



Perancangan Mesin Pengisi Cairan pada Botol Otomatis Dua Mode menggunakan Metode FEA

Hanandira Wistikhirana¹, Fio Izzafur Rahman², Revo Alfian Kaunang³, Muhammad Nabil⁴, Muslimin⁵,
Dhiya Luqyana⁶, Azam Milah Muhammad⁷
^{1,2,3,4,5,6,7} Politeknik Negeri Jakarta, Depok
Email: hanandira.wistikhirana.tm22@mhs.wpnj.ac.id

Received:13 Desember 2024; Received in revised form:3 September 2025; Accepted:30 September 2025

Abstract

This study examines the design and safety analysis of an automatic liquid filling machine for bottles with two modes: 250 ml and 500 ml. The problem addressed is the time-consuming and inconsistent manual bottle filling process in UMKM. The machine is designed to improve efficiency and consistency in filling liquids for UMKM. Made from PLA filament using 3D printing, the machine has dimensions of 400 mm x 350 mm x 350 mm and was analyzed using Finite Element Analysis (FEA). The load on the machine is 2.4516625 N for 250 ml and 4.903325 N for 500 ml. Simulation results show a maximum stress of 0.114 N/mm² for 250 ml and 0.118 N/mm² for 500 ml, both below the PLA material's yield strength of 26,082 N/mm². The maximum displacement is 0.002 mm for 250 ml and 0.00894819 mm for 500 ml. The minimum safety factor is 4,044e+02 for 250 ml and 1,156e+02 for 500 ml. These results confirm that the machine design is safe and reliable for automatic liquid filling in both modes.

Keywords: automatic liquid filling machine for bottles with two modes; finite element analysis; PLA material; von mises; displacement; safety factor.

Abstrak

Perancangan ini mengkaji mengenai desain dan analisa keamanan pada mesin pengisi cairan pada botol otomatis dua mode yaitu 250ml dan 500ml. Permasalahan yang mendasari adalah proses pengisian botol manual pada UMKM yang memakan waktu lama dan menghasilkan volume pengisian yang tidak konsisten. Oleh karena itu, mesin ini dirancang guna meningkatkan efisiensi dan konsistensi pengisian cairan pada botol untuk UMKM. Mesin ini menggunakan material filamen PLA 3D *Printing* dengan dimensi 400 mm x 350 mm x 350 mm dengan menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA). Pembebanan pada mesin pengisi cairan pada botol otomatis adalah sebesar 2,4516625 N untuk volume 250 ml dan 4,903325 N untuk volume 500 ml. Hasil simulasi menunjukkan bahwa mesin memiliki nilai tegangan maksimal sebesar 0,114 N/mm² untuk volume 250 ml dan 0,118 untuk volume 500 ml, yang masih berada di bawah nilai *yield strength material* PLA yaitu sebesar 26.082 N/mm². Nilai perpindahan maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 0,002 mm untuk volume 250 ml dan 0,00894819 mm untuk volume 500 ml. Nilai faktor keamanan minimal yang diperoleh adalah sebesar 1,497e+13 untuk volume 250 ml dan 1,722e+13 untuk volume 500 ml. Hasil ini menunjukkan bahwa desain mesin aman dan dapat diandalkan untuk pengisian cairan pada botol otomatis dua mode.

Kata kunci: mesin pengisi cairan pada botol otomatis dua mode; finite element analysis; material PLA; von mises; perpindahan; faktor keamanan.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di Indonesia yang semakin pesat telah mendorong munculnya otomatisasi dalam berbagai sektor industri, termasuk industri minuman. Pada industri minuman berskala besar, proses produksi seperti pengisian, penutupan, dan pelabelan botol telah menggunakan teknologi otomatis, yang memungkinkan produksi dalam jumlah besar secara cepat dan konsisten. Namun, berbeda dengan industri besar, banyak usaha kecil dan menengah (UMKM) di sektor minuman masih mengandalkan proses manual, terutama pada tahapan pengisian botol[1]. Proses manual ini tidak hanya

memakan waktu lebih lama, tetapi sering kali menghasilkan volume pengisian yang tidak konsisten[2]. Kondisi ini membuat UMKM menghadapi tantangan besar untuk bersaing dengan industri besar yang lebih efisien[3]. Jika tidak segera diatasi, UMKM berisiko tertinggal dalam persaingan pasar.

