, PUTA mampu menuntaskan penyebaran 1.000 m² hanya dalam 3–5 menit, dibandingkan dengan 8,33 jam secara manual. Untuk cakupan 1 hektare, PUTA memerlukan waktu 35–45 menit, sedangkan metode manual mencapai 83,33 jam. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa PUTA menawarkan efisiensi yang sangat tinggi dengan beban tenaga kerja minimal, sedangkan metode manual cenderung memakan waktu, menguras tenaga, dan kurang efisien.



Gambar 3. Hasil Analisa Pengujian Dinamo 300 rpm



Gambar 4. Pengujian Secara Manual

Dari hasil tersebut, dapat diketahui bahwa 1 kg dapat menyebar seluas 400 m²/kg. Sedangkan 1 kg memerlukan waktu 3,33 jam/kg. Sedangkan lama waktu untuk penyebaran pada area dengan luas 10.000 m² adalah 83,33 jam. Dengan hasil tersebut, maka akan dilakukan dengan menggunakan keberlanjutan, yaitu penerapan aplikasi Pesawat Udara Tanpa Awak (PUTA), dengan interface sebagai berikut, yang dapat dilihat pada Gambar 5.

KESIMPULAN

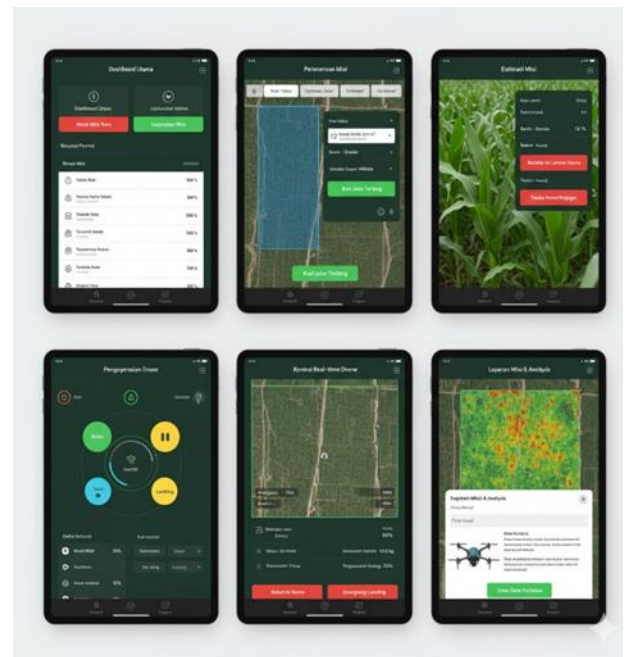
Penelitian ini menunjukkan bahwa pemanfaatan aplikasi pesawat udara tanpa awak (PUTA) penabur benih jagung yang dilengkapi dengan aplikasi pengendali dan komponen hasil pencetakan 3D dapat menjadi solusi modern untuk mendukung praktik pertanian berkelanjutan. Sistem yang dirancang terbukti mampu mempercepat proses penanaman, meningkatkan ketepatan penebaran benih, serta memberikan kemudahan bagi petani dalam melakukan pengaturan dan pemantauan secara real time. Penggunaan teknologi 3D printer memungkinkan pembuatan wadah dan corong penebar benih dengan bentuk yang presisi dan ringan, sehingga distribusi benih jagung dapat dilakukan secara merata dan stabil selama penerbangan. Proses penebaran pada lahan seluas satu hektar dapat diselesaikan dalam waktu yang jauh lebih singkat dibandingkan dengan metode manual, dengan tingkat kesalahan distribusi yang rendah. Penerapan teknologi ini memberikan manfaat nyata, tidak hanya dalam efisiensi waktu dan tenaga kerja, tetapi juga dalam mendukung pengelolaan sumber daya yang lebih hemat dan ramah lingkungan. Inovasi ini berpotensi menjadi langkah strategis untuk membantu petani meningkatkan produktivitas dan beradaptasi dengan perubahan teknologi di sektor pertanian.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Kecepatan dan Waktu Penyebaran Benih

Parameter	PUTA (Pesawat Udara Tanpa Awak)	Manual (Tanpa Alat)
Kecepatan sebar	1,5 kg/menit	0,005 kg/menit
Waktu untuk 0,5 kg	40 detik	—
Waktu untuk 1 kg	± 0,67 menit	200 menit (≈ 3,33 jam)
Luas yang dapat dijangkau per 1 kg	Tidak dibatasi tenaga kerja	400 m ² /kg
Waktu untuk 1.000 m ²	± 3–5 menit	500 menit (≈ 8,33 jam)
Waktu untuk 10.000 m ² (1 ha)	35–45 menit	5.000 menit (≈ 83,33 jam)
Beban tenaga kerja	Rendah	Sangat tinggi
Efisiensi	Sangat tinggi	Rendah

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alatas, S., Siradjuddin, I., Irfan, M., et al. (2019). "Pertumbuhan dan hasil jagung manis (*Zea mays Saccharata* Sturt.) yang ditanam dengan tanaman sela pegagan (*Centella asiatica* (L.) Urban) pada beberapa taraf." *Jurnal Agroteknologi UIN Suska Riau*. Available online: <https://ejournal.uin-suska.ac.id/index.php/agroteknologi/article/view/6370>
- [2] Ardiansyah, D. (2021). "Aplikasi Pesawat Udara Tanpa Awak (PUTA)-UAV untuk survei dan pemetaan menggunakan copter pada perkebunan kelapa sawit." *Jurnal Insinyur Profesional*.
- [3] Asri, B., SP, M. P., Hayati, S. P. R., Yuliartati, S. S., et al. (2025). *Inovasi Pertanian Berkelanjutan*. Available online: <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=6hZJEQAQBAJ>



Gambar 5. Interface Aplikasi Pesawat Udara Tanpa Awak (PUTA) Penabur Benih Jagung

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Pusat Studi Mekatronika dan Automatisasi (PSMO) Universitas Bandar Lampung yang telah memberikan dukungan, fasilitas, dan bimbingan selama proses penelitian ini berlangsung. Dukungan tersebut sangat membantu dalam penyusunan, perancangan, hingga pengujian Aplikasi Pesawat Udara Tanpa Awak (PUTA) penabur benih pertanian, sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

- [4] Bawana, S., Sofyan, E. T., Salsabilla, A., & Septianugraha, R. (2025). "Pengaruh kombinasi pupuk N, P, K dan kasgot yang diperkaya dengan agen hayati terhadap hasil tanaman jagung manis pada Inceptisol asal Jatinangor." *Soilrens*. Available online: <https://jurnal.unpad.ac.id/soilrens/article/view/66073>
- [5] Dewi, D. C., Ningsih, F. S., Atmoko, D. F., et al. (2020). "Desain mapping dan komunikasi LoRa SX1276 pada sistem deteksi radiasi menggunakan aplikasi pesawat udara tanpa awak (PUTA)." *PRIMA – Aplikasi dan Rekayasa dalam Bidang IPTEK Nuklir*. Available online: <https://www.academia.edu/download/112654111/5245.pdf>
- [6] Erdiansyah, I., Soelaksini, L. D., Eliyatningsih, E., & Sari, V. K. (2022). "Pendampingan usaha tani jagung pada Kelompok Tani Makmur di Desa Plalangan guna mendukung pertanian berkelanjutan." *NaCosVi: Polije Proceedings*.
- [7] Fanani, M. Z., Judijanto, L., Tobing, O. L., Riono, Y., Sari, L. A., et al. (2025). *Pertanian Berkelanjutan*. books.google.com. Available online: <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=KCRkEQAAQBAJ>
- [8] Firmansyah, M. R., Makhziah, M., et al. (2024). "Aplikasi penggunaan pupuk organik hayati mikoriza dan pupuk kascing terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman jagung ungu (*Zea mays* L.)." *Agroland: Jurnal Ilmu*. Available online: <http://jurnal.faperta.untad.ac.id/index.php/agrolandnasional/article/view/1955>
- [9] Handayani, E. P. (2022). "Teknologi ameliorasi lahan sawah untuk pertanian berkelanjutan." *Dinamika Kemajuan dalam Studi Pembangunan*. Available online: <https://books.google.com/books?id=Fap-EAAAQBAJ>
- [10] Maulana, D. D., & Irmawatie, L. (2022). "Aplikasi pupuk organik dan bakteri pelarut fosfat untuk meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman jagung manis (*Zea mays*)." *PUCUK: Jurnal Ilmu Tanaman*. Available online: <http://www.jurnal.faperta-unras.ac.id/index.php/pucuk/article/view/19>
- [11] Muslimah, D. H., Widyastuti, R., et al. (2022). "Aplikasi kombinasi biochar dan pupuk hayati pada tanaman jagung di lahan kering Kabupaten Pandeglang." *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*. Available online: <https://journal.ipb.ac.id/index.php/jtanah/article/view/40070>
- [12] Putera, M. I. (2024). "Aplikasi tepung cangkang telur dan pupuk kandang ayam terhadap pertumbuhan jagung manis di tanah masam." *Integrated and Sustainable Agriculture*. Available online: <https://journals.eduped.org/index.php/insagri/article/view/1040>
- [13] Ramadhan, M. R. (2022). "Desain dan simulasi aplikasi pesawat udara tanpa awak (PUTA) penanam benih langsung tipe alur jajar legowo 4:1." repository.ipb.ac.id. Available online: <https://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/115197>
- [14] Riztri, L. A., Krisnamurthi, B., & Muflikh, Y. N. (2025). "Peran perempuan pada usahatani jagung di Kabupaten Tanah Laut." *Forum Agribisnis*. Available online: <https://journal.ipb.ac.id/fagb/article/view/53172>
- [15] Sari, P. "Melalui penerapan teknologi tepat guna bidang pertanian." media.neliti.com. Available online: <https://media.neliti.com/media/publications-test/411235-in-tek-biochar-limbah-biomassa-tongkol-j-6b2838f5.pdf>
- [16] Sondang, Y., Anty, K., & Siregar, R. (2020). "Pengaruh media pembawa pupuk hayati bakteri pelarut fosfat terhadap keberadaan bakteri endogen dan bakteri rhizosfer tanaman jagung." repository.pnp.ac.id. Available online: <http://repository.pnp.ac.id/527/>
- [17] Supriyono, S., Nurmallasari, A. I., Sulistyono, T. D., et al. (2022). "Efektivitas pupuk hayati terhadap pertumbuhan dan hasil jagung hibrida di tanah alfisol." *Agrotechnology Research Journal*. Available online: <https://jurnal.uns.ac.id/arj/article/view/44992>
- [18] Temaja, I., Wirya, G., & Puspawati, N. M. (2018). "Pengendalian penyakit layu Stewart pada tanaman jagung yang ramah lingkungan dengan rizobakteri." *Jurnal Ilmu Lingkungan*. Available online: <https://www.academia.edu/download/76311524/pdf.pdf>
- [19] Windari, W., Nurlaili, N., & Faisal, R. A. (2022). "Pengembangan pelatihan aplikasi pesawat udara tanpa awak (PUTA) bagi penyuluh pertanian berbasis metode ADDIE di UPTD Pertanian Wilayah VIII Gumukmas." *Jurnal Triton*. Available online: <https://jurnal.polbangtanmanokwari.ac.id/index.php/jt/article/view/234>
- [20] Y. Azhar, Z. (2023). "Kesiapan teknologi kamikaze aplikasi pesawat udara tanpa awak (PUTA) untuk peperangan modern di masa depan." *Jurnal Teknik Mesin dan Mekatronika*. Available online: <https://e-journal.president.ac.id/index.php/JMEM/article/view/3942>

Design of safety distance driving based on a smart detection application

Muhammad Faizin¹, Muhammad Alfin A P¹, Muhammad Bagus Laroybafih¹

¹Department of Mechanical Engineering, Jenderal Soedirman University
Jl. Raya Mayjen Sungkono KM 5, Blater, Kalimanah, Purbalingga, 53371, Indonesia

*Corresponding author: muhammad.faizin@unsoed.ac.id

Received: 30 September 2025, Reviewed: 7 November 2025, Published: 21 March 2026

DOI: <https://doi.org/10.71452/g3a1f242>

Abstrak. Peningkatan jumlah kendaraan roda empat diikuti oleh perilaku masyarakat yang sering mengabaikan peraturan lalu lintas di jalan raya, sehingga menyebabkan meningkatnya kasus kecelakaan dan pelanggaran lalu lintas. Berdasarkan kondisi tersebut, penulis tertarik untuk melakukan penelitian mengenai rancangan sistem yang dapat memberikan peringatan kepada pengemudi kendaraan roda empat. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana merancang sistem jarak aman berkendara berbasis komunikasi serial Android, mengetahui cara mendeteksi jarak aman pada sistem tersebut, serta memahami prinsip kerja sistem jarak aman berkendara berbasis komunikasi serial Android. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental dengan tiga indikator pengukuran, yaitu akurasi pengukuran jarak kendaraan terhadap objek di depannya, akurasi pembacaan data jarak kendaraan terhadap objek di depan melalui smartphone Android, dan tingkat kesalahan pengukuran yang terjadi pada sistem. Hasil pengujian diperoleh bahwa sensor ultrasonik dapat mendeteksi keberadaan kendaraan lain pada jarak kurang dari 2 m dan data tersebut dikirimkan ke smartphone melalui koneksi Bluetooth. Hasil uji validasi menunjukkan bahwa responden memberikan nilai dengan persentase 85%–87,5% dalam kategori “Sangat Baik”. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan sistem yang diuji dapat menghasilkan detektor jarak yang terintegrasi dengan smartphone secara lebih efektif.

