

## Optimalisasi Pendekatan Desain Sistematis Palu *Hammer Mill* Untuk Pembuatan Pupuk Batubara

Gia Yosep Gunawan<sup>1\*</sup>, Susanto Sudiro<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Teknik Mesin, Universitas Nusa Putra, Indonesia

<sup>2</sup>Teknik Mesin, Universitas Pancasila, Jakarta, Indonesia

\*Email Corresponding Author: [giayosepgunawan@nusaputra.ac.id](mailto:giayosepgunawan@nusaputra.ac.id)

### ABSTRAK

Penelitian ini berkaitan dengan optimalisasi palu pada mesin *Hammer Mill* yang digunakan dalam produksi pupuk batu bara. Mesin *Hammer Mill* merupakan alat pengecilan ukuran bahan yang penting dalam industri pertanian, perumahan, dan peternakan, terutama dalam penggilingan bahan pakan ternak. Mesin ini menggunakan palu yang berputar pada kecepatan tinggi untuk menghancurkan bahan, dan optimalisasi palu menjadi krusial untuk meningkatkan efisiensi dan umur pakai mesin. Kendala dalam penggunaan pisau *Hammer Mill* berbahan dasar rel kereta api, yang menyebabkan aus cepat dan gangguan berulang dalam proses produksi. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan optimalisasi desain pisau *Hammer Mill* melalui pendekatan Taguchi dan analisis *Finite Element Analysis* (FEA). Langkah-langkah metodologi mencakup identifikasi faktor-faktor kunci, rancang eksperimen Taguchi, pelaksanaan eksperimen dengan simulasi FEA, pengumpulan data, perhitungan *Signal-to-Noise Ratio* (SN Ratio), analisis Taguchi, identifikasi faktor kritis, optimasi parameter, dan verifikasi hasil. Hasil penelitian menunjukkan bahwa desain pisau *Hammer Mill* pada sampel 8, dengan material besi mangan, memiliki nilai S/N Ratio tertinggi (-26.14) dan dianggap optimal. Secara ilmiah, nilai S/N Ratio yang lebih tinggi mengindikasikan performa yang lebih baik, dan Sampel 8 dianggap memiliki nilai optimalisasi yang baik dalam konteks "*Large is Better*." Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada peningkatan efisiensi produksi dan kualitas produk pupuk batu bara.

**Kata kunci:** *Finite Element Analysis, Palu Hammer Mill, Metode Taguchi, Mesin Hammer Mill*

### ABSTRACT

*This research focuses on the optimization of hammer design in the Hammer Mill machine used for coal fertilizer production. The Hammer Mill machine plays a crucial role in the agricultural, residential, and livestock industries, particularly in the grinding of livestock feed materials. This machine utilizes rotating hammers at high speeds to crush materials, making the optimization of the hammers essential for enhancing machine efficiency and longevity. Challenges associated with the use of Hammer Mill blades made from railroad track materials, leading to rapid wear and repeated disruptions in the production process. This study aims to optimize the design of Hammer Mill blades through the Taguchi approach and Finite Element Analysis (FEA). The methodology involves the identification of key factors, Taguchi experimental design, experimental implementation with FEA simulations, data collection, Signal-to-Noise Ratio (SN Ratio) calculations, Taguchi analysis, identification of critical factors, parameter optimization, and result verification. The research findings indicate that the blade design in sampel 5, utilizing manganese iron material, exhibits the highest S/N Ratio (-26.14) and is considered optimal. Scientifically, a higher S/N Ratio suggests better performance, and Sampel 8 is deemed to have good optimization value in the "Large is Better" context. Therefore, this research is expected to contribute to the improvement of production efficiency and product quality in coal fertilizer production.*

