

Rancang Bangun dan Uji Performa *Drilling Jig* Pipa Cetak Granul pada Mesin Granulator *Double Roller*

¹Muhammad Ridho, ²Mahros Darsin, ³Hari Arbiantara Basuki, ⁴Franciscus Xaverius Kristianta, ⁵Fachruzzaki, ⁶Rina Lestari

^{1,2,3,4} Teknik Mesin, Universitas Jember

^{5,6} Teknik Pertambangan, Universitas Jember

E-mail: ¹1221910101054@mail.unej.ac.id, ²mahros.teknik@unej.ac.id,
³196709241994121001@mail.unej.ac.id, ⁴kristianta.teknik@unej.ac.id,
⁵198911262023211013@mail.unej.ac.id, ⁶199002082023212049@mail.unej.ac.id

⁵198911262023211013@mail.unej.ac.id, ⁶199002082023212049@mail.unej.ac.id

Penulis Korespondens : Muhammad Ridho

Abstrak— Pembuatan pipa cetak granul pada mesin granulator *double roller* memerlukan proses pengeboran dengan presisi tinggi. Pergeseran mata bor pada permukaan pipa silindris sering menurunkan kualitas lubang dan meningkatkan waktu pengerjaan. Penelitian ini bertujuan merancang dan menguji performa *drilling jig* untuk meningkatkan kualitas dan efisiensi pengeboran. Metode penelitian meliputi perancangan alat, analisis kekuatan mekanik, simulasi struktur menggunakan *Finite Element Analysis*, dan pengujian performa. Hasil perhitungan menunjukkan tegangan kerja pada pipa, *fixture*, dan *bushing* masing-masing sebesar 1,66 MPa, 4,40 MPa, dan 1,56 MPa, masih berada di bawah batas tegangan izin. Hasil simulasi menunjukkan nilai *von Mises stress* sebesar 4,613 MPa, *displacement* sebesar 0,002197 mm, dan *safety factor* sebesar 15. Penggunaan *drilling jig* mengurangi waktu pengeboran dari 695 detik menjadi 182 detik serta meningkatkan kualitas lubang dan permukaan pipa. Pipa cetak yang dihasilkan mampu menghasilkan granul berdiameter 3 mm sesuai standart pupuk organik.

Kata Kunci— *granul, granulator double roller, pipa cetak granul, drilling jig.*

Abstract— The manufacturing of granule molding pipes for a double roller granulator requires high drilling precision. Drill bit deviation on cylindrical pipe surfaces often reduces hole quality and increases processing time. This study aims to design and evaluate a drilling jig to improve drilling quality and efficiency. The research included tool design, mechanical analysis, structural simulation using Finite Element Analysis, and performance testing. The calculated stresses on the pipe, fixture, and bushing were 1.66 MPa, 4.40 MPa, and 1.56 MPa, respectively, all below the allowable limits. Simulation results showed a von Mises stress of 4.613 MPa, a displacement of 0.002197 mm, and a safety factor of 15. The drilling jig reduced drilling time from 695 s to 182 s and improved hole and surface quality. The fabricated molding pipe successfully produced granules with a diameter of 3 mm, in accordance with the organic fertilizer standard.

Keywords— *granule, double roller granulator, granule, molding pipe, drilling jig.*

This is an open access article under the CC BY-SA License.



I. PENDAHULUAN

Pupuk organik granul semakin banyak digunakan karena memiliki keunggulan berupa kemudahan aplikasi, distribusi yang lebih merata, serta kehilangan material yang lebih rendah dibandingkan pupuk berbentuk serbuk [1]. Pada proses pembuatannya, mesin granulator *double roller* memanfaatkan pipa cetak berlubang sebagai media pembentukan granul. Kualitas granul yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh ketepatan dimensi dan posisi lubang pada pipa cetak [2]. Namun, proses pengeboran pada permukaan pipa berbentuk silindris sering mengalami kendala berupa pergeseran mata bor, ketidaktepatan posisi lubang, dan waktu pengerjaan yang relatif lama, sehingga berpotensi menurunkan kualitas produk dan efisiensi proses manufaktur.