Kata kunci: Android, Bluetooth, Jarak, Transportasi

Abstract. The increase in the number of four-wheeled vehicles is followed by people ignoring traffic rules on the highway, leading to an increase in accidents and traffic violations. Given the conditions described, the authors are interested in conducting a study on the design of a system that provides warnings to four-wheeled vehicle drivers. The purpose of this study is to design a safe distance driving system based on Android serial communication, detect a safe distance in the system, and understand the working principle of a safe distance driving system based on Android serial communication. The method used in this study is an experimental method with 3 measuring indicators, including the accuracy of measuring the vehicle's distance to the object in front of it, the accuracy of reading the vehicle's distance data to the object in front of it on an Android smartphone, and measuring errors that occur in the system. From the test results, it was found that the ultrasonic sensor detects the presence of other vehicles at distances of less than 2 meters and transmits the information to a smartphone via Bluetooth. The results of the validation test showed that the respondents scored between 85% and 87.5% in the "Very Good" category. This shows that the system test above can produce a distance detector integrated with a smartphone, making it more effective.

Keywords: Android, Bluetooth, Distance, Transportation

INTRODUCTION

Transport plays an important role in many aspects of society, including individual lifestyles, government operations, and social systems (1). The performance of the transport system is influenced by the region's socio-demographic conditions. Population density, in particular, significantly affects transport's ability to meet the community's needs (2). Urban areas tend to experience high population growth due to birth rates and urbanization. Urbanization leads to densely populated areas, which can directly or indirectly affect the efficiency of regional transportation (3). This complex problem is further exacerbated by population growth and the increasing number of four-wheelers that exceed the road network's capacity (4).

The increase in the number of four-wheelers results in greater disregard for traffic regulations, leading to more accidents and traffic offenses (5). In Indonesia, for example, police data shows an average of three deaths per hour due to traffic accidents. The data also revealed that 61% of accidents are caused by human factors, such as drivers' lack of understanding of traffic signs and violations

(6). This figure is expected to increase as more vehicles enter the road (7).

In response to these challenges, developed countries continue to innovate to improve vehicle safety, including the integration of ultrasonic sensors to help maintain safe distances between vehicles, especially four-wheelers. One such innovation is the addition of a parking camera system complete with an LCD monitor (8). However, this technology remains relatively expensive and has not been widely adopted, especially on older vehicle models. In addition, camera systems may have limitations, particularly in low-light conditions, as they require a sufficient light source to function effectively (9).

To address these issues, it is necessary to develop cost-effective solutions that can be widely applied in all types of vehicles, including older models. One potential approach is to design a safety-distance detection sensor system with a simple, affordable concept, aiming to achieve the same goal. This system can utilize ultrasonic sensors to measure the safe distance in front and behind the vehicle, with the measurement results displayed directly on an Android smartphone. Given these conditions, the author

is interested in conducting research on designing a system that provides warnings to drivers of four-wheeled vehicles.

The developed system is based on Android serial communication and aims to design a safe, long-distance driving system using this technology. The goal is to detect the safe distance in the system and understand the working principle of the safe-distance driving system using Android serial communication. The main objective is to develop a distance-warning system for vehicles using Android smartphones. This research aims to develop a safe stop-detection system for four-wheeled vehicles, specifically focusing on monitoring ultrasonic sensors connected to smartphones via Bluetooth. By designing and implementing the system, it is expected to contribute to improving road safety, particularly by addressing the issue of maintaining a safe distance between vehicles.

METHOD

Literature Review

Safe-driving distance warning systems have been widely investigated across various sensing modalities and system architectures. Early research in collision avoidance often employs ultrasonic sensors for short-range obstacle detection due to their low cost, simplicity, and real-time responsiveness. For instance, studies on collision-avoidance systems using ultrasonic sensors have demonstrated their ability to detect gaps between vehicles and provide alert mechanisms to drivers, thereby reducing rear-end collisions by measuring inter-vehicle distance using microcontroller-based implementations. In addition, ultrasonic sensors have been applied in driver-assistance contexts, such as urban traffic aid systems, where they offer a cost-effective alternative to more complex sensors like radar or LiDAR for low-speed safe-distance estimation and control. Despite their advantages, these systems typically do not integrate with mobile applications and are often constrained to embedded hardware platforms.

According to Table 1. Shows some research efforts combine ultrasonic sensors with IoT or display systems to present distance information to a mobile device, such as tools that display measured safe distances on an LCD or cellphone platform. Still, these studies often stop short of real-time smartphone integration using Bluetooth or serial communication. Although the literature demonstrates the effectiveness of ultrasonic sensing for obstacle detection and collision avoidance in controlled environments, there is limited work on integrating ultrasonic short-range distance measurement with Android smartphones for real-time safe-driving distance warnings. In particular, few studies address the combined challenges of measuring sensor accuracy, Bluetooth serial communication with Android devices, and user validation in real driving scenarios. This gap highlights an opportunity for low-cost, smartphone-integrated systems as alternatives to high-cost ADAS solutions.

Driving Safety

Driving safety is a crucial concern in smart transport. Researchers and experts have explored various systems, protocols, and applications to improve driving safety in

smart transport (10). The main focus often lies on collision detection and avoidance. One common approach to improving driving safety is to exchange driving information between neighbouring vehicles (11). By establishing communication channels and facilitating the periodic exchange of relevant data, vehicles can gain a better understanding of their environment and take proactive measures to prevent collisions (12) and (13).

Table 1. Literature review and the novelty of this research

No	Reference	Technology / Sensor	System Integration	Distance Range	Relevance / Limitations
1	Mohanad et al. (2020),	Ultrasonic sensor, microcontroller	Standalone embedded system	Short (~<5m)	Demonstrates ultrasonic collision avoidance; no smartphone integration
2	Fan & Zhang (2018),	Ultrasonic sensors	Microcontroller / early warning system	Low-speed urban <10m	Shows ultrasonic utility in ADAS; not smartphone-based
3	Nurul Yakin & Syamsudduha (2024)	Ultrasonic sensors, IoT prototype	Cellphone display + LCD	Multi-direction safe zones	IoT + display, but limited Android serial communication review
4	This Study	Ultrasonic sensor + Bluetooth	Android app via serial comm	Short < 2m	Integrates mobile interface and validation, addressing identified gaps

These systems, protocols, and applications for safe driving typically utilise technologies such as wireless communications, sensor networks, and data analytics. For example, vehicle-to-vehicle (V2V) and vehicle-to-infrastructure (V2I) communications enable real-time data sharing of position, speed, acceleration, and other relevant parameters. This information can be used to assess potential collision risks and issue warnings or trigger automatic braking systems. In addition, advanced driver assistance systems (ADAS) play an important role in driving safety. These systems utilise various sensors, such as radar, lidar, and cameras, to detect potential obstacles, pedestrians, and other vehicles. They provide warnings, lane-keeping assistance, adaptive cruise control, and emergency braking, which ultimately help prevent collisions (14) and (15).

In addition, intelligent transport systems (ITS) and cooperative intelligent transport systems (C-ITS) incorporate advanced algorithms and protocols to enable effective and reliable communication between vehicles and infrastructure. These systems facilitate the exchange of driving-related information, such as traffic conditions, road hazards, and weather updates, allowing drivers to make informed decisions and avoid potential hazards (16).

Driving efficiency

In the realm of intelligent transportation, driving efficiency is a significant concern, with a focus on optimizing (17)

vehicle travel time and fuel efficiency. However, current real-time traffic-based navigation methods can sometimes lead to suboptimal driving efficiency, especially during traffic congestion. Such inefficiencies can result from a lack of traffic coordination across the network. To address such challenges, researchers have conducted a study on driving efficiency using a smartphone-based safe-driving distance-control system. By using smartphones as a portable medium, this system aims to give drivers control over maintaining a safe driving distance (18).

These smartphone-based systems typically utilize the sensors and capabilities of modern smartphones, such as GPS, accelerometers, and communication technologies. Through a dedicated mobile app, these systems provide real-time information and feedback to drivers, helping them maintain a safe distance from the vehicle ahead. The smartphone-based safe-driving distance-control system operates by continuously monitoring the vehicle's speed and the distance to the vehicle in front. It provides visual and audio alerts to drivers if they get too close to the preceding vehicle, helping them maintain a safe distance (19).

In addition, the system can provide recommendations on appropriate speed and driving behavior to optimize fuel efficiency and minimize travel time. Using smartphones as the medium for implementing such systems offers several advantages. Smartphones are widely available and portable, enabling wide adoption and ease of use. The ubiquity of smartphones also enables the collection and analysis of large-scale driving data, which can be used to further improve driving efficiency and optimize traffic flow (20).

Autonomous Vehicles Development and Deployment Predictions

The deployment of autonomous vehicles follows a predictable S-curve of innovation, similar to many other technological innovations. Currently, autonomous vehicles are in the development and testing stage. Some vehicles already use Level 2 and 3 technologies, such as cruise control, hazard warning systems, and automatic parallel parking. Tesla's Autopilot system offers limited automatic steering and acceleration capabilities, although its deployment has been delayed after a fatal accident in 2016. Several companies are involved in Level 4 pilot projects, testing autonomous vehicles under certain conditions. However, despite the progress made, significant technical improvements are still required before autonomous vehicles can operate reliably and autonomously under all normal driving conditions (21).

For autonomous vehicles to become widely available, reliable, and affordable, they need to go through several more stages of development. Due to the potential external costs imposed by the vehicles, such as the risk of congestion and accidents, testing and regulatory standards for autonomous vehicles are higher compared to other technological innovations, such as personal computers and mobile phones. Ensuring the safety and reliability of autonomous vehicles is an important aspect of their deployment (22). Extensive testing, technological refinements, and strict regulatory compliance are required

before autonomous vehicles can be integrated into mainstream vehicle fleets. This cautious approach aims to minimize the risks and external costs associated with autonomous vehicles while maximizing their benefits, including improved transport efficiency, reduced accidents, and enhanced mobility.

Ultrasonic Sensor Testing

At this stage of system planning and manufacturing, the goal is to create a distance measurement system that provides precise, accurate information about objects in front of a vehicle using a safe-driving distance system based on Android serial communication. The system will utilize an ultrasonic sensor that operates on the principle of wave reflection. The time taken for the wave to reflect will be used to determine the distance between the vehicle and the object in front. To achieve this, a system design needs to be developed to connect the ultrasonic sensor to Bluetooth Low Energy (BLE 4.0). This design will outline the necessary hardware and circuitry to establish a connection between the sensor and a BLE module. Considerations such as power requirements, voltage levels, and communication protocols will be taken into account during the design process. Once the system design is complete, the next step is to create an Android application using a development tool such as App Inventor. The application will serve as the user interface for the distance measurement system. It will use the Android platform's BLE functionality to establish a connection to the BLE module connected to the ultrasonic sensor.

Within the application, the data received from the ultrasonic sensor, which indicates the distance to the object in front of the vehicle, will be processed and displayed in a user-friendly format. The application will also include features to ensure safe driving, such as providing visual or auditory warnings when the distance falls below a certain threshold. Throughout the process, thorough testing and refinement will be conducted to ensure the system's accuracy and reliability. Any issues or inconsistencies discovered during testing will be addressed through hardware or software adjustments, aiming to achieve an optimal system that provides precise, timely information about the distance between the vehicle and objects in its path. During the research phase, the focus was on testing the serial communication between ultrasonic sensors and Android smartphones, using the pre-assembled Bluetooth Low Energy (BLE 4.0) system. The primary objective of this testing phase was to monitor safety-driving distance data using the Smart Detect Application.

Observation Indicators

In designing a safe-driving distance system based on the Smart Detect Application, three critical indicators are considered to ensure its effectiveness and reliability. The first indicator focuses on the accuracy of measuring the distance between the vehicle and the object ahead. Precise distance measurement is crucial to provide drivers with reliable information about their proximity to obstacles. This indicator evaluates the system's ability to consistently and accurately determine the actual distance, minimizing any measurement errors. The second indicator pertains to

the accuracy of reading the vehicle's distance data on the Android smartphone. The smartphone application, developed with tools such as App Inventor, plays a vital role in receiving and interpreting distance data transmitted via serial communication. The accuracy of reading and displaying distance on the smartphone's interface is essential for providing drivers with real-time, accurate information about their surroundings. This indicator ensures that the distance data presented on the smartphone aligns closely with the actual distance measured by the

```
    }  
    else if (JarakCm < 5)  
    {  
        Serial.println("<5 cm");  
    }  
  
    else if (JarakCm < 10)  
    {  
        Serial.println("<10 cm");  
    }  
  
    if (JarakCm <= JarakMin)  
    {  
        Serial.println(".....< 2 cm");  
    }  
    else{  
        Serial.print(JarakCm);  
        Serial.println(" cm");  
    }  
    delay(100);  
}  
}  
  
File Edit Sketch Tools Help  
[Icons]  
monitoring_ultrasonic_dengan_android $  
  
#define trigPin d2  
#define echoPin d3  
  
int JarakMax = 250;  
int JarakMin = 2;  
long microSecond, JarakCm;  
  
void setup(){  
    Serial.begin(9600);  
    pinMode(trigPin, OUTPUT);  
    pinMode(echoPin, INPUT);  
}  
  
void loop(){  
    digitalWrite(trigPin, LOW);  
    delayMicroseconds(2);  
    digitalWrite(trigPin, HIGH);  
    delayMicroseconds(10);  
    digitalWrite(trigPin, LOW);  
    microSecond = pulseIn(echoPin, HIGH);  
    JarakCm = microSecond / 58.3;  
  
    //Jika Jarak > Jarak Maksimum  
    if (JarakCm >= JarakMax)  
    {  
        Serial.println(".....> 250 cm");  
    }  
}
```

system.