**Keywords:** *Finite Element Analysis, Hammer Mill Hammer, Taguchi Method, Hammer Mill Machine*

### PENDAHULUAN

*Hammer Mill* merupakan alat pengecilan ukuran bahan karena adanya tumbukan yang terus menerus antara bahan yang dimasukkan dengan hammer yang berputar pada kecepatan tinggi. *Hammer Mill* digunakan sebagai alat giling bahan

pada industri pertanian, perumahan, dan peternakan khususnya penggilingan bahan pakan ternak. Penggilingan terjadi karena adanya tumbukan antara bahan yang dimasukkan dengan hammer yang berputar di dalam *Hammer Mill* [1]. *Hammer Mill* lebih banyak digunakan di pabrik pembuatan pakan atau pupuk karena lebih mudah

dioperasikan dan dirawat serta menghasilkan partikel berbentuk bulat atau halus. Untuk meningkatkan kapasitas produksi dari *Hammer Mill*, mereka dilengkapi dengan sistem bantuan udara yang menarik udara ke dalam *Hammer Mill* bersama produk awal yang kasar menjadi halus, sehingga memungkinkan partikel halus dapat keluar melalui lubang saringan., seperti penelitian oleh Zhang pada tahun 2020 yang mempelajari performa mesin *Hammer Mill* dengan mengoptimalkan inlet dan outlet pada mesin [2]. serta Bhagat pada tahun 2020 yang melakukan desain dan pengembangan pisau mesin *Hammer Mill* untuk menghancurkan limbah pertanian [3].

Pada saat ini terdapat perusahaan yang menggunakan mesin *Hammer Mill* dalam produksi pupuk batu bara. Di mana tahap awal melibatkan transformasi bahan baku batu bara mentah menjadi partikel halus, yang kemudian dicampurkan dengan kapur atau dolomit melalui mesin *Hammer Mill*. penting mesin *Hammer Mill* dalam mencapai target produksi yang ditetapkan, yakni 5 Ton per Jam, sangat signifikan. Ketika mesin *Hammer Mill* tidak beroperasi dengan optimal, produksi berisiko kurang dari target tersebut. Namun, perusahaan menghadapi tantangan terkait kurangnya tenaga teknis dan insinyur yang dapat menganalisis desain serta bahan yang tepat untuk mesin *Hammer Mill* yang digunakan. Setelah melakukan wawancara dengan perusahaan terkait, terungkap bahwa saat ini pisau *Hammer Mill* yang digunakan dalam mesin berkapasitas 2 ton per Jam terbuat dari material rel kereta api atau pegas, tanpa perlakuan material tambahan. Hal ini mengakibatkan pisau *Hammer Mill* hanya dapat beroperasi selama 2 minggu sebelum harus diganti karena pisau sudah aus dan proses hammering tidak maksimal. yang pada akhirnya memaksa teknis untuk sering melakukan pergantian pisau. Hal ini berdampak pada terhentinya proses produksi secara berulang.

Proses penghancuran material yang keras dapat menyebabkan abrasi dan deformasi pada palu atau pisau, mengurangi efisiensi penghancuran. Salah satu hal yang paling penting yang harus di perhatikan adalah pisau *Hammer Mill* baik dalam bentuk dan juga ukuran atau material yang digunakan [4]. Penelitian dilakukan untuk menguji jenis material yang digunakan untuk membuat pisau, seperti penelitian oleh Chen pada tahun 2019 yang mempelajari penggunaan teknologi *laser cladding* untuk meningkatkan kualitas dan kekuatan pisau mesin *Hammer Mill* [5]. Meskipun telah dilakukan banyak penelitian terkait mesin *Hammer Mill*, masih terdapat beberapa tantangan yang perlu diatasi untuk mengoptimalkan kinerja pisau pada mesin tersebut. Tantangan utama melibatkan perbaikan