Beberapa penelitian telah mengusulkan solusi berbasis otomasi untuk menjawab tantangan tersebut. Sebagai contoh, penelitian di Universitas Nusantara PGRI Kediri mengembangkan alat pengisian botol otomatis berbasis Arduino Uno dengan *flow sensor* yang dapat meningkatkan kecepatan pengisian, meskipun stabilitas volume untuk botol besar masih menjadi kendala[4]. Studi lain menunjukkan bahwa penggunaan aktuator seperti pompa dan katup solenoid mampu mencapai akurasi hingga 100% pada skala kecil[5]. Selain itu, penelitian oleh Ani Cahyani dan rekan mengintegrasikan sensor *proximity* dan sistem *monitoring* berbasis *website* untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi pengisian cairan[6]. Meskipun bermanfaat, solusi-solusi tersebut belum sepenuhnya fleksibel dalam memenuhi kebutuhan berbagai ukuran botol dan volume cairan.

Melihat keterbatasan pada penelitian sebelumnya dan tantangan yang dihadapi UMKM, penelitian ini memutuskan untuk mengembangkan mesin pengisian cairan otomatis berbasis Arduino Uno. Mesin ini dirancang untuk mendukung dua mode pengisian, yaitu 250 ml dan 500 ml, dengan menggunakan sensor *infrared* (IR) untuk mendeteksi keberadaan botol dan *stepper motor* untuk mengontrol pergerakan *spinning holder* secara presisi. Dengan inovasi ini, diharapkan sistem yang dikembangkan dapat menjadi solusi yang ekonomis, fleksibel, dan akurat untuk mendukung kebutuhan UMKM dalam meningkatkan kapasitas produksi produk mereka tanpa terbebani oleh biaya yang besar[7].

Analisis kekuatan menggunakan *Finite Element Analysis* (FEA) dilakukan untuk memastikan desain mesin ini dapat berfungsi dengan baik, metode tersebut merupakan metode pendekatan untuk memperoleh pendekatan secara numerik menggunakan bantuan komputer dengan cara mendiskritisasi menjadi bagian kecil yang berhingga jumlahnya, sehingga bagian kecil tersebut digabungkan dan dianalisis secara perhitungan melalui perangkat lunak[8]. FEA juga dapat membantu engineer untuk memperoleh data gaya pembebanan secara teoritis pada pemodelan, pertambahan panjang akibat gaya (*strain*), distribusi tegangan, *displacement* dari sebuah geometri dan bentuk tertentu[8].

Oleh karena itu, dengan memanfaatkan perkembangan perangkat lunak yang ada hingga saat ini, digunakan simulasi berbasis metode elemen hingga (*Finite Element Analysis*). Dalam penelitian ini, dilakukan analisis pada desain mesin pengisi botol otomatis serta pengujian dan data hasil simulasi. Data tersebut digunakan sebagai tolak ukur untuk melihat kemampuan dari material PLA filamen 3D *printing* dalam mendukung desain tersebut. Proses analisis dilakukan melalui uji pembebanan statis secara vertikal yang menghasilkan perbandingan nilai berupa *equivalent stress* (Von Mises), *total deformation* (*Displacement*), dan *safety factor* dengan metode *finite element*.

2. METODE PENELITIAN.

Mesin pengisi botol otomatis merupakan perangkat yang dirancang untuk mengisi cairan secara presisi dan efisien. Mesin ini berfungsi sebagai alat utama dalam proses pengisian botol pada lini produksi, khususnya untuk kapasitas 250 ml dan 500 ml. Mesin ini dirancang dengan dimensi keseluruhan sebesar 400 mm x 350 mm x 350 mm, yang telah dioptimalkan untuk memaksimalkan efisiensi ruang dan kemudahan penggunaan. Mesin ini menggunakan material filamen PLA 3D *Printing*.