The last indicator revolves around the measurement error that may occur within the system. Various factors, such as sensor limitations, environmental conditions, or communication inconsistencies, can contribute to errors in distance measurement. This indicator aims to quantify and minimize these errors by implementing appropriate calibration techniques, error analysis, and error correction methods. By addressing and reducing measurement errors, the system's reliability is enhanced, ensuring that the distance data provided to the driver is as accurate as possible. By monitoring and optimizing these three indicators, the design of the safe-driving distance system can be refined to deliver accurate, reliable distance measurements. Continuous evaluation, testing, and refinement of the system help ensure its effectiveness in providing precise distance information, enhancing driver awareness, and promoting safer driving practices.

Research Design

The research design begins by assembling the components into a single unit according to the schematic. After that, create a C++ program using Arduino's IDE. After the

program is written, compile it and upload it to the Arduino Nano, where it will be embedded in the ATmega328 microcontroller. After that, create a safe-distance monitoring application using App Inventor. After assembling the components, developing the program, and completing the application, the next step is to design the placement of a safe-driving distance system based on the Smart Detect Application.

RESULTS AND DISCUSSION

Schematic Circuit

The initial stage in designing and manufacturing a safe-driving-distance system is to create a series of schematics in Fritzing. Figure 1 explains a series of schematics to find out the flow of connections between components in the system. The following is the result of creating a schematic circuit:

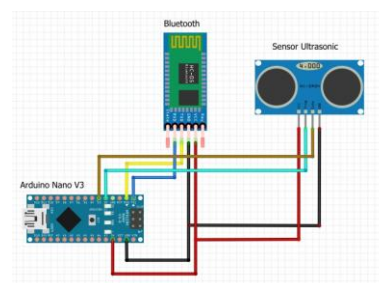


Figure 1. Schematic circuit of safe driving distance system

System Program

Figure 2. Explains that the system programme is made on the Arduino IDE software to access the ultrasonic sensor so that it can read the distance between the vehicle and the vehicle in front of it. The sensor readings are then transmitted via a Bluetooth module and read on a smartphone.

Figure 2. System Program of Smart Detect Application

Detect a Safety Driving Distance System Based on Smart Detect Application

Smart Detect Application works as follows: when the ultrasonic sensor at the front of the vehicle detects another vehicle within a range of less than 2 meters, the sensor reading data is processed by the Arduino Nano and transmitted to the smartphone via a Bluetooth connection. Fig 3 is the display on the Android smartphone. To make it easier for the driver to know the distance to the vehicle in front of him, the smartphone's final output is to emit a warning sound as an alarm to indicate a safe driving distance.

Ultrasonic Sensor Testing

This test is carried out to determine the actual distance and the measured distance on the ultrasonic sensor to the presence of objects in front of the sensor. Table 2. The results of the ultrasonic sensor test show that when the actual distance is 120cm-140cm, the ultrasonic sensor returns the same measurement, so at that distance it does not display error data. When the actual distance is 160 cm-

180 cm, the ultrasonic sensor readings show a 5 cm difference; when the actual distance exceeds 200 cm, the difference between the actual distance and the scalable distance increases. so that the 200 cm distance is the farthest, with the largest difference in results.

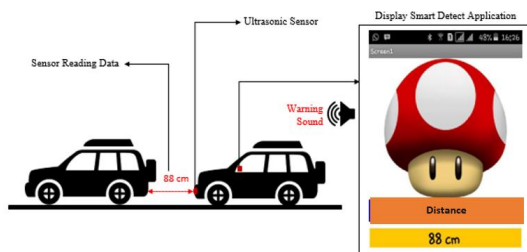


Figure 3. Display Smart Detect Application

Table 2. Ultrasonic Sensor Test Results

No	Distance Actual	Distance Scalable	ifference
1	120 cm	120 cm	0 cm
2	140 cm	140 cm	0 cm
3	160 cm	155 cm	5 cm
4	180 cm	175 cm	5 cm
5	200 cm	208 cm	8 cm

Bluetooth Test

Table 3. Bluetooth test results

No	Bluetooth Distance with Smartphones	Time that Needed
1	50 cm	1 s
2	80 cm	4 s
3	100 cm	6 s
4	130 cm	7 s
5	150 cm	8 s

This test was conducted to determine the time required to connect serial communication between Bluetooth components and smartphones. Table 3. Explain that the Bluetooth test results show that the farther the distance from a smartphone, the longer the detection process takes. So, in this case, to achieve optimal speed in displaying measurement detection results, place the smartphone close to the Bluetooth at a distance of 50 cm.

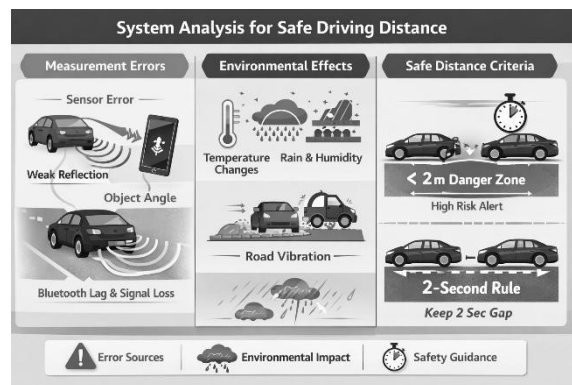


Figure 3. Technical analysis of measurement errors, environmental effects, and relevance to standard safe driving distance criteria.

Based on Figure 3. The measurement error analysis, environmental considerations, and alignment with standard safe-driving distance criteria demonstrate that the proposed ultrasonic-based warning system is practical and effective as a low-cost safety aid. Although it does not replace full ADAS functionality, it provides meaningful assistance in short-range collision-risk scenarios, particularly in urban driving environments and for older vehicles.

Measurement Error Analysis

Figure 3 explains that the accuracy of the proposed safe driving distance system is primarily influenced by the ultrasonic sensor's characteristics and the serial communication protocol. Measurement errors may arise from several sources, including sensor resolution limits, signal reflection properties of the detected object, and processing delays within the microcontroller. Ultrasonic sensors measure distance based on the time-of-flight of sound waves reflected from the object surface. Errors can occur when the reflected signal is weak or scattered, particularly if the surface of the vehicle ahead is uneven, angled, or composed of sound-absorbing materials. In addition, the sensor's beam angle may cause inaccuracies when detecting narrow or irregularly shaped objects. Another source of error originates from data transmission via Bluetooth serial communication. Although the transmission delay is relatively small, latency and packet loss may affect real-time distance display on the Android application. However, experimental results indicate that the system maintains acceptable accuracy within the critical short-range detection zone (<2 m), where warning responsiveness is more important than absolute distance precision.

Environmental Effects on Sensor Performance

Figure 3 shows that environmental conditions significantly affect the performance of ultrasonic sensors. Temperature variations affect the speed of sound in air, which directly influences distance calculations. As temperature increases, the speed of sound increases, potentially leading to a slight underestimation of the measured distance if compensation is not applied. Humidity and air pressure also contribute to minor variations in sound propagation, though their effects are relatively small in typical driving environments. More critical environmental factors include rain, dust, and road

vibrations. Heavy rain or airborne particles may attenuate ultrasonic waves, reducing signal strength and increasing measurement noise. Vehicle vibrations during motion can introduce mechanical disturbances that affect sensor alignment and signal stability. Despite these factors, ultrasonic sensors remain reliable for short-range detection at low to moderate vehicle speeds. The system is therefore most effective in urban driving scenarios, traffic congestion, and stop-and-go conditions, where maintaining a minimum safe distance is essential and environmental disturbances are less severe than in high-speed highway driving.

Relevance to Standard Safe Driving Distance Criteria

Figure 3 shows that standard safe-driving distance guidelines generally recommend maintaining a minimum following distance based on vehicle speed and reaction time. Common rules include the two-second rule, which advises drivers to maintain a two-second gap from the vehicle ahead, and braking-distance-based models that account for speed, road conditions, and driver response time. The proposed system does not aim to replace full ADAS-based adaptive cruise control systems, which dynamically adjust distance based on speed. Instead, it focuses on short-range critical-distance detection, particularly distances below 2 meters, which pose a high risk of rear-end collisions in urban traffic. At low speeds (e.g., below 20 km/h), a following distance of less than 2 meters significantly increases the risk of collision due to limited reaction time and sudden braking. In this context, the system serves as an early warning tool, alerting drivers when the inter-vehicle distance falls below a critical safety threshold, consistent with basic traffic safety principles.

Validation Test by Respondents

Testing the safe driving distance system uses a questionnaire technique: distributing questionnaires to respondents. Then, create a questionnaire for respondents covering several aspects. The aspects assessed are the design of the safe-driving distance system (indicators 1-3), the system's ease of operation (indicators 4-6), and its future benefits (indicators 7-10). The validation test involved 15 respondents, all experts in microcontrollers and embedded systems. Following the evaluation, the results of the validation test score analysis indicate high agreement on the system's performance, usability, and reliability. By increasing the number of experts from a minimal panel to 15, the assessment reduces the potential for subjective bias and provides a more representative evaluation of the system. This larger expert panel strengthens the validity of the findings and aligns with best practices in content validation, ensuring that the results are robust, reliable, and generalizable to the intended user

DAFTAR PUSTAKA

- Lin, D., & Cui, J. (2021). Transport and mobility needs for an ageing society from a policy perspective: Review and implications. *International journal of environmental research and public health*, 18(22), 11802.
- Mantoro, B. (2021). *The Importance of Transportation in Knitting Indonesia's Diverse Communities Together*. KnE Social Sciences, 340-352.
- Davis, J. C., & Henderson, J. V. (2003). *Evidence on the political economy of urbanization*. Journal of urban economics, 53(1), 98-125.

population. The following are the results of the validation test score analysis that has been carried out:

The results of the Validation Test Analysis by the respondent:

Total Score	:	34
Total Score Maximum	:	40
Percentage	:	$\frac{Total\ Score}{Total\ Score\ Max} 100\%$
	:	$\frac{34}{40} \times 100\%$
	:	85% "Very Good"

The results of the Validation Test Analysis by respondent :

Total Score	:	35
Total Score Maximum	:	40
Percentage	:	$\frac{Total\ Score}{Total\ Score\ Max} 100\%$
	:	$\frac{35}{40} \times 100\%$
	:	87.5% "Very Good".

CONCLUSION

The initial stage of designing a safe driving distance system is to create a schematic in Fritzing, write a program in the Arduino IDE, and then proceed with assembly. The way the safe driving distance system works is that when the ultrasonic sensor detects another vehicle within 2 meters, the sensor's reading data is processed and transmitted to a smartphone via Bluetooth. The smartphone will emit a warning sound when the safe-driving distance is reached. After conducting a validity test with 2 respondents, respondent 1 scored 85% in the "Very Good" category. Respondent 2 assigned a value of 87.5% to the "Very Good" category.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors are grateful to LP2M UNNES for supporting the publication of this research. Furthermore, the authors are grateful for the support received from the Production Systems and Industrial Automation Laboratory, Mechanical Engineering Department, Universitas Jenderal Soedirman.

- Jones, R., Sadowski, J., Dowling, R., Worrall, S., Tomitsch, M., & Nebot, E. (2021). *Beyond the Driverless Car: A Typology of Forms and Functions for Autonomous Mobility*. Applied Mobilities, 1-21.
- Khan, F. R., Khan, M. M., & Syeda, A. R. S. (2023). Challenges in Chennai City Traffic Control: Insights from Commuters' Road Usage Practices. *International Journal of Research in Entrepreneurship & Business Studies*, 4(2), 1-20.
- Mamangkey, J. (2022). *Perlindungan Hak-Hak Korban Kecelakaan Lalu Lintas Akibat Jalan Yang Rusak Ditinjau Dari Undang-Undang No. 22 Tahun 2009 Tentang Lalu Lintas Dan Angkutan Jalan*. Lex Privatum, 10(4).
- Soteropoulos, A., Berger, M., & Ciari, F. (2019). Impacts of automated vehicles on travel behaviour and land use: an international review of modelling studies. *Transport reviews*, 39(1), 29-49.
- Visconti, P., de Fazio, R., Costantini, P., Miccoli, S., & Cafagna, D. (2020). Innovative complete solution for health safety of children unintentionally forgotten in a car: a smart Arduino-based system with user app for remote control. *IET Science, Measurement & Technology*, 14(6), 665-675.
- Green, M. W. (1999). *The appropriate and effective use of security technologies in US schools: A guide for schools and law enforcement agencies*. US Department of Justice, Office of Justice Programs, National Institute of Justice.
- Zaidan, R. A., Alamoodi, A. H., Zaidan, B. B., Zaidan, A. A., Albahri, O. S., Talal, M., ... & Ameen, H. A. (2022). Comprehensive driver behaviour review: Taxonomy, issues and challenges, motivations and research direction towards achieving a smart transportation environment. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 111, 104745.
- Boukerche, A., Oliveira, H. A., Nakamura, E. F., & Loureiro, A. A. (2008). Vehicular ad hoc networks: A new challenge for localization-based systems. *Computer communications*, 31(12), 2838-2849.
- Mejri, M. N., Ben-Othman, J., & Hamdi, M. (2014). Survey on VANET security challenges and possible cryptographic solutions. *Vehicular Communications*, 1(2), 53-66.
- Abdelkader, G., Elgazzar, K., & Khamis, A. (2021). Connected vehicles: Technology review, state of the art, challenges and opportunities. *Sensors*, 21(22), 7712.
- Heimberger, M., Horgan, J., Hughes, C., McDonald, J., & Yogamani, S. (2017). Computer vision in automated parking systems: Design, implementation and challenges. *Image and Vision Computing*, 68, 88-101.
- Neumann, T. (2024). Analysis of advanced Driver-Assistance systems for safe and comfortable driving of motor vehicles. *Sensors*, 24(19), 6223.
- Wilson, K. M., Yang, S., Roady, T., Kuo, J., & Lenné, M. G. (2020). Driver trust & mode confusion in an on-road study of level-2 automated vehicle technology. *Safety Science*, 130, 104845.
- Chen, Y., Ardila-Gómez, A., & Frame, G. (2017). Achieving energy savings by intelligent transportation systems investments in the context of smart cities. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 54, 381-396.
- Tselentis, D. I., Vlahogianni, E. I., & Yannis, G. (2021). Temporal analysis of driving efficiency using smartphone data. *Accident Analysis & Prevention*, 154, 106081.
- Engelbrecht, J., Booysen, M. J., van Rooyen, G. J., & Bruwer, F. J. (2015). Survey of smartphone-based sensing in vehicles for intelligent transportation system applications. *IET Intelligent Transport Systems*, 9(10), 924-935.
- Shilowa, T., van Deventer, J. P., & Hattingh, M. J. (2023). The Application of Mobile Phones to Enable Traffic Flow Optimisation. *Mobile Computing and Sustainable Informatics: Proceedings of ICMCSI 2023*, 191-205.
- Martínez-Díaz, M., & Soriguera, F. (2018). Autonomous vehicles: theoretical and practical challenges. *Transportation Research Procedia*, 33, 275-282.
- Yaqoob, I., Khan, L. U., Kazmi, S. A., Imran, M., Guizani, N., & Hong, C. S. (2019). Autonomous driving cars in smart cities: Recent advances, requirements, and challenges. *IEEE Network*, 34(1), 174-181.