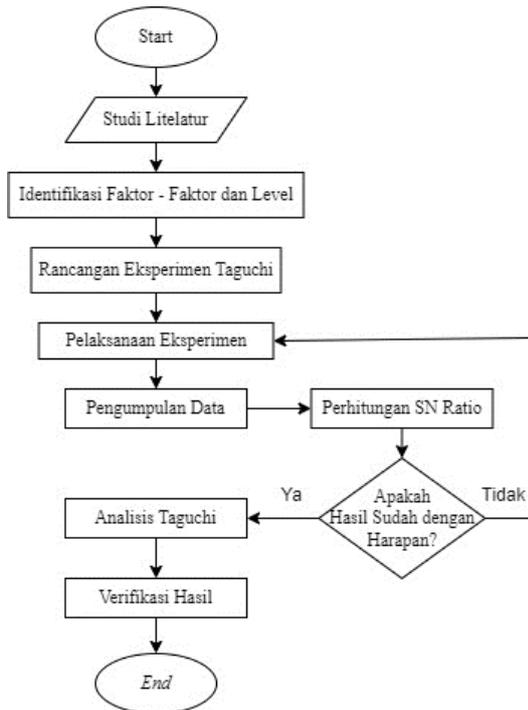
pada desain pisau agar lebih efisien dan memiliki daya tahan yang lebih lama, serta peningkatan penggunaan material yang lebih tahan aus dan memiliki umur pakai yang lebih panjang. Desain pisau yang efisien mencakup aspek-aspek seperti bentuk, sudut potong, dan profil pisau yang disesuaikan dengan karakteristik material yang dihancurkan. Dengan mengatasi kedua tantangan ini, diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan daya tahan pisau, sehingga hasil akhir produksi mesin *Hammer Mill* menjadi lebih optimal [6].

Ketika pisau pada mesin *Hammer Mill* tidak dianalisis dengan cermat sesuai dengan kebutuhan yang spesifik, hal ini dapat berdampak negatif pada hasil akhir produksi. Ketidaksiharian ini bisa menghambat efisiensi dan performa pisau dalam proses pembuatan, sehingga hasil yang diinginkan tidak dapat dicapai secara maksimal. Oleh sebab itu, langkah yang perlu diambil adalah mengarah pada upaya optimalisasi desain pisau *Hammer Mill*. Peneliti memiliki niat kuat untuk melakukan perbaikan dalam hal ini, dengan memanfaatkan metode Taguchi. Melalui metode ini, diharapkan dapat dihasilkan rancangan desain pisau *Hammer Mill* yang tidak hanya lebih baik dari sebelumnya, tetapi juga lebih sesuai dengan parameter-parameter kunci yang mempengaruhi kinerja mesin [7]. Dengan demikian, diharapkan produksi pada perusahaan yang produksi pupuk batu bara dapat mengalami peningkatan yang signifikan dalam hal efisiensi produksi dan hasil akhir produk yang lebih berkualitas.

Pada pengujian eksperimental ini akan berfokus pada pengujian FEA desain palu *Hammer Mill* pada pada mesin *Hammer Mill*. Penelitian akan berfokus pada pengumpulan data hasil pengujian FEA dan analisa dengan metode Taguchi berdasarkan spesimen pengujian yang akan dijalankan, sehingga bisa mencapai tujuan yang di inginkan dengan membuat desain pisau *Hammer Mill* yang memiliki efisiensi produksi yang baik untuk kapasitas mesin 5 ton/jam, kemudian menentukan Material apa yang harus digunakan untuk mesin *Hammer Mill* dengan efisiensi produksi yang baik dan terakhir membuat *Prototype* dari palu yang sudah memiliki hasil pengujian yang baik.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini berfokus pada pendekatan desain palu *Hammer Mill* dengan menggunakan analisis FEA dan diolah dengan metode Taguchi, Urutan proses penelitian ini dijelaskan pada *flow chart* yang digambarkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram Alur Penelitian

Proses pembuatan desain palu yaitu dengan menggunakan *software Solidworks* yang di mana pada proses desain yaitu mengacu ke dalam referensi dan saran-saran yang ada di literatur yang sudah dikumpulkan dan membandingkan dengan desain palu yang sudah ada pada mesin *Hammer Mill*.

#### a. Identifikasi Faktor-Faktor dan Level

Identifikasi faktor-faktor yang dapat mempengaruhi hasil pengujian *Finite Element Analysis*. Ini bisa mencakup variasi material, parameter geometris, atau kondisi batas tertentu. Tentukan level atau nilai-nilai yang berbeda untuk setiap faktor. Level ini dapat mencakup variasi material, ketebalan, suhu, dan sebagainya.