Mesin dirancang dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti pemilihan material, beban kerja yang akan ditanggung, dan efisiensi desain. Model yang dihasilkan kemudian dianalisis menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA) untuk mengevaluasi ketangguhan material dan struktur mesin terhadap beban kerja yang diberikan. Analisis ini bertujuan untuk memastikan bahwa mesin mampu menahan tegangan dan deformasi yang terjadi selama proses pengisian cairan.



Gambar 1. Bottle Filling Machine 250 ml



Gambar 2. Bottle Filling Machine 500 ml

Pada Gambar 1 dan 2 ditunjukkan desain lengkap dari mesin pengisi botol otomatis yang mencakup struktur utama, mekanisme pengisian, dan sistem kontrol dengan kapasitas botol yang berbeda.

Simulasi menggunakan metode FEA

Tabel 1. *Mechanical Properties PLA filament*

Property	Value	Units
<i>Poisson's Ratio</i>	0.35	N/A
<i>Shear Modulus</i>	318.9	N/mm ²
<i>Mass Density</i>	1020	Kg/m ³
<i>Tensile Strength</i>	47.8	N/mm ²
<i>Compressive Strength</i>	62	N/mm ²
<i>Yield Strength</i>	26.082	N/mm ²
<i>Thermal Conductivity</i>	0.2256	W/(m.K)
<i>Poisson's Ratio</i>	1386	J/(kg.K)

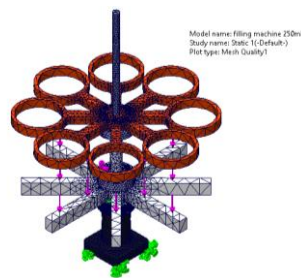
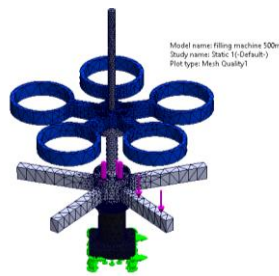
Untuk melakukan proses simulasi analisis FEA ada beberapa parameter atau data yang digunakan. Data ini digunakan untuk menganalisis kemampuan material dalam mendukung desain yang telah dibuat. Tabel 1 menyajikan karakteristik umum yang penting untuk diketahui agar analisis mesin dapat dilakukan. Dalam perancangan mesin ini, analisa dilakukan dengan metode *Finite Element Analysis*. Metode FEA yaitu metode numerik dengan berbasis komputer yang digunakan untuk memecahkan masalah teknis dalam geometri bidang atau volume yang sudah ditentukan. Dalam hal ini, geometri tersebut dibagi menjadi elemen – elemen kecil [10]. Analisa yang digunakan yaitu menggunakan analisa statik. Menurut [10] rentang *nilai safety factor* didasarkan pada pembebanannya. Maka pembebanan yang dilakukan yaitu pembebanan statis, dimana nilai angka keamanan dari pembebanan statis sebesar 1,25 – 2,0.

Adapun langkah yang harus dilakukan pada saat proses analisis menggunakan perangkat lunak, yaitu:

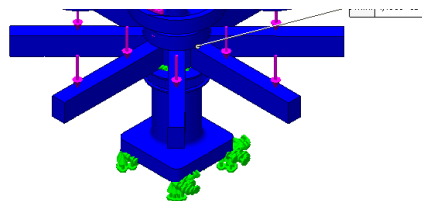
1. Langkah pertama memilih material, dalam hal ini material yang dipilih adalah PLA *3D printing* filamen, kemudian desain langsung diberikan proses *meshing*. Proses *meshing* merupakan proses dimana komponen bidang atau volume akan dibagi menjadi elemen – elemen kecil yang nantinya akan dianalisa.