Proses pengeboran pada benda kerja berbentuk silindris telah menjadi perhatian dalam berbagai penelitian karena sering menimbulkan permasalahan berupa ketidakakuratan posisi lubang, rendahnya produktivitas, dan ketergantungan terhadap keterampilan operator [3]. Penggunaan *drilling jig* dilaporkan mampu meningkatkan kestabilan benda kerja, mengarahkan mata bor secara lebih presisi, serta mengurangi waktu proses manufaktur [4]. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada aplikasi umum pengeboran pipa atau komponen silindris, sedangkan penerapannya pada pembuatan pipa cetak granul untuk mesin granulator *double roller* belum banyak dikaji. Karakteristik pipa cetak granul yang memerlukan jumlah lubang banyak dengan jarak yang seragam menuntut tingkat presisi yang tinggi agar kualitas granul yang dihasilkan tetap konsisten [5]. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan alat bantu pengeboran yang tidak hanya mampu meningkatkan akurasi posisi lubang, tetapi juga mempercepat proses manufaktur serta menjaga keseragaman hasil pengeboran.

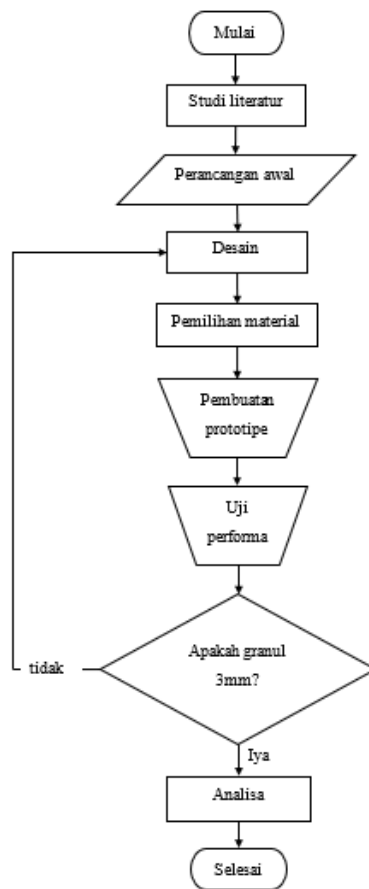
Berdasarkan kesenjangan penelitian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji *drilling jig* khusus untuk pembuatan pipa cetak granul pada mesin granulator *double roller*. Kinerja alat dievaluasi melalui analisis teoritis, simulasi *Finite Element Analysis* (FEA), dan pengujian eksperimental terhadap efisiensi waktu serta kualitas hasil pengeboran. Kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan sistem *V-block*, *drill bushing*, dan pengunci indeks lubang dalam satu rancangan terintegrasi yang ditujukan untuk menghasilkan lubang presisi dan seragam pada pipa cetak granul, sekaligus meningkatkan efisiensi proses manufaktur dibandingkan dengan metode pengeboran manual.

II. METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan tahapan identifikasi masalah, perancangan, fabrikasi, dan pengujian alat bantu pengeboran (*drilling jig*) untuk pipa cetak granul pada mesin granulator *double roller*. Perancangan alat dilakukan menggunakan Autodesk Inventor Professional 2024 dan terdiri atas komponen utama berupa *V-block*, *drill bushing*, serta mekanisme pengunci posisi.