#### b. Rancang Eksperimen Taguchi

Gunakan metode Taguchi untuk merancang eksperimen. Pilih desain eksperimen Taguchi yang sesuai dengan jumlah faktor dan level yang akan diuji. Pastikan bahwa eksperimen mencakup kombinasi level-level yang mencakup variasi parameter yang ingin dievaluasi.

#### c. Pelaksanaan Eksperimen

Implementasikan desain eksperimen dengan menjalankan simulasi *Finite Element Analysis* untuk setiap kombinasi level faktor yang telah ditentukan. Catat data hasil simulasi untuk setiap percobaan.

#### d. Pengumpulan Data

Kumpulkan data hasil simulasi untuk setiap kombinasi level faktor. Data ini dapat berupa parameter kinerja yang relevan, seperti tegangan, deformasi, atau faktor keamanan.

#### e. Perhitungan Sinyal-ke-Noise *Ratio* (SN *Ratio*)

Hitung SN *Ratio* untuk setiap kombinasi level faktor berdasarkan data hasil simulasi. SN *Ratio* memberikan informasi tentang seberapa baik suatu kombinasi level dapat meminimalkan variabilitas dan meningkatkan kualitas hasil.

#### f. Analisis Taguchi

Gunakan hasil SN *Ratio* untuk melakukan analisis Taguchi. Fokuskan pada identifikasi kombinasi level faktor yang memberikan SN *Ratio* tertinggi. Kombinasi ini dianggap sebagai kombinasi optimal.

#### g. Verifikasi Hasil

Lakukan verifikasi hasil optimal melalui simulasi ulang atau pengujian fisik untuk memastikan keberlanjutan dan validitas temuan.

Melalui langkah-langkah ini, analisis Taguchi dapat memberikan wawasan yang mendalam tentang pengaruh faktor-faktor yang berbeda terhadap hasil pengujian *Finite Element Analysis* dan membantu dalam mencapai kondisi optimal atau paling menguntungkan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Identifikasi Faktor-Faktor dan Level

Berikut ini adalah hasil mengidentifikasi faktor-faktor dan level-levelnya sebagai berikut:

#### a. Jenis Material Pisau *Hammer Mill*

- Faktor: Jenis material pisau *Hammer Mill*.
- Level:
  - Level 1: *Cast Steel Alloy*
  - Level 2: Besi Mangan (DIN 1.7147 - 20MnCr5)
  - Level 3: *Steel Alloy*

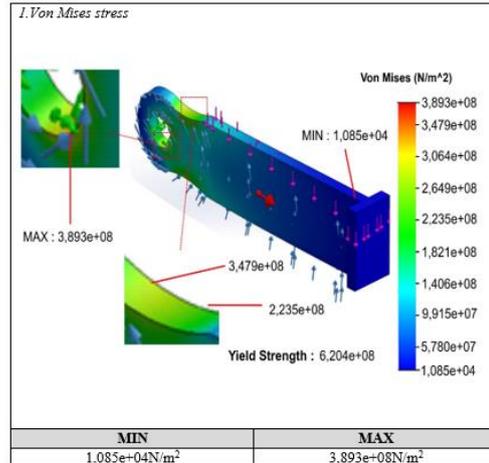
#### b. Desain Geometris Pisau *Hammer Mill*

- Faktor: Bentuk dan dimensi pisau *Hammer Mill*.
- Level:
  - Level 1: Desain Pisau 1
  - Level 2: Desain Pisau 2
  - Level 3: Desain Pisau 3

#### c. Kecepatan Putaran *Hammer Mill*

- Faktor: Kecepatan putaran palu *Hammer Mill*.

- Level: Putaran Motor *Hammer Mill* dengan motor 100 HP kecepatan 1400 Rpm.
- d. Parameter Proses
  - Faktor: waktu proses
  - Level: 100 – 240 kg / 0,043 detik / 1 putaran
- e. Beban Operasional
  - Faktor: Beban yang t pada palu *Hammer Mill*.
  - Level:
    - Level 1: Desain Pisau 1 4,4 kg
    - Level 2: Desain Pisau 2 4,4 kg
    - Level 3: Desain Pisau 3 4,4 kg