Tabel 2. *Mesh Detail*

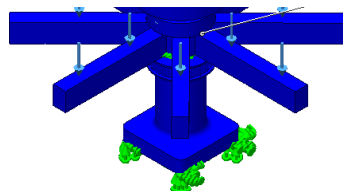
Parameter	250 ml	500 ml
Mesh Type	SolidMesh	SolidMesh
Mesher Used	Curvature Based Mesh	Curvature Based Mesh
Element Size	14,2544 mm	13,6184 mm
Tolerance	0,712719 mm	0,680918
Mesh Quality	High	High
Total Nodes	208148	187557
Total Element	129801	116711
Maximum	138,56	459,89
Aspect Ratio		

Gambar 3. Proses *Meshing* pada Varian 250 mlGambar 4. Proses *Meshing* pada Varian 500 ml

- Langkah kedua yang perlu dilakukan yaitu proses *constraint* atau proses *fixtures*. Dalam hal ini, bertujuan untuk menentukan bagian yang menopang atau menyangga pada mesin yang akan diberikan gaya (*force*). Pada proses *fixtures* dapat dilihat pada Gambar 5.

Gambar 5. *Fixed Geometry*

- Langkah ketiga yang dilakukan yaitu proses pembebanan (*external load*). Dalam hal ini, pembebanan yang dilakukan dengan pemberian percobaan variasi perlakuan pembebanan (*force*) pada mesin yaitu sebesar 2,4516625 N untuk varian 250 ml dengan kapasitas 8 botol dan 4,903325 N untuk varian 500 ml dengan kapasitas 5 botol. Proses pembebanan dapat dilihat pada Gambar 6.

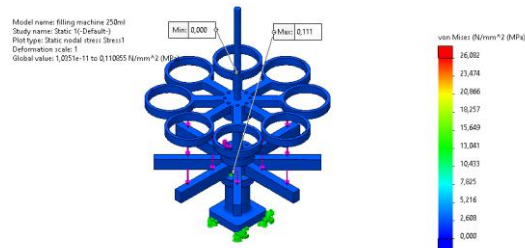
Gambar 6. *Adding Force*

Dalam penelitian ini, data yang dianalisis meliputi nilai tegangan maksimum (*von Mises*), perpindahan bentuk (*displacement*), dan faktor keamanan (*safety factor*). Hasil analisis ini akan digunakan untuk mengevaluasi kelebihan dan kekurangan rancangan yang telah disimulasikan. Teknik analisis data yang diterapkan adalah analisis deskriptif, di mana hasil simulasi berupa data numerik dari desain mesin pengisi botol otomatis yang akan disajikan secara terperinci dalam bentuk deskripsi untuk menghasilkan informasi yang jelas dan mudah dipahami.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

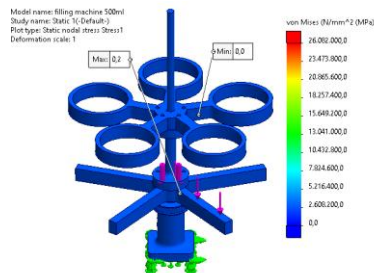
3.1. Equivalent Stress (Von Mises)

Equivalent Stress (*Von Mises*) Tegangan maksimal (*von mises*) merupakan intensitas gaya yang bekerja pada setiap satuan luas bahan[8]. *Von mises* terjadi ketika sebuah material diberi beban oleh gaya[8].



Gambar 7. Hasil Simulasi Tegangan Pada Mesin Pengisi Botol Otomatis 250 ml

Pada analisis volume 250 ml dengan kapasitas 8 botol, berdasarkan hasil simulasi dan warna pada diagram di Gambar 7, nilai tegangan maksimal (*von mises*) dengan nilai pembebanan (*force*) yang diberikan sebesar 2,4516625 N mendapatkan hasil simulasi nilai maksimal 0,114 N/mm².



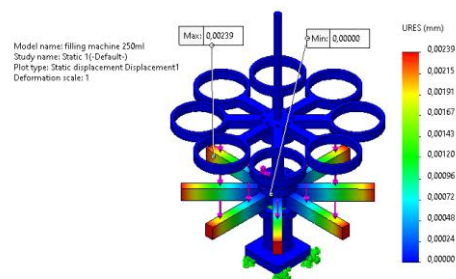
Gambar 8. Hasil Simulasi Tegangan Pada Mesin Pengisi Botol Otomatis 500 ml

Pada analisis volume 500 ml dengan kapasitas 5 botol, berdasarkan hasil simulasi dan warna pada diagram di Gambar 8, nilai tegangan maksimal (*von mises*) dengan nilai pembebanan (*force*) yang diberikan sebesar 4,903325 N mendapatkan hasil simulasi nilai maksimal 0,118 N/mm².