A. Diagram alir penelitian

Diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir

A. Material

Material yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat rincian material pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat mekanik material

Part	Grade	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)
Pipa	Galvanis	207	345
Fixture	ASTM A36	248,225	400
Bushing	ASTM A36	248,225	400

B. Rumus Kekuatan Mekanik Bahan

Berikut ini merupakan rumus perhitungan rangka yang akan digunakan menggunakan mekanika teknik pada *drilling jig* dapat menggunakan persamaan-persamaan berikut :

1. Gaya yang bekerja ([6])

Gaya mengacu pada persamaan (1)

$$F = m \times g \quad (1)$$

Keterangan:

W = Berat atau gaya beban (N)
 m = massa (kg)
 g = Gravitasi (m/s^2)

2. Momen yang bekerja ([7])

Momen yang bekerja mengacu pada persamaan (2)

$$M = F \times l \quad (2)$$

Keterangan:

M = Momen gaya (N.mm)

F = Gaya yang bekerja (N)

l = Panjang lengan (mm)

3. Tegangan lentur ijin ([8])

Tegangan lentur ijin mengacu pada persamaan (3)

$$\sigma_{ijin} = \frac{\sigma_y}{Sf_2} \quad (3)$$

Keterangan:

σ_y = Kekuatan luluh material (MPa)

σ_{ijin} = Tegangan tarik yang diizinkan (MPa)

Sf_2 = faktor keamanan beban yang dikenakan

4. Tegangan lentur akibat beban ([7])

Tegangan lentur akibat beban mengacu pada persamaan (4)

$$\sigma = \frac{M}{Z} \quad (4)$$

Keterangan:

σ = Tegangan lentur (MPa)

M = Momen gaya (N.mm)

Z = Modulus penampang (mm^3)

5. Tegangan geser ijin ([8])

Tegangan geser ijin mengacu pada persamaan (5)

$$\tau_{ijin} = \frac{\sigma_y}{Sf_1 \times Sf_2} \quad (5)$$

Keterangan:

σ_{ijin} = Tegangan tarik yang diizinkan (MPa)

τ_{ijin} = Tegangan geser yang diizinkan (MPa)

Sf_1 = faktor keamanan menurut harga bahan

Sf_2 = faktor keamanan beban yang dikenakan

6. Tegangan geser akibat beban ([9])

Tegangan geser akibat beban mengacu pada persamaan (6)

$$\tau_{beban} = \frac{P}{A} \quad (6)$$

Keterangan:

σ = Tegangan (MPa)

P = Beban (N)

A = Luas penampang (mm^2)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain wujud *drilling jig* yang dirancang dapat dilihat pada Gambar 2. di bawah ini.



Gambar 2. Desain alat

Spesifikasi teknis *drilling jig* ini seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi *drilling jig*

Tipe/Merk	Keterangan
Dimensi	591mm×139 mm×145mm
Diameter luar pipa max	89 mm
Diameter lubang	3 mm
Jarak antar lubang	18 mm
Jarak pin pengunci	12 mm
Tebal <i>bushing</i>	6 mm

A. Hasil perhitungan kekuatan mekanik bahan

Berikut hasil perhitungan kekuatan bahan yang digunakan pada pembuatan *drilling jig* ini berdasarkan persamaan yang ada, ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data hasil perhitungan kekuatan bahan

Part	Mmax (N.mm)	σ_{ijin} (MPa)	σ_{beban} (MPa)	τ_{ijin} (MPa)	τ_{beban} (MPa)
Pipa	30060,1	172,5	1,66	30,8	0,28
Fixture	10181,3	200	4,4	35,71	1,48
Bushing	28543,37	200	1,56	35,71	1,1