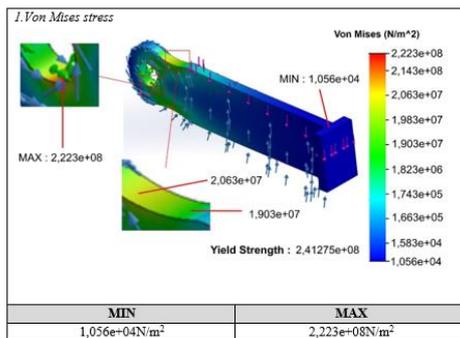


Tabel 4. Analisis *Displacement* Material Baja Paduan Desain Pisau 1

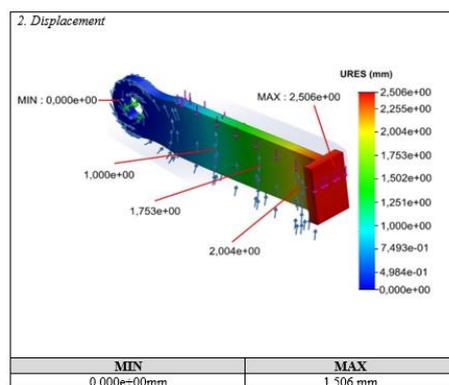
Hasil Pengujian Desain Pisau 1

a. Material Rel Kereta Api

Tabel 1. Analisis Tegangan *Von Mises* Material Rel Kereta Api Desain Pisau 1

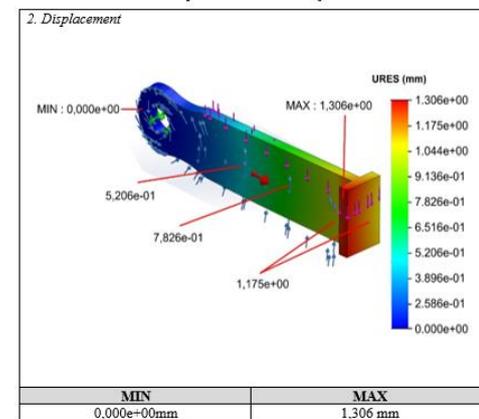


Tabel 2. Analisis *Displacement* Material Rel Kereta Api Desain Pisau 1



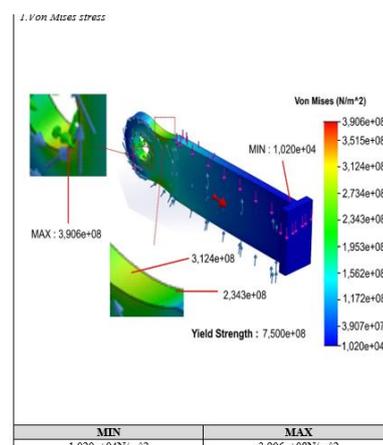
b. Material Baja Paduan

Tabel 3. Analisis Tegangan *Von Mises* Material Baja Paduan Desain Pisau 1

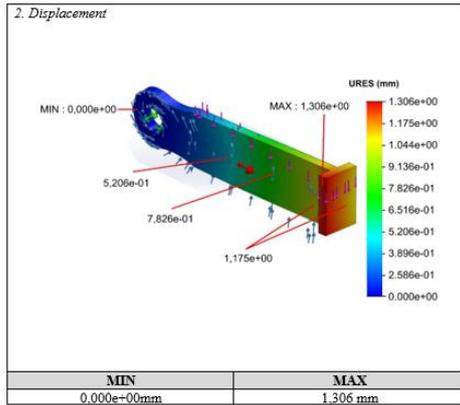


c. Material Besi Mangan

Tabel 5. Analisis Tegangan *Von Mises* Material Besi Mangan Desain Pisau 1

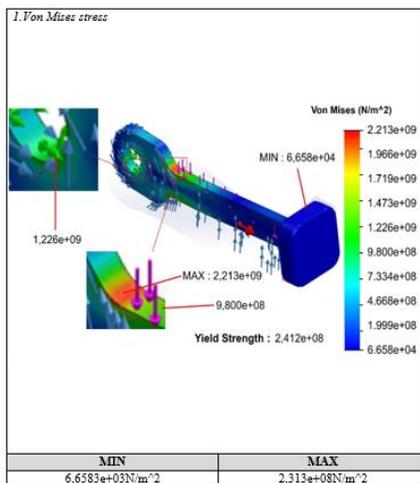


Tabel 6. Analisis *Displacement* Material Besi Mangan Desain Pisau 1