Hal ini menunjukkan bahwa nilai tegangan maksimum masih berada jauh di bawah nilai *yield strength material* PLA filamen *3D printing* yaitu sebesar 26,082 N/mm². Dengan demikian, material dapat menahan gaya yang diberikan tanpa risiko deformasi permanen.

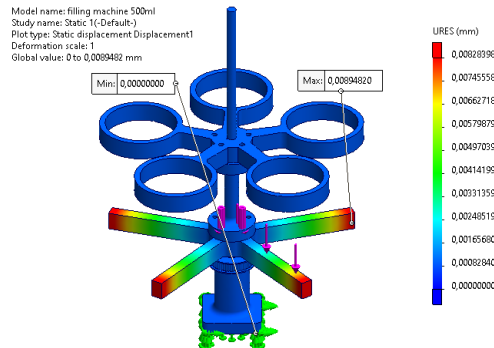
3.2. Displacement

Perpindahan bentuk (*displacement*) merupakan perubahan fisik yang diakibatkan oleh adanya gaya atau pembebanan yang diterima (*force*) terhadap sebuah bidang atau volume[8]. Deformasi, yang terjadi sebagai akibat dari penerimaan gaya atau beban oleh material yang digunakan, adalah indikator penting yang menunjukkan apakah material yang digunakan tangguh menahan beban yang diberikan[8]. Semakin kecil angka yang dihasilkan dari deformasi, maka material tersebut semakin kuat[8].



Gambar 9. Hasil Simulasi Perpindahan Bentuk Pada Mesin Pengisi Botol Otomatis 250 ml

Pada analisis volume 250 ml dengan kapasitas 5 botol, berdasarkan hasil simulasi dan warna pada diagram di Gambar 9, nilai perpindahan bentuk (*displacement*) dengan nilai pembebanan (*force*) yang diberikan sebesar 2,4516625 N mendapatkan hasil simulasi nilai maksimal adalah 0,002 mm, sedangkan nilai minimum *displacement* adalah 0 mm.



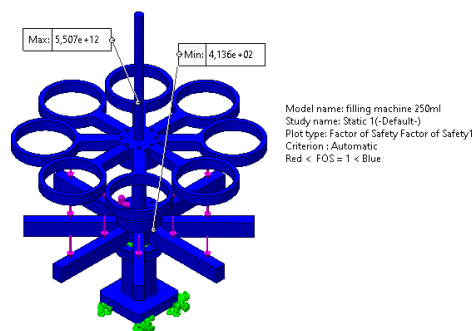
Gambar 10. Hasil Simulasi Perpindahan Bentuk Pada Mesin Pengisi Botol Otomatis 500 ml

Pada analisis volume 500 ml dengan kapasitas 5 botol, berdasarkan hasil simulasi dan warna pada diagram di Gambar 10, nilai perpindahan bentuk (*displacement*) dengan nilai pembebanan (*force*) yang diberikan sebesar 4,903325 N mendapatkan hasil simulasi nilai maksimal adalah 0,00894819 mm, sedangkan nilai minimum *displacement* adalah 0 mm.

Hasil ini menunjukkan bahwa nilai perpindahan bentuk material sangat kecil, sehingga deformasi elastis yang terjadi dapat diabaikan. Hasil simulasi menunjukkan adanya variasi warna pada diagram *displacement*, yang merepresentasikan perbedaan nilai perpindahan bentuk di berbagai area komponen mesin. Area hijau hingga merah menunjukkan nilai perpindahan yang lebih tinggi, sementara area berwarna biru menunjukkan nilai yang hampir nol. Perpindahan maksimum terjadi pada area ujung mesin karena lebih terpengaruh oleh gaya yang diterapkan. Perpindahan nilai maksimum *displacement* yang tergolong masih sangat kecil menandakan bahwa desain material tetap stabil dan mampu mempertahankan bentuknya di bawah beban yang diberikan tanpa risiko deformasi permanen.