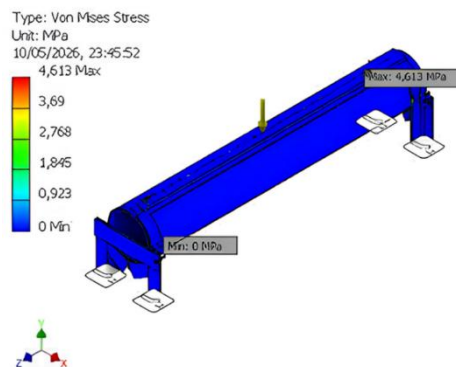
Berdasarkan hasil perhitungan, seluruh komponen *drilling jig* memiliki tegangan kerja yang masih berada di bawah tegangan ijin material. Pada komponen pipa, tegangan normal sebesar 1,66 MPa dan tegangan geser 0,28 MPa masih lebih kecil dibanding tegangan ijin 172,5 MPa dan 30,8 MPa. Pada *fixture*, tegangan normal sebesar 4,4 MPa dan tegangan geser 1,48 MPa

juga masih di bawah tegangan ijin 200 MPa dan 35,71 MPa. Sementara itu, *bushing* memiliki tegangan normal 1,56 MPa dan tegangan geser 1,1 MPa, yang masih berada di bawah batas ijin material. Hasil ini menunjukkan bahwa seluruh komponen aman digunakan dan desain alat bantu bor pipa cetak granul memiliki tingkat keamanan yang baik selama proses pengeboran [10].

B. Hasil simulasi rangka alat

1. Von Mises Stress

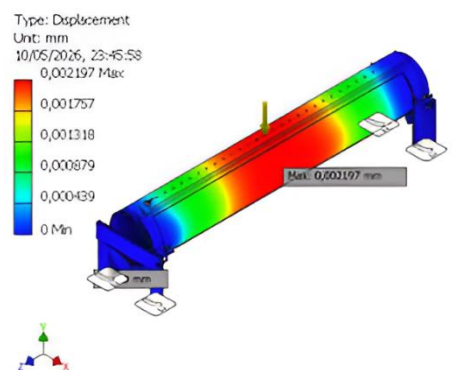
Hasil simulasi *static structural* menunjukkan tegangan *von mises* maksimum sebesar 4,613 MPa. Nilai ini jauh di bawah kekuatan luluh baja struktural, sehingga rangka alat bantu pengeboran aman secara struktural dan tidak berpotensi mengalami kegagalan akibat beban statis [11]. Hasil *von mises stress* dapat dilihat pada Gambar 3. di bawah ini:



Gambar 3. *Von mises stress*

2. Displacement

Hasil simulasi *static structural* menunjukkan displacement maksimum sebesar $2,197 \times 10^{-3}$ mm. Nilai perpindahan ini sangat kecil dan terjadi pada bagian rangka yang menerima beban secara langsung. Dengan besarnya deformasi yang nyaris tidak signifikan, rangka alat bantu pengeboran dinyatakan kaku dan stabil, serta tidak mengalami perubahan bentuk yang dapat memengaruhi ketelitian proses pengeboran [12]. Dapat dilihat hasil *displacement* pada Gambar 4. di bawah ini:

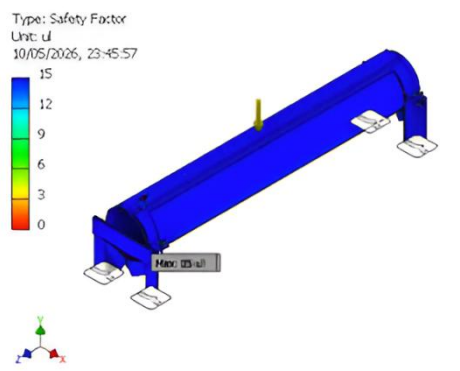


Gambar 4. *Displacement*

3. Safety of factor

Hasil simulasi *static structural* menunjukkan nilai faktor keamanan (*safety factor*) minimum sebesar 15. Nilai ini jauh di atas batas aman yang umumnya digunakan dalam

perancangan mekanik, sehingga rangka alat bantu pengeboran sangat aman, tidak berisiko mengalami kegagalan, dan mampu menahan beban kerja dengan margin keamanan yang tinggi [13]. Dapat dilihat hasil *safety of factor* pada Gambar 5. di bawah ini:



Gambar 5. *Safety of factor*

C. Uji performa

Pegujian dilakukan dengan pengambilan waktu proses pengeboran sepanjang pipa dan membandingkan penggunaan alat bantu dengan tanpa alat untuk mengetahui seberapa efisien alat bantu tersebut dalam pengeboran. Hasil pengukuran ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Data hasil pengukuran waktu pengeboran

Percobaan	Dengan alat bantu (s)	Tanpa alat bantu(s)
1	182	711
2	178	683
3	187	691
Rata - rata	182	695

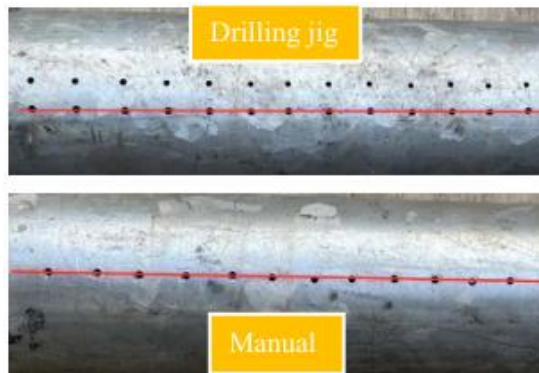
Berdasarkan hasil pengujian, penggunaan *drilling jig* menghasilkan rata-rata waktu pengeboran sebesar 182 detik, jauh lebih cepat dibandingkan metode manual yang memerlukan 695 detik. Dengan demikian, *drilling jig* mampu meningkatkan efisiensi proses pengeboran hingga 3,82 kali. Peningkatan ini disebabkan oleh hilangnya proses penandaan lubang secara manual, berkurangnya risiko mata bor meleset, serta meningkatnya kestabilan posisi benda kerja selama pengeboran.

D. Analisa visual perbandingan hasil pengeboran

Analisis visual dalam bidang teknik mesin (khususnya manufaktur) adalah metode evaluasi kualitas suatu produk atau komponen dengan menggunakan indra penglihatan, baik secara langsung maupun dengan bantuan alat optik seperti mikroskop atau kamera makro.

1. Keakuratan linier lubang pada pipa

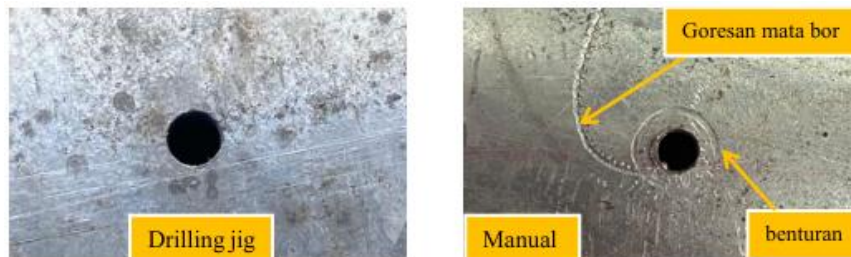
Hasil pengeboran menggunakan *drilling jig* menunjukkan posisi lubang yang lebih lurus, sejajar, dan konsisten sesuai pola yang direncanakan. Sebaliknya, pengeboran manual cenderung menghasilkan penyimpangan posisi akibat kesulitan menjaga titik pengeboran pada permukaan pipa yang melengkung [14], seperti dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Keakuratan linier pipa