Rancang bangun *prototype conveyor* dengan sensor infrared dan *robotic arm* berbasis arduino untuk otomatisasi material handling

Azam Milah Muhamad, Filia Solagratia Takasumiang, Zezero Meo Cahaya Alam, Farhan Arhani
Nawawi, Fajarayhan Afrilio, dan Affan Mahfani

Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta
Jl. Prof. DR. G.A. Siwabessy, Kota Depok 16425
Email korespondensi: azam.milamhamad@mesin.pnj.ac.id

Received: 30 September 2025, Reviewed: 7 November 2025, Published: 21 March 2026

DOI: <https://doi.org/10.71452/vj7n4z24>

Abstrak. Proses pengemasan dalam industri manufaktur memerlukan sistem yang andal untuk memastikan kualitas produk sebelum distribusi. Salah satu tantangan utama dalam proses ini adalah mendeteksi karton yang gagal sealing dan memastikan pemindahan karton yang berhasil sealing ke tempat tumpukan dengan efisiensi tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menganalisis sistem conveyor otomatis yang dilengkapi dengan sensor infrared (IR) untuk mendeteksi kegagalan sealing serta sistem pemindahan otomatis. Perancangan dilakukan menggunakan perangkat lunak CAD dan dianalisis dengan metode Quality Function Deployment (QFD) untuk menyesuaikan kebutuhan pengguna. Lalu dilakukan validasi dengan pendekatan eksperimental, termasuk pembuatan prototipe, pengujian fungsional sensor, aktuator, serta pengujian performa. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini memiliki tingkat akurasi pemisahan 100% serta mampu memindahkan karton dalam waktu rata-rata 16 detik per karton dengan kapasitas 3 karton per menit. Perhitungan teknis seperti panjang belt, umur bearing, torsi, dan daya motor menunjukkan kesesuaian sistem dalam mendukung operasi yang stabil dan berkelanjutan. Penelitian ini membuka peluang pengembangan sistem material handling otomatis yang adaptif dan andal melalui penambahan sensor dan optimasi parameter motor.

Kata kunci: Conveyor otomatis, sensor *infrared*, sealing karton, material handling, Quality Function Deployment (QFD).

Abstract. The packaging process in the manufacturing industry requires a reliable system to ensure product quality before distribution. One of the main challenges in this process is detecting cartons that fail to seal and ensuring the transfer of successfully sealed cartons to the stack with high efficiency. This study aims to design and analyze an automatic conveyor system equipped with infrared (IR) sensors to detect sealing failures, as well as an automatic transfer system. The design was carried out using CAD software and analyzed using the Quality Function Deployment (QFD) method to suit user needs. Then, validation was carried out using an experimental approach, including prototyping, functional testing of sensors, actuators, and performance testing. The test results showed that this system has a separation accuracy of 100% and can move cartons in an average of 16 seconds per carton, with a capacity of 3 cartons per minute. Technical calculations such as belt length, bearing life, torque, and motor power indicate the system's suitability for stable, sustainable operations. This study opens opportunities to develop an adaptive, reliable automatic material handling system by adding sensors and optimizing motor parameters.

Keywords: Automated conveyor, infrared sensor, carton sealing, material handling, Quality Function Deployment (QFD).

PENDAHULUAN

Dalam industri manufaktur dan logistik, efisiensi proses pengemasan merupakan faktor utama dalam memastikan kualitas produk sebelum didistribusikan. Salah satu tahapan penting dalam pengemasan adalah proses *sealing* karton, yang bertujuan untuk menutup kemasan dengan kuat guna melindungi produk dari kerusakan selama transportasi dan penyimpanan [1]. Namun, dalam praktiknya, banyak ditemukan permasalahan seperti *sealing* yang tidak sempurna, penyusunan produk yang tidak efisien, serta ketidaksesuaian dengan standar industri yang berlaku [2].

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk menjawab tantangan yang ada. Misalnya, pada Paten WO2024145692A1 – *Automated Multi-Arm Robotic System* menggunakan *multi-camera vision system*, conveyor berlapis dan robot multi-lengan yang menjadikannya sulit diadopsi untuk industri skala kecil hingga menengah karena membutuhkan biaya yang tinggi. Oleh karena itu, diperlukan sistem otomatis yang dapat

meningkatkan keandalan proses ini, khususnya pada lini produksi skala kecil hingga menengah.

Penggunaan sensor dalam *conveyor* berperan penting dalam memastikan bahwa setiap produk yang masuk ke dalam tahap *sealing* berada dalam posisi yang tepat dan memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. Sensor *infrared* (IR) dapat digunakan untuk mendeteksi keberadaan karton dan mengidentifikasi anomali yang dapat menyebabkan kegagalan dalam proses *sealing* dengan akurasi hingga 1 mm. Selain itu, *robotic arm* dapat diterapkan untuk menangani penyusunan produk secara otomatis, sehingga meningkatkan efisiensi dan keamanan dalam proses produksi [3]. Sistem ini diperkuat oleh motor DC FH-7 bertenaga 12 V dan 0,25 Hp, yang memiliki kecepatan tanpa beban 90 rpm dan torsi hingga 3 Nm, cukup untuk menggerakkan *conveyor* dengan stabil. Selain itu, lengan robot dengan kapasitas beban 0,25 kg mampu memindahkan barang dalam waktu operasi hanya 1 detik, memberikan respons cepat terhadap aliran produk pada *conveyor* [4].

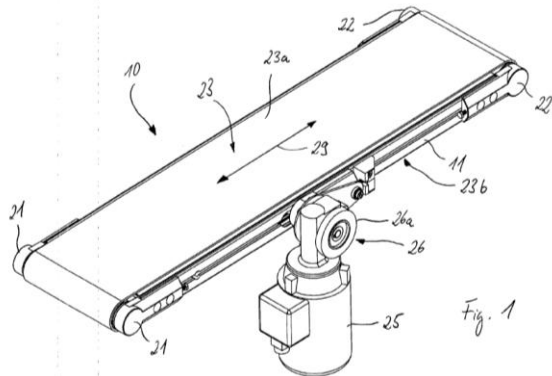
Rancang bangun ini dikembangkan untuk mengintegrasikan berbagai komponen tersebut dalam

sebuah sistem otomatisasi prototipe *conveyor*, yang tidak hanya mendeteksi dan menyusun produk, tetapi juga mampu mengoptimalkan aliran kerja di lini produksi. Dengan daya yang efisien dan output power supply 12 V, sistem ini dirancang agar stabil dan hemat energi. Selain itu, waktu reaksi servo sistem QC yang hanya 1 detik memungkinkan sistem untuk melakukan kontrol kualitas secara real-time terhadap produk yang sedang bergerak di atas *conveyor*.

Penelitian Terdahulu

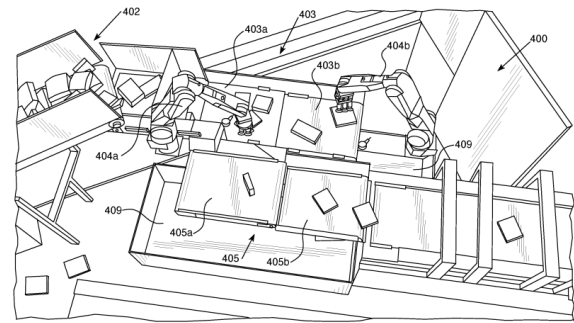
Dalam pengembangan *Rancang Bangun Prototipe Conveyor dengan Sensor Infrared dan Robotic Arm Berbasis Arduino untuk Otomatisasi Material Handling*, terdapat beberapa penelitian terdahulu yang menjadi dasar perancangan sistem ini. Kajian literatur ini mencakup dua paten dan satu jurnal penelitian yang berhubungan dengan teknologi *conveyor*, sistem *robotic arm*, serta penggunaan sensor dan mikrokontroler dalam otomatisasi pemindahan barang.

Salah satu referensi utama adalah paten *EP1710176A2 – Belt Conveyor* [5], yang menjelaskan sistem *conveyor belt* dengan desain tanpa ujung (*looping*). Sistem ini memungkinkan pergerakan barang berlangsung secara kontinu dengan efisiensi tinggi. Dalam paten tersebut, *conveyor* didukung oleh roda pengalihan dan roda penyeimbang yang digerakkan oleh motor untuk menjaga stabilitas dan mengurangi gesekan. Konsep ini menjadi acuan dalam penelitian ini, terutama dalam menentukan desain mekanik *conveyor*, panjang *belt*, serta sistem penggerak yang optimal untuk memastikan kelancaran pemindahan material.



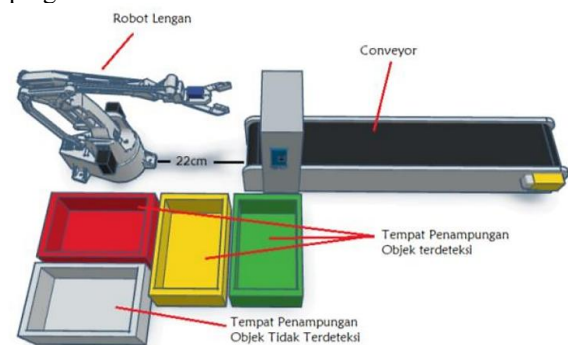
Gambar 1. Konstruksi Paten EP1710176A2 – Belt Conveyor

Selain itu, Paten *WO2024145692A1 – Automated Multi-Arm Robotic System* [6] menjadi referensi utama dalam perancangan *robotic arm* yang digunakan dalam penelitian ini. Paten ini menjelaskan sistem robot multi-lengan yang dapat secara otomatis memindahkan barang dari satu *conveyor* ke *conveyor* lainnya. Setiap robot dalam sistem ini memiliki peran spesifik dan bekerja secara terkoordinasi untuk memastikan pemindahan barang berlangsung dengan akurat dan efisien. Dari paten ini, konsep *pick and place* diadaptasi ke dalam sistem *robotic arm* berbasis Arduino untuk meningkatkan efektivitas pemindahan barang di *conveyor* otomatis yang sedang dikembangkan.



Gambar 2. Konstruksi Paten WO2024145692A1 – Automated Multi-Arm Robotic System

Sementara itu, jurnal *Prototype Robot Lengan Pemindah Barang pada Conveyor Secara Otomatis Berbasis Arduino Uno* [7] memberikan dasar bagi implementasi sistem kendali berbasis Arduino dan penggunaan sensor dalam otomatisasi pemindahan barang. Dalam jurnal ini, dikembangkan sistem robot lengan yang mampu bekerja secara otomatis menggunakan sensor untuk mendeteksi objek yang akan dipindahkan. Teknologi ini terbukti meningkatkan presisi dalam proses pemindahan barang, sehingga relevan untuk diterapkan dalam penelitian ini, terutama dalam pemanfaatan sensor *infrared* sebagai pendeteksi keberadaan material dan sistem kontrol berbasis mikrokontroler untuk mengatur pergerakan *robotic arm*.



Gambar 3. Konstruksi Prototype Robot Lengan Pemindah Barang

Perhitungan Perancangan Prototype

Penelitian ini melakukan perhitungan teknis terkait panjang *belt conveyor*, umur bearing, torsi motor, dan daya motor untuk memastikan sistem yang dirancang memiliki performa yang optimal. Melalui pendekatan ini, diharapkan *prototype conveyor* yang dikembangkan dapat menjadi solusi yang efektif dalam otomatisasi proses *material handling*.