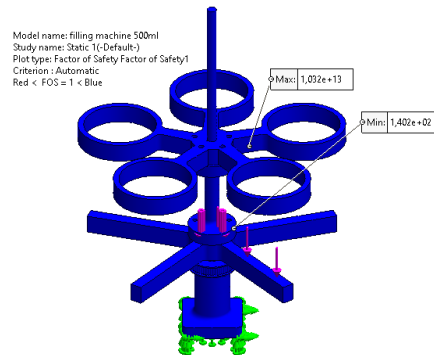
3.4. Safety Factor

Faktor keamanan (*Safety Factor*) merupakan suatu hal yang penting dalam perancangan dan analisis struktur secara menyeluruh sehingga dapat terjamin keamanan dari sebuah desain[8]. Parameter terpenting dalam melakukan sebuah desain dan pengujian tegangan pada suatu bentuk objek saat menerima beban dari luar baik itu beban tarik maupun tekan adalah faktor keamanannya[8].



Gambar 11. Hasil Simulasi Faktor Keamanan Pada Mesin Pengisi Botol Otomatis 250 ml

Pada analisis volume 250 ml dengan kapasitas 8 botol, berdasarkan hasil simulasi pada diagram di Gambar 11, nilai faktor keamanan (*safety factor*) dengan nilai pembebanan (*force*) yang diberikan sebesar 2,4516625 N mendapatkan hasil simulasi nilai maksimal 1,497e+13 dan nilai minimum 4,044e+02.



Gambar 12. Hasil Simulasi Faktor Keamanan Pada Mesin Pengisi Botol Otomatis 500 ml

Pada analisis volume 500 ml dengan kapasitas 5 botol, berdasarkan hasil simulasi pada diagram di Gambar 12, nilai faktor keamanan (*safety factor*) dengan nilai pembebanan (*force*) yang diberikan sebesar 4,903325 N mendapatkan hasil simulasi nilai maksimal $1,722\text{e}+13$ dan nilai minimum $1,402\text{e}+02$.

Kedua desain tersebut memiliki nilai faktor keamanan yang masih jauh di atas angka 1. Hal ini menunjukkan bahwa kedua desain mesin berada dalam kondisi yang sangat aman. Faktor keamanan yang sangat tinggi ini menandakan bahwa material yang digunakan dapat menahan gaya yang diberikan, sehingga risiko kegagalan material atau deformasi permanen sangat kecil.

Tabel 3. Hasil Analisis FEA

Parameter	250 ml	500 ml
<i>Von Mises (stress)</i>	0,114 N/mm ²	0,118 N/mm ²
<i>Displacement</i>	0,002 mm	0,00894819 mm
<i>Safety Factor</i>	1,497e+13 - 4,044e+02	1,722e+13 - 1,402e+2