2. Permukaan pipa

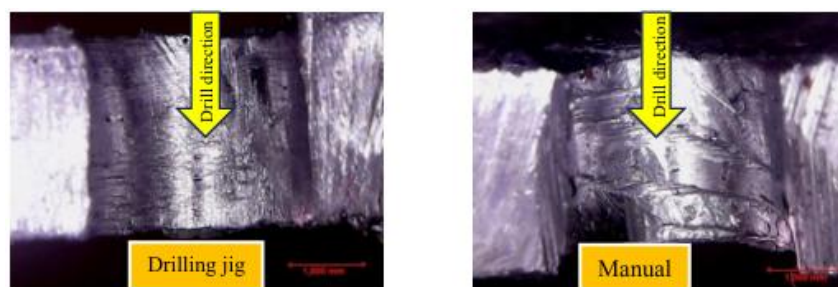
Permukaan pipa yang dibor menggunakan *drilling jig* menghasilkan permukaan pipa tanpa bekas benturan mesin bor maupun bekas slip mata bor. Sebaliknya, pengeboran tanpa *drilling jig* menunjukkan adanya goresan, bekas slip mata bor, dan burr yang lebih tinggi akibat ketidakstabilan posisi mata bor pada awal pengeboran.[15]. Permukaan pipa setelah pengeboran ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Permukaan pipa

3. Dinding lubang

Hasil pengamatan visual menunjukkan bahwa lubang yang dihasilkan menggunakan *drilling jig* memiliki dinding yang lebih halus dibandingkan dengan pengeboran manual. Penggunaan *drill bushing* mampu menjaga arah gerak mata bor tetap stabil sehingga mengurangi getaran dan penyimpangan selama proses pengeboran. Sebaliknya, pada pengeboran manual ditemukan ketidakrataan pada dinding lubang akibat pergeseran mata bor pada awal pengeboran [16]. Perbedaan hasil pengeboran ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Dinding lubang

E. Kesesuaian ukuran granul

Berdasarkan hasil pengukuran terhadap 50 butir granul yang dipilih secara acak, diperoleh diameter rata-rata sebesar 3 mm dengan variasi ukuran yang rendah dan seluruh hasil masih

berada dalam rentang toleransi yang telah ditetapkan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa lubang cetak yang diproduksi menggunakan drilling jig memiliki tingkat presisi dan konsistensi yang tinggi. Ketelitian posisi dan dimensi lubang cetak mampu menjaga keseragaman aliran material selama proses granulasi, sehingga menghasilkan granul dengan ukuran yang seragam dan sesuai dengan target rancangan maupun kebutuhan pasar pupuk organik [2]. Dapat dilihat ukuran granul pada Gambar 9. dibawah ini.



Gambar 9. Diameter granul

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan menguji *drilling jig* untuk pembuatan pipa cetak granul pada mesin *double roller granulator*. Hasil perhitungan mekanik menunjukkan bahwa tegangan kerja pada komponen pipa, *fixture*, dan *bushing* masing-masing sebesar 1,66 MPa, 4,40 MPa, dan 1,56 MPa, yang masih berada di bawah tegangan ijin material. Hasil simulasi struktur juga menunjukkan nilai *von Mises stress* sebesar 4,613 MPa, *displacement* sebesar 0,002197 mm, dan *safety factor* sebesar 15, sehingga alat dinyatakan aman digunakan. Pengujian performa menunjukkan bahwa penggunaan *drilling jig* mampu mempercepat waktu pengeboran dari 695 detik menjadi 182 detik atau 3,82 kali lebih cepat dibandingkan metode manual. Selain itu, *drilling jig* menghasilkan kualitas pengeboran yang lebih baik, ditunjukkan oleh kondisi dinding lubang yang lebih rapi, kebundaran lubang yang lebih baik, serta minimnya goresan pada permukaan pipa. Dengan demikian, *drilling jig* yang dikembangkan terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi dan kualitas proses pengeboran pipa cetak granul. Pipa cetak yang dihasilkan mampu menghasilkan granul berdiameter 3 mm sesuai desain