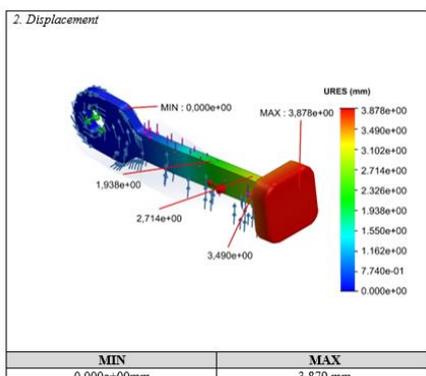


Hasil Pengujian Desain Pisau 2

Tabel 7. Analisis Tegangan Von Mises Material Rel Kereta Api Desain Pisau 2

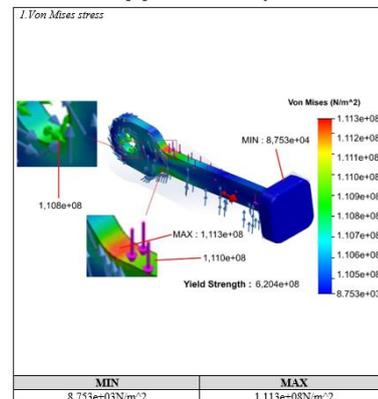


Tabel 8. Analisis Displacement Material Rel Kereta Api Desain Pisau 2

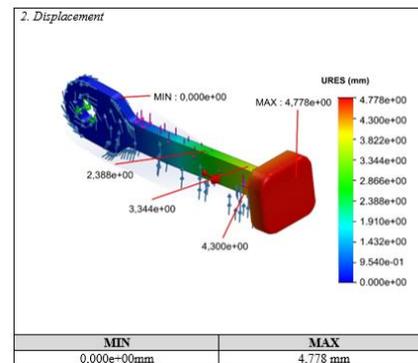


b. Material Baja Paduan

Tabel 9. Analisis Tegangan Von Mises Material Baja Paduan Desain Pisau 2

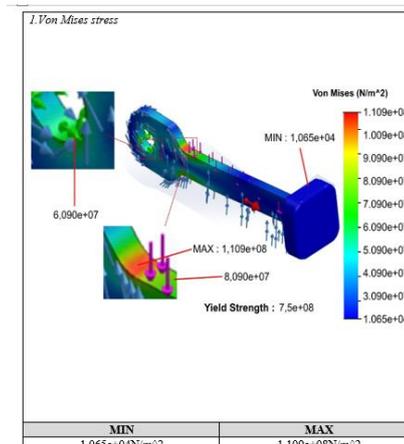


Tabel 10. Analisis Displacement Material Baja Paduan Desain Pisau 2

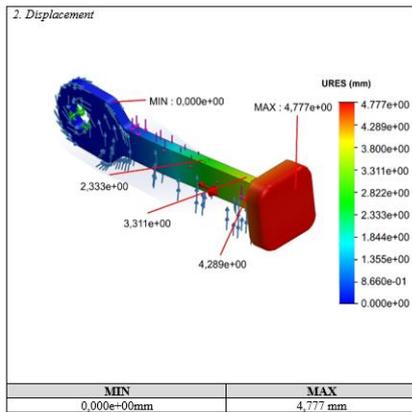


c. Material Besi Mangan

Tabel 11. Analisis Tegangan Von Mises Material Besi Mangan Desain Pisau 2



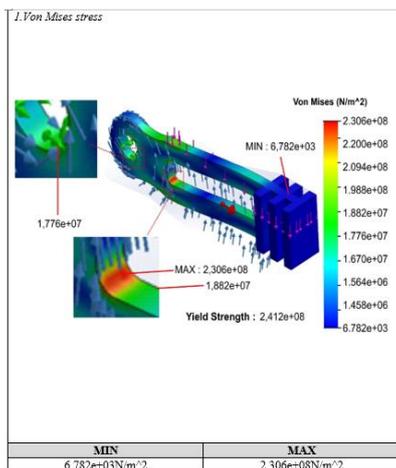
Tabel 12. Analisis Displacement Material Besi Mangan Desain Pisau 2