1. Panjang Belt Conveyor [8]

$$L = \pi(r_1 + r_2) + 2x + \frac{(r_1 - r_2)^2}{x} \quad (1)$$

Keterangan:

L = Panjang *belt* untuk hubungan terbuka (mm)

π = Konstanta atau $\frac{22}{7}$

r_1 dan r_2 = Radius *roller* yang digunakan (mm)

x = Jarak dari *roller* 1 ke *roller* 2 (mm)

Asumsi yang digunakan: $r_1 = r_2$

2. Umur Bearing [9]

$$L = \frac{10^6 \cdot C^3}{60 \cdot n \cdot F_{eq}^3} \quad (2)$$

Keterangan:

L = Umur bearing (jam)

C = Peringkat beban dinamika dasar

F_{eq} = Beban equivalen (mm)

n = Putaran (rpm)

3. Torsi Motor [10]

$$T = F \cdot b \quad (3)$$

Keterangan:

T = Torsi benda berputar (N.m)

F = Gaya sentrifugal dari benda (N)

b = Jarak benda ke pusat rotasi (m)

4. Daya Motor [8]

$$P = \frac{2 \cdot \pi \cdot T \cdot N}{60} \quad (4)$$

Keterangan:

P = Daya yang dipindahkan (W)

π = Konstanta atau 22/7

T = Torsi yang dipindahkan (N.m)

N = Putaran (rpm)

METODE

Metode Rancang Bangun

Metode rancang bangun dalam penelitian ini menggunakan pendekatan *Quality Function Deployment* (QFD) untuk memastikan bahwa sistem *conveyor* otomatis yang dikembangkan sesuai dengan kebutuhan pengguna dan standar industri [11]. QFD berfungsi sebagai alat untuk menerjemahkan kebutuhan pelanggan menjadi spesifikasi teknis yang dapat diimplementasikan dalam desain sistem [12]. Dengan pendekatan ini, perancangan tidak hanya berfokus pada aspek teknis, tetapi juga mempertimbangkan efisiensi, keandalan, dan kemudahan operasional sistem *conveyor* serta *robotic arm*.

Pendekatan QFD dimulai dengan mengidentifikasi kebutuhan utama pengguna, seperti kecepatan *conveyor*, presisi pemindahan barang, dan efisiensi sistem sensor serta *robotic arm*. Kebutuhan tersebut kemudian dianalisis menggunakan *House of Quality* (HoQ) untuk menentukan spesifikasi teknis yang harus dipenuhi. Beberapa aspek utama yang diperhatikan dalam QFD meliputi kecepatan dan stabilitas *conveyor*, efisiensi *robotic arm*, serta akurasi sensor *infrared*. Kecepatan dan stabilitas *conveyor* berkaitan dengan panjang *belt*, jenis material, serta daya motor yang optimal agar *conveyor* dapat beroperasi dengan stabil dan efisien [13]. Efisiensi *robotic arm* ditentukan

berdasarkan torsi dan daya yang cukup untuk mengangkat serta memindahkan barang dengan akurat [14]. Sementara itu, akurasi sensor *infrared* dipastikan dengan menentukan posisi dan sensitivitas sensor agar dapat mendeteksi objek dengan tepat dan mengoptimalkan respons sistem dalam proses pemindahan barang [15].

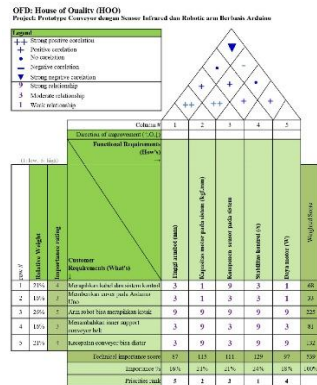
Perancangan Konsep

Perancangan konsep rancang bangun *prototype* dilakukan menggunakan software CAD (*Computer-Aided Design*) berupa SolidWorks untuk memodelkan sistem *conveyor* dan *robotic arm* secara detail sebelum dilakukan implementasi fisik. Perancangan ini dilakukan setelah kebutuhan utama pengguna teridentifikasi melalui *Quality Function Deployment* (QFD), sehingga desain yang dihasilkan dapat memenuhi standar fungsional dan teknis yang diinginkan.

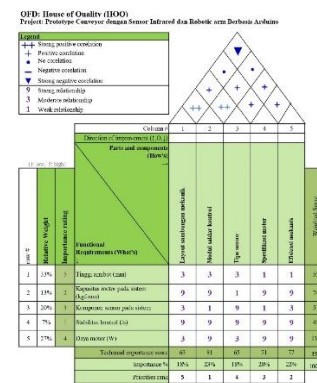
Langkah awal dalam perancangan konsep adalah membuat sketsa awal sistem *conveyor* dan *robotic arm* berdasarkan hasil analisis kebutuhan pengguna. Sketsa ini mencakup dimensi utama, posisi komponen, serta alur kerja sistem secara keseluruhan. Setelah sketsa awal disusun, model 3D CAD dibuat menggunakan SolidWorks untuk mendapatkan visualisasi yang lebih akurat terhadap bentuk dan mekanisme kerja sistem. Pada tahap ini, setiap komponen seperti *belt conveyor*, motor penggerak, roda pengalihan, *robotic arm*, serta sensor *infrared* dimodelkan dengan mempertimbangkan aspek fungsional dan kompatibilitas antar komponen. Konsep perancangan *prototype* dalam bentuk pemodelan 3D ditampilkan pada Gambar 5.

Setelah konsep perancangan selesai, dilanjutkan untuk merakit *prototype* dengan komponen utama motor DC dan *belt conveyor* sebagai sistem penggerak, sensor infrared (IR) untuk mendeteksi status karton (*sealed/gagal*), Arduino Uno sebagai mikrokontroler, dan *robotic arm* untuk pemindahan karton.

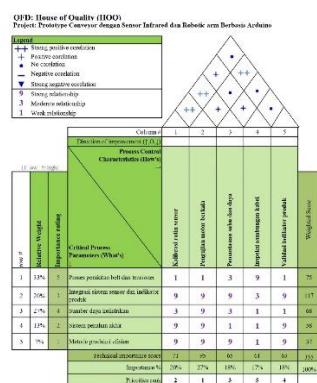
Kemudian *prototype* diuji untuk mengevaluasi akurasi deteksi kegagalan *sealing* oleh sensor IR, waktu siklus pemindahan karton oleh *robotic arm*, dan konsistensi sistem dalam memisahkan karton selama beberapa siklus kerja. Pengujian dilakukan sebanyak 4 siklus pengujian, masing-masing terdiri dari 3 karton, baik dalam kondisi berhasil maupun gagal *sealing*. Karton yang diuji memiliki dimensi dan berat yang seragam. Uji coba dilakukan pada suhu ruangan $\pm 22^\circ\text{C}$. Serta penggunaan stopwatch digital untuk mengukur waktu pemindahan per karton dan kamera pengawas untuk dokumentasi dan evaluasi pergerakan sistem digunakan sebagai alat ukur dalam percobaan ini.



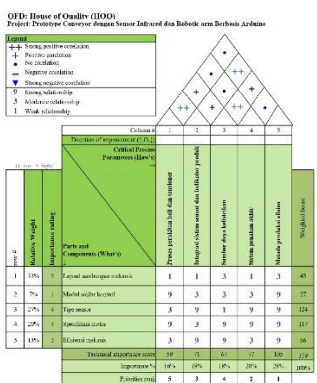
a



b

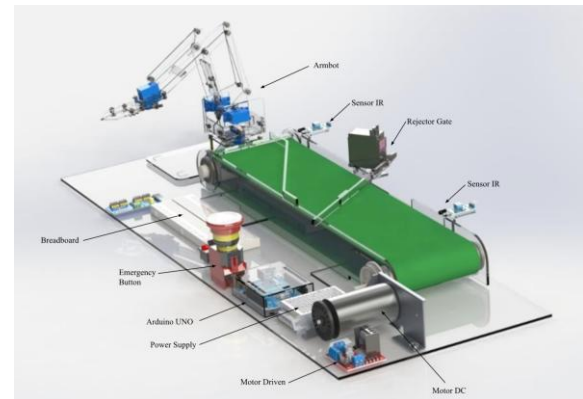


c



d

Gambar 4. House of Quality (a) Tahap 1 (Perencanaan Produk), (b) Tahap 2 (Desain Produk), (c) Tahap 3 (Perencanaan Proses), dan (d) Tahap 4 (Pengendalian Proses)



Gambar 5. Konstruksi Prototype Conveyor dengan Sensor Infrared dan Robotic arm

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Panjang Belt Conveyor

Untuk menentukan panjang *belt* pada *conveyor* menggunakan rumus persamaan (1):

$$L = \pi(r_1 + r_2) + 2x + \frac{(r_1 - r_2)^2}{x}$$

Diketahui:

- Asumsi $r_1 = r_2$
- Jarak pusat *roller* (x) = 398 (mm)
- Jari-jari *roller* (r) = 15,9 (mm)
- Konstanta (π) = 22/7

Maka panjang *belt* adalah:

$$L = \pi(2r) + 2x$$

$$L = \frac{22}{7}(2(15,9)) + 2(398)$$

$$L = 895,9428 \text{ (mm)} \approx 0,896 \text{ (m)}$$

Jadi, panjang *belt* yang dibutuhkan adalah 0.896 meter.

Perhitungan Umur Bearing

Untuk mengetahui umur bearing, dilakukan perhitungan berdasarkan rumus persamaan (2):

$$L = \frac{10^6 \cdot C^3}{60 \cdot n \cdot F_{eq}^3}$$

Setelah konsep perancangan selesai, dilanjutkan untuk merakit prototipe dengan komponen utama motor DC dan belt conveyor sebagai sistem penggerak, sensor infrared (IR) untuk mendeteksi status karton (sealed/gagal), Arduino Uno sebagai mikrokontroler, dan robotic arm untuk pemindahan karton.

Kemudian prototipe diuji untuk mengevaluasi akurasi deteksi kegagalan *sealing* oleh sensor IR, waktu siklus pemindahan karton oleh robotic arm, dan konsistensi sistem dalam memisahkan karton selama beberapa siklus kerja. Pengujian dilakukan sebanyak 4 siklus pengujian, masing-masing terdiri dari 3 karton, baik dalam kondisi berhasil maupun gagal *sealing*. Karton yang diuji memiliki

dimensi dan berat yang seragam. Uji coba dilakukan pada suhu ruangan $\pm 22^\circ\text{C}$. Serta penggunaan stopwatch digital untuk mengukur waktu pemindahan per karton dan kamera

pengawas untuk dokumentasi dan evaluasi pergerakan sistem digunakan sebagai alat ukur dalam percobaan ini.

Tabel 1. Dimensi dan Peringkat Beban Dasar Single Row Radial Deep GBB [9]

Bearing No.	Bore		Outside Diameter		Width		Balls		Capacity, lb	
	mm	In.	mm	In.	mm	In.	No. Z	Diam. D	Dynamic C	Static P_{st}
102	15	0.5906	32	1.2598	9	0.3543	9	3/16	965	550
202			35	2.3780	11	0.4331	7	1/4	1340	760
302			42	2.6535	13	0.5188	8	17/64	1660	930

Perhitungan Torsi Motor DC

Untuk memastikan *conveyor* dapat beroperasi dengan optimal, diperlukan perhitungan torsi yang bekerja pada sistem. Perhitungan torsi pada sistem *conveyor* ini dapat dilakukan menggunakan rumus (3) berikut:

$$T = F \cdot b \text{ atau } T = (m_{tot} \cdot g) b$$

Diketahui:

- Massa *roller* = $0,1967 \text{ kg} \times 2 = 0,3934 \text{ (kg)}$
- Massa *belt* = $0,233 \text{ (kg)}$
- Massa karton = $0,08 \text{ (kg)}$
- Massa total (m_{tot}) = $0,7064 \text{ (kg)}$
- Jari-jari *roller* (b) = $15,9 \text{ (mm)}$
- Percepatan gravitasi = $9,81 \text{ (m/s}^2\text{)}$

Maka didapat torsi yang diperlukan pada sistem *conveyor*:

$$T = ((0,7064)(9,81))0,0159$$

$$T = 0,1101 \text{ (N.m)}$$

Perhitungan Daya Motor DC

Setelah menentukan torsi yang bekerja pada sistem *conveyor*, langkah selanjutnya adalah menghitung daya motor yang dibutuhkan untuk menggerakkan *conveyor* secara optimal, yang dapat dihitung menggunakan rumus (4) berikut:

$$P = \frac{2 \cdot \pi \cdot T \cdot N}{60}$$

Diketahui:

- Torsi (T) = $0,1101 \text{ (N.m)}$
- Putaran (N) = 90 (rpm)

Dengan mensubstitusi nilai ke dalam rumus, maka diperoleh hasil perhitungan:

$$P = \frac{2\pi \cdot 0,1101(90)}{60}$$

$$P = 1,0376 \text{ (watt)}$$

Analisis Kinerja

Pengujian dilakukan sebanyak 4 siklus dengan masing-masing siklus melibatkan 3 karton, baik dalam kondisi

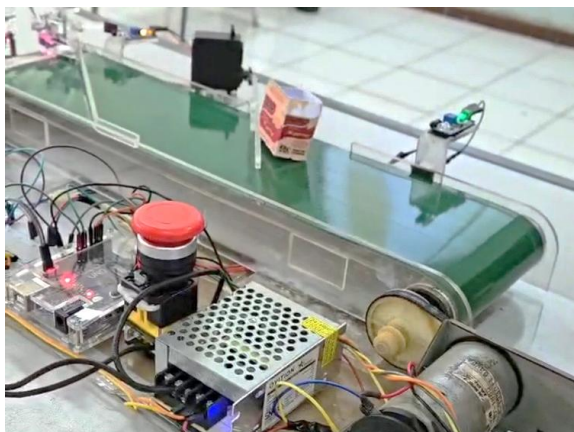
sealing berhasil maupun gagal, sehingga total terdapat 12 karton yang diuji. Seluruh karton memiliki dimensi dan berat yang seragam guna menjaga konsistensi variabel

pengujian. Uji coba dilakukan dalam kondisi lingkungan yang terkendali pada suhu ruangan $\pm 22^\circ\text{C}$.