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. A. Anugrah and M. Mulyono, "Sosialisasi Dan Penyuluhan Pentingnya Kompos Berbentuk Granul Bagi Komunitas Produsen Pupuk Organik," *Pros. Semin. Nas. Progr. Pengabd. Masy.*, pp. 2006–2011, 2022, doi: 10.18196/ppm.44.595.
- [2] B. Abbas, A. Jasim, and L. Bander, "Effect of Holes Diameter and Speed of Die on the Performance of Machine and Feed Pellet Quality," *Al-Qadisiyah J. Agric. Sci.*, vol. 14, no. 2, pp. 59–68, 2024, doi: 10.33794/qjas.2024.154582.1191.
- [3] Hamdani, Sumardi, Syamsuar, Mawardi, and E. Saputra, "Pembuatan dan Pengujian Drilling Jig untuk Penggurdian Pipa," vol. 5, no. 1, pp. 35–39, 2021.
- [4] I. N. Akmal and D. Yuhas, "Jurnal Mekanik Terapan Perancangan Drilling Jig dengan Adjustable V-Block untuk Pengeboran Tangkai Drill Chuck Mesin Bor Koordinat 22

- STA,” *J. Mek. Terap.*, vol. 03, no. 01, pp. 26–33, 2022, doi: 10.32722/jmt.v3i1.4546.
- [5] M. Nur, Syamsuar, and Sumardi, “Rancang Bangun Drilling Jig Sebagai Alat Bantu Mengebor Benda Silindris,” vol. 4, no. 2, pp. 83–90, 2020, doi: 10.30811/jmst.v4i2.2012.
- [6] R. A. Serway and Jo. W. Jewett, *Physics for Scientists and Engineering*, 10th ed. Cengage Learning, 2018.
- [7] R. G. Budynas and J. K. Nisbett, *Mechanical Engineering Design*, 10th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2015.
- [8] Sularso and K. Suga, *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta: PT Pradnya Paramita, 2008.
- [9] F. P. Beer, E. R. Johnston, J. T. Dewolf, and D. F. Mazurek, *Mechanics of Materials*, Seven. New York: McGraw-Hill Education, 2015.
- [10] Victor Aguilar, Andrzej S Nowak, and J. Brian Anderson, “History of Transition From Allowable Stress Design to Load and Resistance Factor Design and Beyond,” *Transp. Res. Rec.*, vol. 2679, no. 1, pp. 544–555, Jan. 2025, doi: 10.1177/03611981221116363.
- [11] R. M. Bisono, N. Hafidhoh, and A. T. A. Salim, “Strength Analysis of Frame Structure Loading in Planning Using Solidworks Static Simulation Study,” *BIOMEJ*, vol. 1, no. 2 SE-Articles, pp. 26–32, Jul. 2023, doi: 10.33005/biomej.v1i2.31.
- [12] F. Wang, B. Sheng, Y. Wu, J. Li, Z. Xu, and Z. Zhu, “Deformation Analysis and Fixture Design of Thin-walled Cylinder in Drilling Process Based on TRIZ Theory,” vol. 3, no. 1, 2021, doi: 10.33142/mes.v3i1.4337.
- [13] F. Prunier and D. Branque, “Definition of a safety factor using the finite element method in geomechanics, from a static to dynamic regime,” *Eur. J. Environ. Civ. Eng.*, vol. 26, no. 1, pp. 144–165, Jan. 2022, doi: 10.1080/19648189.2019.1650119.
- [14] A. A. Hawam, “The Maximum Positional Error of Circularly Distributed Holes Drilled with the Assistance of a Post Jig,” vol. 7, no. 1, 2023, doi: 10.21608/ERJENG.2023.186066.1142.
- [15] Shashank Shukla, Rahul Jain, and Soumya Gangopadhyay, “Measurement and analysis of radial force, radial torque and surface integrity in micro-drilling of an Al7075-T6 alloy,” *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf.*, vol. 238, no. 8, pp. 1183–1195, Jun. 2024, doi: 10.1177/09544054231189104.
- [16] H. YOSHIMURA, H. KAWAHARA, and Y. HOSHI, “Effect of drill wear on drilled hole quality for drilling of printed circuit boards,” *J. Japan Soc. Abras. Technol.*, vol. 67, no. 9, pp. 509–516, 2023, doi: 10.11420/jsat.67.509.