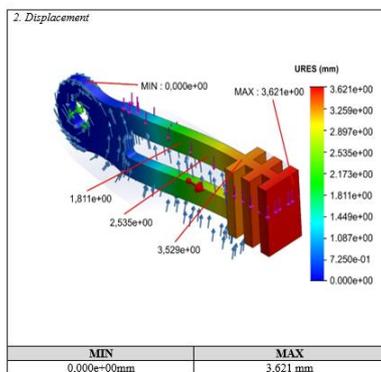
Hasil Pengujian Desain Pisau 3

a. Material Rel Kereta Api

Tabel 13. Analisis Tegangan Von Mises Material Rel Kereta Api Desain Pisau 3

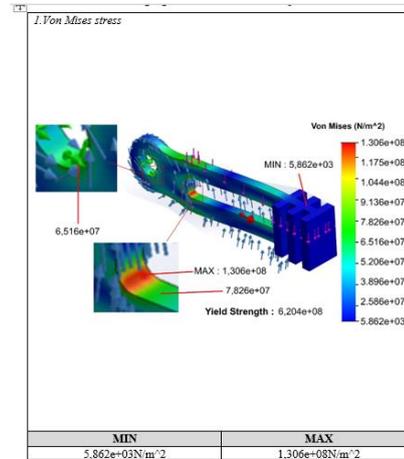


Tabel 14. Analisis Displacement Material Rel Kereta Api Desain Pisau 3

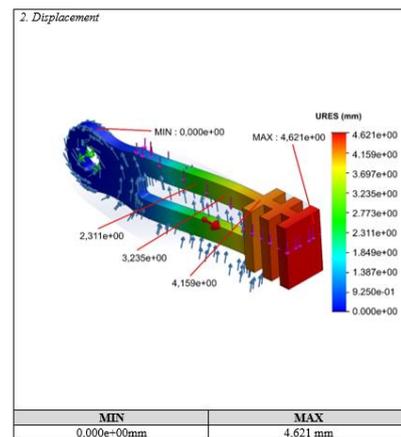


b. Material Baja Paduan

Tabel 15. Analisis Tegangan Von Mises Material Baja Paduan Desain Pisau 3

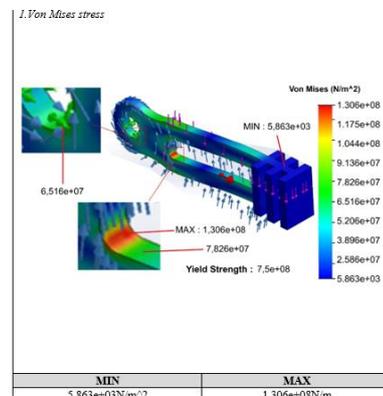


Tabel 16. Analisis Displacement Material Baja Paduan Desain Pisau 3

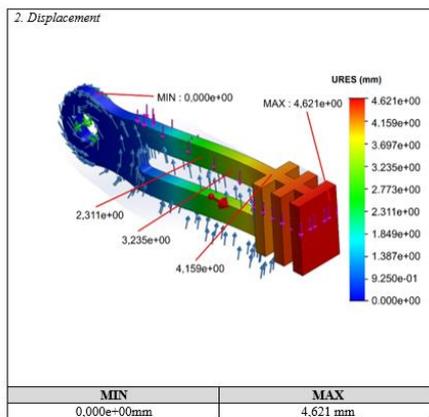


c. Material Besi Mangan

Tabel 17. Analisis Tegangan Von Mises Material Besi Mangan Desain Pisau 3



Tabel 18. Analisis *Displacement* Material Besi Mangan Desain Pisau 3



**Pengumpulan Data**

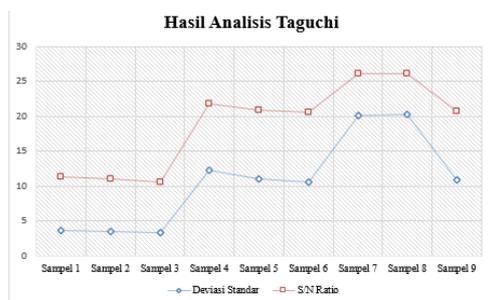
Hasil dari pengujian *Finite Element Analysis* yang sudah dilakukan maka mendapatkan data atau hasil seperti pada Tabel 19.