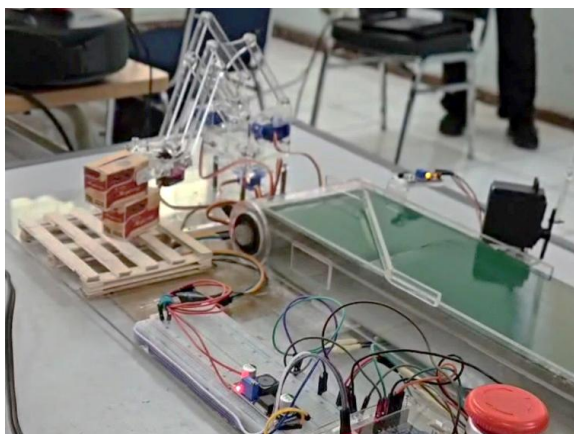
Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berhasil mendeteksi seluruh karton yang gagal sealing secara akurat dan memindahkan karton yang berhasil sealing ke tempat penumpukan dengan waktu rata-rata pemindahan 16 detik per karton. Tingkat akurasi deteksi mencapai 100%, yang mengindikasikan bahwa sensor infrared yang digunakan mampu bekerja secara presisi dalam skenario pengujian.

Tabel 2. Hasil Pengujian Prototype

No.	Parameter	Indikator Keberhasilan	Hasil Pengukuran
1.	Akurasi pemisahan	Persentase karton gagal <i>sealing</i> yang terdeteksi	100 %
2.	Kecepatan pemindahan	Waktu rata-rata pemindahan karton	16 s/karton
3.	Efisiensi operasional	Persentase karton yang diproses dengan benar	95 %
4.	Keandalan sistem	Waktu operasi tanpa gangguan	4 jam
5.	Kapasitas pemindahan	Jumlah karton yang dapat dipindahkan	3 karton/men



Gambar 6. Pengujian Karton Gagal



Gambar 7. Pengujian Pemindahan Karton

Namun, jumlah sampel pengujian yang relatif kecil (12 karton) membatasi generalisasi terhadap reliabilitas sistem dalam kondisi nyata. Uji coba berulang dalam skala yang lebih besar diperlukan untuk memastikan konsistensi hasil, terutama dalam menghadapi variasi bentuk, warna, dan posisi karton, serta potensi gangguan lingkungan seperti pencahayaan berlebih atau debu. Oleh karena itu, meskipun hasil yang diperoleh valid dalam konteks terbatas, reliabilitas jangka panjang belum dapat disimpulkan secara menyeluruh.

Jika dibandingkan dengan Paten WO2024145692A1 – *Automated Multi-Arm Robotic System* menggunakan *multi-camera vision system*, conveyor berlapis dan robot multi-lengan, sistem ini menawarkan pendekatan yang lebih sederhana dan hemat biaya, meskipun dengan potensi keterbatasan dalam mengenali kegagalan sealing yang lebih kompleks (misalnya sebagian tertutup atau penyok kecil). Kelebihan utama sistem yang dikembangkan adalah kemudahan implementasi, kecepatan respons, dan integrasi langsung dengan sistem pemindahan otomatis.

Dengan optimalisasi parameter sistem dan pengujian yang lebih luas, sistem ini berpotensi menjadi solusi efektif untuk otomatisasi proses material handling di industri berskala kecil hingga menengah.

Kelebihan dan Kelemahan

Sistem *conveyor* otomatis yang dikembangkan memiliki beberapa kelebihan yang signifikan dalam meningkatkan efisiensi proses pengemasan. Dengan penerapan sensor *infrared* (IR), sistem ini mampu mendeteksi karton secara akurat dan memastikan hanya karton yang telah melalui proses *sealing* yang sempurna yang akan diproses lebih lanjut. Hal ini meningkatkan akurasi pemisahan hingga 100%, sehingga meminimalkan kesalahan dalam distribusi produk. Selain itu, sistem ini juga memiliki efisiensi operasional yang tinggi, dengan 95% karton diproses dengan benar dan waktu operasi tanpa gangguan hingga 4 jam. Kecepatan pemindahan karton mencapai 3 karton per menit, yang menunjukkan kapasitas pemindahan yang cukup untuk kebutuhan industri skala menengah. Keandalan sistem ini juga didukung oleh desain torsi dan daya motor yang telah dihitung secara optimal, sehingga mampu menjaga kestabilan operasi dalam jangka waktu lama.

Namun, sistem ini juga memiliki beberapa kelemahan yang perlu diperhatikan. Salah satu tantangan utama adalah waktu pemindahan rata-rata per karton yang masih relatif lama, yaitu 16 detik per karton. Hal ini dapat menjadi kendala dalam lingkungan produksi dengan volume tinggi yang membutuhkan kecepatan lebih tinggi. Selain itu, sistem ini sangat bergantung pada sensor *infrared*, sehingga apabila sensor mengalami gangguan atau kesalahan deteksi, maka akurasi pemisahan karton dapat menurun. Komponen seperti *robotic arm* yang digunakan dalam penyusunan karton juga membutuhkan pemrograman dan kalibrasi yang presisi, yang dapat menjadi tantangan dalam implementasi di berbagai industri. Selain itu, biaya awal untuk pengadaan dan instalasi sistem ini mungkin cukup tinggi, sehingga investasi ini perlu dipertimbangkan oleh perusahaan, terutama bagi usaha kecil dan menengah. Oleh karena itu, meskipun sistem ini menawarkan peningkatan efisiensi dan keandalan, perlu dilakukan optimalisasi lebih lanjut untuk meningkatkan kecepatan dan fleksibilitas dalam berbagai kondisi produksi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian sistem *conveyor* otomatis, dapat disimpulkan bahwa penggunaan sensor *infrared* (IR) dalam proses deteksi karton gagal *sealing* mampu meningkatkan akurasi pemisahan hingga 100%. Selain itu, sistem ini berhasil meningkatkan efisiensi operasional dengan tingkat keberhasilan pemrosesan karton yang mencapai 95%. Dari segi kecepatan, *conveyor* mampu memindahkan karton dengan rata-rata waktu 16 detik per karton, dengan kapasitas pemindahan 3 karton per menit. Perhitungan teknis terkait panjang *belt*, umur bearing, torsi, dan daya motor juga menunjukkan bahwa sistem ini dirancang dengan mempertimbangkan faktor keandalan dan efisiensi energi. Namun, terdapat beberapa tantangan dalam sistem ini, seperti ketergantungan pada sensor *infrared* yang memerlukan kalibrasi berkala serta waktu pemindahan yang masih dapat dioptimalkan untuk meningkatkan throughput produksi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bambang Ismoyo, "Automatic Simulation Folding and Sealing Machine Carton Box Based on PLC Omron CP1E" *kaos gl derg.*, vol. 8, no. 75, pp. 147–154, 2020, [online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2020.125798><https://doi.org/10.1016/j.smr.2020.02.002><http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/810049><http://doi.wiley.com/10.1002/anie.197505391><http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780857090409500205><http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780857090409500205>
- [2] R. A. Kasengkang, S. Nangoy, and J. Sumarauw, "Analisis Logistik (Studi Kasus pada Pt. Remenia Satori Tepas-Kota Manado)," *J. Berk. Ilm. Efisiensi*, vol. 16, no. 01, pp. 750–759, 2016.
- [3] H. T. Anaam K I and P. A. Y. W. Pranata R Y, Abdillah h, "Pengaruh Trend Otomasi Dalam Dunia Manufaktur dan Industri," *Vocat. Educ. Natl. Semin.*, vol. 1, no. 1, pp. 46–50, 2022.
- [4] D. Susandi, S. E. Whydiantoro, and D. A. Hermawan, "Minimalisasi Ongkos Unit Produksi dengan Otomatisasi Proses Operasi," *Proceedings Stima*, vol. 17, pp. 33–42, 2016.
- [5] K. Heinz, "Europäische Patentanmeldung (51)," no. 19, 2006.
- [6] "WO2024145692A1.pdf."
- [7] A. Imran¹, Firdaus², and Marselino R. Pakondo³, "Prototype Robot Lengan Pemindah Barang Pada Conveyor Secara Otomatis Berbasis Arduino Uno," *J. Media Elektr.*, vol. 20, no., pp. 112–118, 2023, [Online]. Available: <https://ojs.unm.ac.id/mediaelektrik/article/view/56065/24805>
- [8] A. E. Pramono, "Elemen Mesin I, 1st," no. Mc 101, p. 1, 2015.
- [9] "Elemen Mesin II - Rantai," 2020, [Online]. Available: <https://www.slideshare.net/chariezmuh/element-mesin-ii-rantai>
- [10] S. Budi Perkasa, T. Sukmadi, and D. Denis, "Analisa Perbandingan Daya Dan Torsi Pada Perancangan Purwarupa Mobil Listrik," *Transient*, vol. 9, no. 4, pp. 2685–20206, 2020, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient>
- [11] M. A. Bora, Joko Prasetyo, and A. L. Lubis, "Penerapan Quality Function Deployment (QFD) Pada Perancangan Alat Bantu Ganti Oli Transmisi Otomatis," *J. Ind. Manuf. Eng.*, vol. 7, no. 1, pp. 134–146, 2023, doi: 10.31289/jime.v7i1.9511.
- [12] T. Novianti, "Penerapan Metode QFD dalam upaya peningkatan kualitas produk pada cokro tela cake," pp. 16–30, 2012.
- [13] B. Dhiya' Ushofa, L. Anifah, G. Buditjahjanto, and Endryansyah, "Sistem Kendali Kecepatan Putaran Motor DC pada Conveyor dengan Metode Kontrol PID," *J. Tek. Elektro*, vol. 11, no. Universitas Negeri Surabaya, pp. 332–342, 2022.
- [14] D. W. Nugraha, "Perancangan Sistem Kontrol Robot Lengan," *Mektek*, no. 3, pp. 180–188, 2010.
- [15] I. Inayah, "Analisis Akurasi Sistem Sensor IR MLX90614 dan Sensor Ultrasonik berbasis Arduino terhadap Termometer Standar," *J. Fis. Unand*, vol. 10, no. 4, pp. 428–434, 2021, doi: 10.25077/jfu.10.4.428-434.2021.

Analisis kinerja sepeda motor dengan modifikasi *oversize* ruang bakar

Syaiful Arif¹¹Program Studi Teknik Mesin Universitas Pamulang, Kota Serang
Jl Raya Jakarta Kec Kelodran Kota Serang
Email korespondensi: dosen10017@unpam.ac.id

Received: 30 September 2025, Reviewed: 7 November 2025, Published: 21 March 2026

DOI: <https://doi.org/10.71452/rd1x2119>

Abstrak. Saat ini, sepeda motor tidak hanya digunakan sebagai alat transportasi, tetapi juga menjadi bagian dari hobi para anak muda untuk menunjukkan performa mesin yang optimal. Salah satu cara untuk meningkatkan kinerja mesin adalah dengan memperbesar lubang silinder pembakaran (bore-up) atau yang dikenal sebagai *oversize*, yaitu proses pembesaran maksimal pada lubang silinder sehingga dapat dipasangkan dengan piston berdiameter lebih besar dari ukuran standarnya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis daya maksimum, torsi maksimum, serta tekanan rata-rata pada sepeda motor yang telah dimodifikasi dengan bore-up sebesar 0,75 mm. Dalam penelitian ini digunakan dua metode, yaitu metode analisis dan metode pengujian langsung. Pengujian dilakukan menggunakan dynotest pada sepeda motor yang telah dimodifikasi dan menggunakan bahan bakar Pertamina, sehingga menghasilkan data yang lebih akurat dan spesifik serta Daya maksimum: 13,06 kW pada putaran 8.000 rpm dalam Torsi maksimum: 16,2 N·m pada putaran 7.000 rpm & Tekanan rata-rata tertinggi: 1008,12 kPa pada putaran 7.000 rpm, Hasil ini menunjukkan bahwa modifikasi bore-up 0,75 mm dapat meningkatkan performa sepeda motor secara signifikan, terutama dalam hal tenaga dan torsi yang dihasilkan pada putaran mesin tertentu.

Kata kunci: *Oversize, Daya Maksimum, Torsi Maksimum, Tekanan Rata-Rata, Dynotest*

Abstract. Nowadays, motorcycles are not only used as a means of transportation but also become a hobby for young people to show off their engine performance. One way to improve engine performance is to enlarge the combustion cylinder hole (bore-up), also known as *oversize*, which is the process of maximum enlargement of the cylinder hole so that it can be paired with a piston with a larger diameter than its standard size. This study aims to analyze the maximum power, maximum torque, and average pressure of a motorcycle modified with a bore increase of 0.75 mm. In this study, two methods were used, namely the analysis method and the direct testing method. Testing was conducted using a dynotest on a modified motorcycle and using Pertamina fuel, resulting in more accurate and specific data and Maximum power: 13.06 kW at 8,000 rpm in Maximum torque: 16.2 N·m at 7,000 rpm & Highest average pressure: 1008.12 kPa at 7,000 rpm, These results indicate that the 0.75 mm bore-up modification can significantly improve motorcycle performance, especially in terms of power and torque produced at certain engine speeds.