4. SIMPULAN

Berdasarkan analisa atau hasil simulasi beban pada mesin pengisi botol otomatis dua mode menggunakan material bahan PLA filamen *3D Printing* dengan pembebanan sebesar 2,4516625 N untuk mode 250 ml dan 4,903325 N untuk mode 500 ml. Hasil simulasi menunjukkan bahwa mesin pengisi botol otomatis dua mode memiliki nilai tegangan maksimal sebesar 0,114 N/mm² untuk volume 250 ml dan 0,118 untuk volume 500 ml, yang masih berada di bawah nilai *yield strength material* PLA yaitu sebesar 26,082 N/mm². Nilai perpindahan maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 0,002 mm untuk volume 250 ml dan 0,894819 mm untuk volume 500 ml. Nilai faktor keamanan minimal yang diperoleh adalah sebesar 1,497e+13 untuk volume 250 ml dan 1,722e+13 untuk volume 500 ml. Analisis tegangan (*Von Mises*), perpindahan bentuk (*displacement*), dan faktor keamanan (*safety factor*) menunjukkan bahwa desain mesin tetap berada dalam batas aman dan tidak melebihi kapasitas material. Faktor keamanan yang sangat tinggi pada kedua mode pembebanan menandakan bahwa material dapat menahan gaya yang diberikan, sehingga risiko kegagalan atau deformasi permanen sangat kecil. Selain itu, perpindahan bentuk yang terjadi pada kedua mode juga sangat kecil, yang menunjukkan bahwa mesin tetap stabil dan tidak mengalami perubahan bentuk yang signifikan. Secara keseluruhan, hasil analisis tegangan, perpindahan bentuk, dan faktor keamanan memberikan keyakinan bahwa desain mesin pengisi botol otomatis dua mode ini beroperasi dalam batas aman dan dapat diandalkan untuk aplikasi industri kecil. Teori terkait batas aman material PLA dalam aplikasi mesin pengisi botol otomatis juga dapat dikembangkan lebih lanjut, dengan mempertimbangkan variasi beban yang lebih besar dan faktor-faktor eksternal yang mempengaruhi kinerja mesin.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Finali and N. Lusi, "Pengaruh Sensor Pada Filling Bottle and Cupping Berbasis Plc Kapasitas 500 ml," *J. Inov. Teknol. Manufaktur, Energi dan Otomotif*, vol. 1, no. 2, pp. 129–139, 2023.
- [2] R. F. Sihotang and R. Maulana, "RANCANG BANGUN SISTEM PENGISIAN AIR GALON OTOMATIS

-
- MENGGUNAKAN SENSOR PROXIMITY DAN,” vol. 12, no. 3, 2024.
- [3] S. Prasetyo, I. Yustiana, and A. Fergina, “Rancang Bangun Automatic Liquid Filling Machine Berbasis Internet of Things Menggunakan NodeMCU dan Telegram,” *Circuit J. Ilm. Pendidik. Tek. Elektro*, vol. 7, no. 1, p. 21, 2023, doi: 10.22373/crc.v7i2.14290.
 - [4] F. O. Dayera, Musa Bundaris Palungan, “G-Tech : Jurnal Teknologi Terapan,” *G-Tech J. Teknol. Terap.*, vol. 8, no. 1, pp. 186–195, 2024.
 - [5] A. Syarif, Harianto, and I. Puspasari, “Rancang Bangun Automatic Liquid Filling Machine Berbasis IoT (Internet of Things),” *J. Technol. Informatics*, vol. 2, no. 2, pp. 72–82, 2021, doi: 10.37802/joti.v3i1.178.
 - [6] A. Cahyani and A. Rakhman, “Rancang Bangun Alat Pengisian Botol Susu Otomatis Pada Industri Kecil Menengah”.
 - [7] R. Reni Listiana, F. Muhammad Rossi, and R. Listiana, “Rancang Bangun Mesin Pengisi Botol Otomatis Berbasis Arduino Mega 2560 Dengan Interface Nextion Hmi,” *Tedc*, vol. 18, no. 1, 2024.
 - [8] M. W. Akbar, A. Arafat, D. Y. Sari, and Z. Abadi, “Analisis Pembebanan Statis Komponen Crossbar Clinker Cooler dengan Variasi Beban Horizontal terhadap Lubang Pasak,” *Al-DYAS*, vol. 3, no. 1, pp. 554–567, 2024, doi: 10.58578/alldyas.v3i1.2773.
 - [9] K. Kunci and : Solidworks, “Fendi fardana (1) dan Fatkur Rhohman (1*) Teknik Mesin, Universitas Nusantara PGRI Kediri,” vol. 24, no. 1, pp. 1–5, 2024.
 - [10] Y. A. Putra and M. N. A. Mukhtar, “Analisis Statik Bracket Roll Brush Mesin Tensor Menggunakan Metode Fea,” *Elem. J. Tek. Mesin*, vol. 10, no. 1, pp. 57–63, 2023, doi: 10.34128/je.v10i1.246.