Keywords: *Oversize, Maximum Power, Maximum Torque, Average Pressure, Dynotest*

PENDAHULUAN

Kendaraan darat merupakan salah satu alat transportasi yang paling banyak digunakan oleh masyarakat karena memiliki konstruksi yang relatif sederhana, sehingga harganya lebih terjangkau dan dapat dimiliki oleh hampir setiap individu [1]. Di antara berbagai jenis kendaraan darat, sepeda motor menempati posisi teratas sebagai kendaraan bermesin yang paling sederhana dan memiliki jumlah pengguna terbanyak di Indonesia. Sepeda motor merupakan salah satu kendaraan yang paling banyak digunakan, baik sebagai alat transportasi utama maupun sebagai bagian dari hobi di kalangan pecinta otomotif [2]. Selain digunakan untuk mobilitas sehari-hari, banyak pengguna sepeda motor yang tertarik untuk meningkatkan performa mesin melalui berbagai teknik modifikasi. Salah satu metode yang populer adalah modifikasi *oversize* ruang bakar, yang dilakukan dengan memperbesar diameter silinder agar dapat dipasangkan dengan piston berukuran lebih besar [3].

Modifikasi ini bertujuan untuk meningkatkan kapasitas ruang bakar, yang secara langsung berpengaruh terhadap tenaga dan torsi yang dihasilkan oleh mesin [4]. Dengan meningkatnya volume bahan bakar dan udara yang masuk ke dalam ruang bakar, pembakaran menjadi lebih optimal, sehingga daya yang dihasilkan juga meningkat. Perubahan

ini juga membawa konsekuensi tertentu, seperti peningkatan konsumsi bahan bakar, potensi overheating, serta perubahan pada durabilitas komponen mesin [5]. Diperlukan analisis mendalam untuk mengetahui sejauh mana peningkatan performa yang diperoleh serta dampaknya terhadap kinerja mesin secara keseluruhan [6]. Salah satu komponen utama dalam mesin sepeda motor adalah crankshaft atau poros engkol, yang memiliki peran krusial dalam mengonversi energi potensial bahan bakar menjadi tenaga putar [7]. Poros engkol ini mengubah gerakan bolak-balik piston menjadi gerakan putar, dengan flywheel yang bertugas menyeimbangkan efek guncangan atau vibrasi yang dihasilkan oleh gerakan tersebut [8].

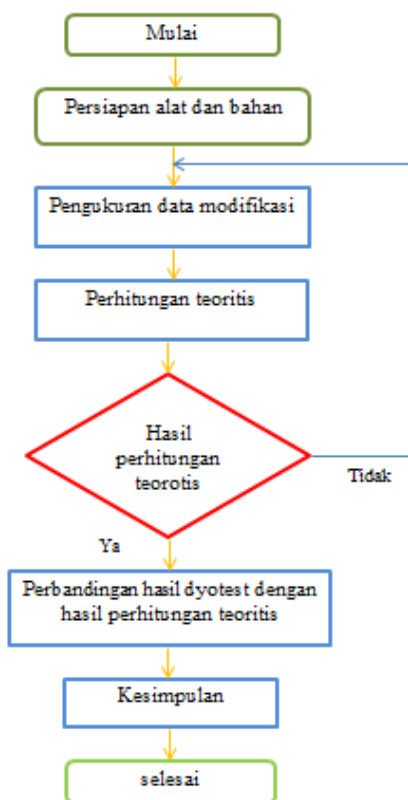
Pada kecepatan tinggi, sepeda motor harus memenuhi persyaratan stabilitas yang ketat untuk layak digunakan [9]. Getaran yang dihasilkan oleh putaran mesin harus berada dalam batas yang ditentukan agar tidak menimbulkan kebisingan, keausan, atau kerusakan pada komponen mesin [10]. Ketidakseimbangan atau ketidakstabilan dalam mekanisme mesin dapat berujung pada berbagai masalah, seperti kebisingan berlebih, getaran yang mengganggu, hingga kerusakan pada sambungan komponen akibat keausan yang dipicu oleh getaran [11].

Saat ini, sepeda motor tidak hanya digunakan sebagai alat transportasi, tetapi juga menjadi hobi bagi banyak anak muda yang tertarik untuk meningkatkan kinerja mesin [12]. Salah satu cara yang populer untuk meningkatkan performa mesin adalah dengan melakukan modifikasi bore-up, yaitu memperbesar lubang silinder pembakaran agar dapat dipasangkan dengan piston berdiameter lebih besar dari ukuran standarnya [13].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis daya maksimum, torsi maksimum, dan tekanan rata-rata pada sepeda motor yang telah dimodifikasi dengan metode oversize ruang bakar sebesar 0,75 mm [15]. Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode analisis teoritis serta uji dynotest, di mana sepeda motor yang dimodifikasi akan diuji menggunakan bahan bakar Pertamina guna mendapatkan data yang lebih akurat mengenai performa yang dihasilkan. Penelitian ini bertujuan untuk membuktikan apakah modifikasi ini dapat meningkatkan performa mesin sekaligus menahan gaya dinamik yang terjadi pada komponen-komponen mesin pada berbagai putaran dan posisi tertentu.

METODE

Penelitian ini menggunakan dua metode utama, yaitu metode analisis dan metode pengujian langsung, untuk mengevaluasi kinerja sepeda motor yang telah dimodifikasi dengan oversize ruang bakar sebesar 0,75 mm. Adapun pada penelitian ini dijelaskan melalui diagram alir seperti dibawah ini :



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Data yang diperoleh dari uji dynotest kemudian dianalisis untuk mengetahui peningkatan performa mesin setelah modifikasi. Hasil penelitian ini akan digunakan sebagai dasar dalam mengevaluasi efektivitas oversize ruang bakar terhadap peningkatan kinerja sepeda motor [14]. Pada tahap ini akan dilakukan pengumpulan data modifikasi pada putaran mesin antara 4000 rpm dan 8000 rpm dengan pengujian *dynotest*. Dan melakukan tes berhenti pada putaran 4000 rpm sampai 8000 rpm.

Berikut langkah-langkah pengujian untuk pengambilan data daya dan torsi pada motor yaitu :

1. Lakukan pengisian bahan bakar pertamax
2. Hidupkan mesin dalam keadaan stasioner selama 2-4 menit, untuk mendapatkan suhu motor yang ideal.
3. Buka katup gas secara perlahan sampai putaran maksimal. Pada layar monitor akan terlihat perubahan pada putaran mesin.
4. Data yang ada bisa berupa grafik atau tabel yang meliputi data daya, torsi, rpm dan *air-fuel*.
5. Hasil dari data tersebut kemudian di-print *out* di lembaran kertas.
6. Pengambilan data dilakukan sebanyak 5 kali percobaan.

Langkah-langkah pengujian konsumsi bahan bakar motor modifikasi dimulai dengan menyiapkan bahan bakar dalam jumlah tertentu dan memastikan kondisi mesin normal. Selanjutnya, motor dijalankan pada jarak atau waktu tertentu. Setelah pengujian selesai, sisa bahan bakar diukur. Perbedaan volume bahan bakar digunakan untuk menghitung tingkat konsumsi bahan bakar secara akurat:

1. Lepaskan selang bahan bakar dari tangki ke karburator.
2. Pasang selang bahan bakar dari buret ke karburator.
3. Lakukan pengisian bahan bakar Pertamina ke dalam buret.
4. Hidupkan mesin dalam keadaan stasioner.
5. Kemudian putar tuas gas sampai ke putaran rpm yang diinginkan dan jaga putaran mesin agar tetap stabil.
6. Ambil data dari setiap putaran yang dijadikan variabel untuk penelitian dan lakukan 3-5 kali percobaan.
7. Catat data hasil uji coba, kemudian lakukan perhitungan dengan rumus untuk mendapatkan data konsumsi bahan bakar di setiap putaran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

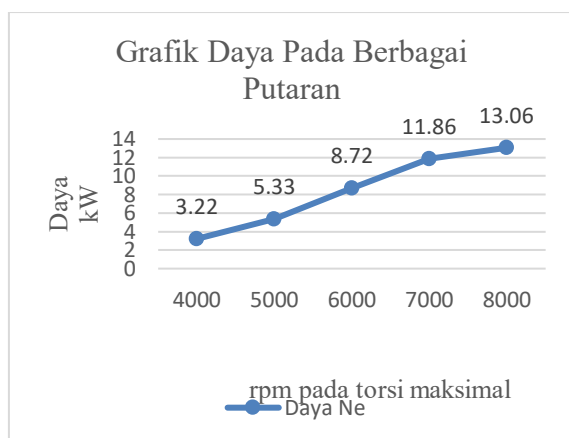
Data Hasil Pengujian Motor Modifikasi Pada Dynotest.

Dari hasil pengujian yang dilakukan menggunakan dynotest diperoleh data torsi dan daya mesin pada berbagai variasi putaran mesin. Data tersebut menunjukkan perubahan nilai torsi dan daya seiring meningkatnya putaran mesin, sehingga dapat digunakan untuk menganalisis karakteristik performa mesin, efisiensi kerja, serta pengaruh putaran terhadap kemampuan kerja mesin:

Tabel 1. Hasil uji di berbagai putaran pada motor modifikasi

rpm	Daya Ne		Torsi N.m
	HP	kW	
4000	4,31	3,22	7,7
5000	7,14	5,33	10,2
6000	11,69	8,72	13,9
7000	15,9	11,86	16,2
8000	17,51	13,06	15,6

Hasil pengujian menunjukkan bahwa daya mesin mengalami peningkatan seiring bertambahnya putaran mesin (rpm) [15]. Daya maksimum tercapai pada 8000 rpm, yaitu 13,06 kW (17,51 HP). Kenaikan daya terjadi secara bertahap, dengan peningkatan signifikan mulai dari 4000 rpm (3,22 kW) hingga 7000 rpm (11,86 kW). Hal ini menunjukkan bahwa modifikasi oversize ruang bakar mampu meningkatkan kapasitas pembakaran bahan bakar, sehingga mesin dapat menghasilkan tenaga lebih besar pada rpm tinggi.

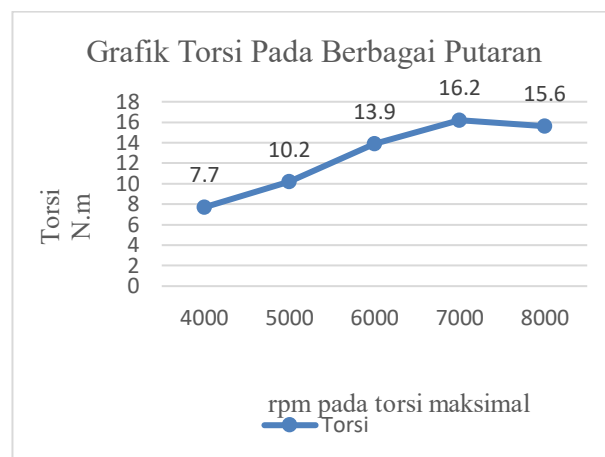


Gambar 2. Grafik hasil uji daya di berbagai putaran pada motor modifikasi

Modifikasi oversize ruang bakar 0,75 mm memberikan peningkatan performa yang cukup signifikan terhadap daya dan torsi sepeda motor, terutama pada putaran mesin menengah hingga tinggi. Namun, perlu dilakukan perhitungan ulang pada aspek pendinginan, konsumsi bahan bakar, serta ketahanan komponen mesin agar modifikasi ini tetap memberikan efisiensi dan keandalan yang optimal. Grafik hasil uji daya sepeda motor yang telah dimodifikasi dengan oversize ruang bakar 0,75 mm. Grafik menunjukkan peningkatan daya (baik dalam HP maupun kW) seiring dengan bertambahnya putaran mesin (rpm), dengan puncak daya tercapai pada 8000 rpm.

Torsi meningkat seiring dengan bertambahnya putaran mesin (rpm) dari 4000 rpm hingga 7000 rpm. Torsi maksimum terjadi pada 7000 rpm, yaitu 16,2 N.m. Setelah mencapai puncaknya, torsi mengalami sedikit penurunan pada 8000 rpm (15,6 N.m). Rentang putaran optimal untuk

performa terbaik berada di sekitar 6000–7000 rpm, karena pada rentang ini torsi masih meningkat secara signifikan. Penurunan torsi setelah 7000 rpm menunjukkan bahwa mesin mulai mencapai batas efisiensi pembakaran bahan bakar [5]. Peningkatan torsi pada rpm rendah hingga menengah menunjukkan bahwa modifikasi oversize ruang bakar memberikan akselerasi yang lebih baik dibandingkan dengan kondisi standar [10].



Gambar 3 Grafik hasil uji torsi di berbagai putaran pada motor modifikasi

Pada Tabel 1, Gambar 1, dan Gambar 2 ditunjukkan hasil pengujian daya dan torsi motor modifikasi pada berbagai putaran mesin. Hasil tersebut menggambarkan hubungan antara peningkatan rpm dan perubahan daya dan torsi yang dihasilkan mesin.

Tekanan Efektif Rata-Rata Yang Dihasilkan Motor Modifikasi

Berdasarkan hasil dynotest dalam menghitung tekanan efektif rata-rata (P_e) berdasarkan daya hasil dynotest, kita perlu mengonversi satuan daya dari HP ke PS dan kemudian menggunakan rumus tekanan efektif rata-rata. Daya yang dihasilkan dapat diketahui sehingga tekanan efektif rata-ratanya dapat dihitung dengan mengonversi satuan daya HP ke PS.

$$\begin{aligned}
 N_i &= P_{e_{rata-rata}} \times V_L \times z \times n \times a \times \frac{1}{60 \times 100 \times 75} \text{ PS} \\
 4,31 \text{ HP} &= P_{e_{rata-rata}} \times 201,5 \text{ cm}^3 \times 1 \times 4000 \times 0,5 \times \frac{1}{60 \times 100 \times 75} \text{ PS} \\
 4,36 \text{ PS} &= P_{e_{rata-rata}} \times \frac{403000 \text{ cm}^3}{60 \times 100 \times 75} \text{ PS} \\
 P_{e_{rata-rata}} &= \frac{4,36 \text{ PS}}{0,8956 \text{ PS}} = 4,86 \text{ kg/cm}^2 = 476,60 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

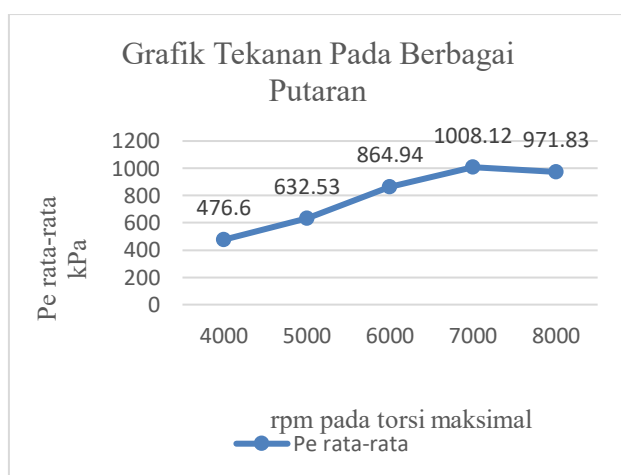
Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai tekanan rata-rata efektif ($P_{e_{rata-rata}}$) sebesar 4,86 kg/cm² atau setara dengan 476,60 kPa. Tekanan rata-rata efektif merupakan parameter yang menggambarkan besarnya tekanan pembakaran rata-rata yang bekerja pada piston selama proses langkah kerja mesin. Nilai ini berkaitan langsung dengan kemampuan mesin dalam menghasilkan daya. Pada perhitungan tersebut, mesin menghasilkan daya sekitar 4,31–4,36 PS pada putaran 4000 rpm dengan

volume langkah 201,5 cm³. Hasil ini menunjukkan bahwa proses pembakaran di dalam ruang bakar mampu menghasilkan tekanan yang cukup untuk menggerakkan piston sehingga menghasilkan tenaga mekanik. Semakin besar tekanan rata-rata efektif yang dihasilkan, semakin besar pula daya yang dapat dihasilkan oleh mesin.

Tabel 2. Tekanan efektif hasil uji di berbagai putaran pada motor modifikasi

rpm	Pe rata-rata kPa
4000	476,60
5000	632,53
6000	864,94
7000	1008,12
8000	971,83

Berdasarkan hasil pengujian, tekanan efektif rata-rata (Pe) mengalami perubahan signifikan seiring bertambahnya putaran mesin (RPM), di mana pada 4000 RPM, tekanan efektif 476,60 kPa menunjukkan pembakaran masih rendah karena mesin belum mencapai efisiensi volumetrik optimal. Pada 5000 RPM, tekanan meningkat menjadi 632,53 kPa, menandakan peningkatan efisiensi pengisian bahan bakar dan udara. Pada 6000 RPM, tekanan naik tajam hingga 864,94 kPa, yang menunjukkan mesin bekerja lebih optimal. Pada 7000 RPM, tekanan mencapai puncaknya di 1008,12 kPa, yang merupakan titik efisiensi tertinggi pasca modifikasi. Pada 8000 rpm, tekanan mengalami penurunan menjadi 971,83 kPa, yang bisa disebabkan oleh beberapa faktor, seperti peningkatan gesekan internal dan berkurangnya efisiensi volumetrik.



Gambar 4. Tekanan efektif hasil uji di berbagai putaran pada motor modifikasi

Modifikasi oversize ruang bakar (bore-up 0,75 mm) berhasil meningkatkan tekanan efektif rata-rata, dengan performa optimal dicapai pada 6000–7000 rpm. Untuk menghindari penurunan efisiensi di putaran tinggi, perlu dipertimbangkan peningkatan sistem asupan udara dan

injeksi bahan bakar. Peningkatan Pe dari 4000 rpm hingga 7000 rpm menunjukkan bahwa modifikasi bore-up meningkatkan efisiensi pembakaran dan output daya. Pe mencapai puncaknya di 7000 rpm sebesar 1008,12 kPa, yang berarti pada titik ini mesin bekerja pada efisiensi maksimal. Penurunan Pe pada 8000 rpm menandakan adanya batas optimal pada modifikasi ini, di mana efisiensi volumetrik mulai menurun dan gesekan komponen mesin meningkat.

Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

$$sfc = \frac{\dot{m}_{bb}}{\dot{W}}$$

Dimana $\dot{m}_{bb}$ = laju aliran bahan bakar (gr/s) dan $\dot{W}$ = daya motor (kW).

$$sfc = \frac{\dot{m}_{bb}}{\dot{W}_b}$$

$$sfc = \frac{0,00095451 \text{ kg/s}}{11,49 \text{ kW}} = 0,0000830731 \text{ kg/kW.s} = 299,06 \text{ gr/kW.h}$$

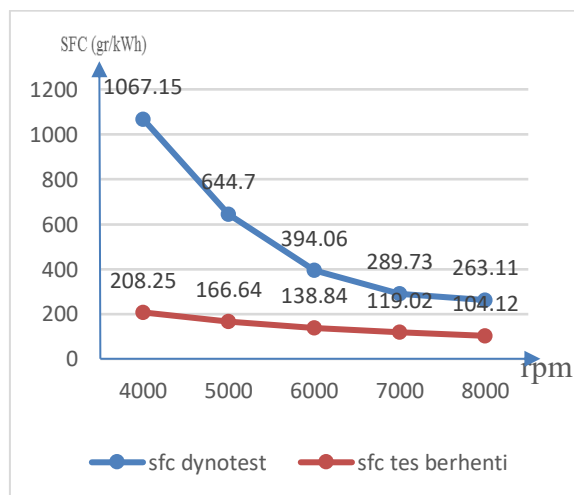
Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai Specific Fuel Consumption (SFC) sebesar 299,06 g/kW.h. Nilai ini menunjukkan jumlah bahan bakar yang dibutuhkan mesin untuk menghasilkan daya sebesar 1 kW selama satu jam operasi. Semakin kecil nilai SFC yang dihasilkan, semakin efisien mesin dalam memanfaatkan bahan bakar untuk menghasilkan energi mekanik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa mesin motor modifikasi masih memiliki tingkat efisiensi bahan bakar yang cukup baik dan masih berada pada kisaran konsumsi bahan bakar mesin bensin kecil. Nilai SFC dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain kualitas proses pembakaran di dalam ruang bakar, perbandingan campuran udara dan bahan bakar, serta kondisi sistem pengapian. Selain itu, faktor mekanis seperti gesekan antarkomponen mesin juga memengaruhi efisiensi daya yang dihasilkan. Jika pembakaran berlangsung optimal dan sistem mesin bekerja dengan baik, maka konsumsi bahan bakar dapat ditekan sehingga efisiensi mesin menjadi lebih tinggi. Penyetelan mesin yang tepat sangat penting.

Tabel 3 Konsumsi bahan bakar spesifik pada motor modifikasi

rpm	Daya Ne (kW)	sfc Hasil dynotest (gr/kW.h)	Daya Ni (kW)	Sfc Hasil uji coba 100 ml tes berhenti (gr/kW.h)
4000	3,22	1067,15	16,50	208,25
5000	5,33	644,70	20,62	166,64
6000	8,72	394,06	24,75	138,84
7000	11,86	289,73	28,87	119,02
8000	13,06	263,11	33,00	104,12

Pada putaran mesin rendah (4000–5000 RPM), nilai Specific Fuel Consumption (SFC) masih relatif tinggi.

Kondisi ini menunjukkan bahwa mesin belum bekerja secara optimal dalam mengubah energi bahan bakar menjadi tenaga mekanik. Pada putaran rendah, proses pengisian campuran udara dan bahan bakar ke dalam silinder belum maksimal sehingga efisiensi pembakaran masih rendah. Namun, ketika putaran mesin meningkat pada rentang 6000–8000 rpm, nilai SFC mengalami penurunan yang cukup signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa modifikasi bore-up mampu meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar pada putaran menengah hingga tinggi. Peningkatan volume silinder memungkinkan lebih banyak campuran udara dan bahan bakar masuk ke ruang bakar, sehingga proses pembakaran menjadi lebih efektif. Selain itu, nilai daya indikatif (N_i) juga meningkat seiring dengan kenaikan rpm. Peningkatan ini menunjukkan bahwa mesin mampu menghasilkan tenaga yang lebih besar akibat meningkatnya efisiensi volumetrik setelah dilakukan modifikasi. Dengan demikian, motor hasil modifikasi lebih optimal dioperasikan pada putaran mesin menengah hingga tinggi untuk memperoleh performa dan efisiensi bahan bakar yang lebih baik.



Gambar 5. Grafik konsumsi bahan bakar spesifik pada motor modifikasi

Berdasarkan Tabel 5 dan Gambar 4, terlihat bahwa nilai konsumsi bahan bakar spesifik (Specific Fuel Consumption/SFC) hasil pengujian dynotest dan tes

berhenti pada motor modifikasi menunjukkan variasi pada setiap putaran mesin. Perubahan nilai SFC tersebut menggambarkan tingkat efisiensi mesin dalam memanfaatkan bahan bakar untuk menghasilkan daya pada kondisi putaran yang berbeda. Dari hasil pengujian dapat diketahui bahwa modifikasi bore-up memberikan pengaruh terhadap karakteristik konsumsi bahan bakar mesin, terutama pada putaran mesin yang lebih tinggi.

Pada rentang putaran mesin sekitar 6000 hingga 8000 rpm, nilai SFC cenderung semakin kecil. Hal ini menunjukkan bahwa mesin bekerja lebih efisien dalam menghasilkan tenaga dibandingkan dengan putaran rendah. Peningkatan efisiensi tersebut terjadi karena modifikasi bore-up meningkatkan volume silinder sehingga campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke ruang bakar menjadi lebih besar. Kondisi ini memungkinkan proses pembakaran menghasilkan energi yang lebih optimal pada putaran mesin tinggi.

Dengan demikian, motor yang telah dimodifikasi bore-up lebih cocok dioperasikan pada rentang rpm tinggi untuk memperoleh performa mesin yang maksimal dengan efisiensi bahan bakar yang lebih baik. Sebaliknya, pada putaran mesin rendah, efisiensi bahan bakar masih kurang optimal sehingga konsumsi bahan bakar relatif lebih besar apabila motor digunakan pada kecepatan rendah dalam waktu yang lama dibandingkan dengan kondisi mesin standar.

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang diambil dari skripsi tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Daya yang dihasilkan berdasarkan pengujian dynotest terendah 3,22 kW terjadi pada putaran 4000 rpm dan daya tertinggi terjadi pada 13,06 kW pada putaran 8000 rpm.
2. Untuk torsi yang dihasilkan berdasarkan pengujian dynotest, terendah 7.7 N·m terjadi pada putaran 4000 rpm dan torsi tertinggi terjadi pada 16.2 N·m pada putaran 7000 rpm.
3. Untuk tekanan yang dihasilkan berdasarkan pengujian dynotest, tekanan terendah 476,6 kPa terjadi pada putaran 4000 rpm dan tekanan tertinggi terjadi pada 1008,12 kPa pada putaran 7000 rpm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] AHM, *Buku Pedoman Pemilik Vario*, PT. Astra Honda Motor: Jakarta.
- [2] Arismunandar, Wiranto, 1988, *Penggerak Mula Motor Bakar Torak*, ITB : Bandung.
- [3] Arismunandar, Wiranto, 1989, *Termodinamika Teknik*, ITB: Bandung.
- [4] Kristanto, Philip, 2015, *Motor Bakar Torak*, CV. ANDI OFFSET: Yogyakarta.
- [5] Priyana, Sigit Panca, et al. "Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Pertalite Dan Pertamina Terhadap Torsi, Daya, Dan Konsumsi Bahan Bakar Pada Mobil Wuling Confero S 1.5 C." *JUS TEKNO (Jurnal Sains dan Teknologi)* 5.2 (2021).
- [6] Heywood, John B., 1988, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw-Hill: New York.
- [7] Pulkrabek, Willard W., 2004, *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*, Pearson Prentice Hall: New Jersey.
- [8] Maleev, V. L., 1945, *Internal Combustion Engines*, McGraw-Hill: New York.

- [9] Obert, Edward F., 1973, Internal Combustion Engines and Air Pollution, Harper & Row: New York.
- [10] Ferguson, Colin R., & Kirkpatrick, Allan T., 2016, Internal Combustion Engines: Applied Thermosciences, Wiley : New York.
- [11] Stone, Richard, 2012, Introduction to Internal Combustion Engines, Palgrave Macmillan : London.
- [12] Cengel, Yunus A., & Boles, Michael A., 2015, Thermodynamics: An Engineering Approach, McGraw-Hill : New York.
- [13] Turns, Stephen R., 2013, An Introduction to Combustion: Concepts and Applications, McGraw-Hill : New York.
- [14] Wardono, H., 2004, Motor Bakar Torak, Universitas Lampung Press : Lampung.
- [15] Putra, R. A., & Setyawan, B., 2020, “Analisis Pengaruh Variasi Bahan Bakar Pertalite dan Pertamina terhadap Performa Mesin Sepeda Motor 4 Langkah”, Jurnal Teknik Mesin, 9(2).



Badan Kerja Sama - Teknik Mesin Indonesia
<https://jurnal.bkstm.org>
editor@jtmi.bkstm.org