Tabel 19. Hasil Pelaksanaan Eksperimen

No	Sampel	Keterangan	Safety factor	Momen Inertia Luas	Nilai Deformasi (Displacement)
1.	Sampel 1	Desain 1 Material 1	1,05	64 cm <sup>4</sup>	1,506 mm
2.	Sampel 2	Desain 1 Material 2	1,59	64 cm <sup>4</sup>	1,306 mm
3.	Sampel 3	Desain 1 Material 3	1,92	64 cm <sup>4</sup>	1,306 mm
4.	Sampel 4	Desain 2 Material 1	1,04	8 cm <sup>4</sup>	3,879 mm
5.	Sampel 5	Desain 2 Material 2	5,57	8 cm <sup>4</sup>	4,778 mm
6.	Sampel 6	Desain 2 Material 3	6,75	8 cm <sup>4</sup>	4,777 mm
7.	Sampel 7	Desain 3 Material 1	1,04	4,4 cm <sup>4</sup>	3,621 mm
8.	Sampel 8	Desain 3 Material 2	4,76	4,4 cm <sup>4</sup>	4,621 mm
9.	Sampel 9	Desain 3 Material 3	5,75	4,4 cm <sup>4</sup>	4,621 mm

Dari data yang sudah terkumpul bahwa material 1 adalah material kereta api dan material 2 adalah *Steel Alloy* atau baja paduan dan untuk material 3 adalah material besi mangan atau DIN 1.7147 (20MnCr5).

**Analisis Taguchi**



Gambar 2. Diagram analisis taguchi

Gambar 2. menunjukkan analisis Taguchi kriteria "*Large is Better*" berarti bahwa nilai *Signal-to-Noise Ratio* (S/N Ratio) yang lebih tinggi mengindikasikan performa yang lebih baik. Oleh karena itu, kita ingin mencari sampel dengan nilai S/N Ratio tertinggi untuk menentukan pengaturan faktor yang menghasilkan performa optimal.

**Analisis Perhitungan Efisiensi Biaya Produksi**

Tabel 20. Harga Produksi Palu Hammer Mill

Sampel	Volume (m <sup>3</sup> )	Material	Harga Palu / Pcs
Sampel 1	0,574	Rel Kereta Api	-
Sampel 2	0,574	<i>Steel Alloy</i>	Rp. 3.013.000
Sampel 3	0,574	Mangan	Rp. 4.305.000
Sampel 4	0,576	Rel Kereta Api	-
Sampel 5	0,576	<i>Steel Alloy</i>	Rp. 3.024.000
Sampel 6	0,576	Mangan	Rp. 4.320.000
Sampel 7	0,537	Rel Kereta Api	-
Sampel 8	0,537	<i>Steel Alloy</i>	Rp. 2.819.250
Sampel 9	0,537	Mangan	Rp. 4.027.000

Dari hasil perhitungan, tampak bahwa sampel 8 menunjukkan biaya produksi yang paling rendah dibandingkan dengan sampel lainnya. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa sampel 8 merupakan pilihan yang paling ekonomis atau hemat biaya dalam konteks pembuatan palu *Hammer Mill* dengan melibatkan pihak ketiga. Selain itu, perlu diperhatikan bahwa material 1, yaitu rel kereta api, tidak disarankan karena dianggap ilegal untuk dijual kepada masyarakat umum sesuai dengan peraturan pemerintah. Oleh karena itu, penggunaan material ini tidak dapat direkomendasikan dalam proses produksi palu *Hammer Mill*, demi mematuhi regulasi dan etika bisnis.

**KESIMPULAN**

Dari hasil penelitian menggunakan *Finite Element Analysis*, mencakup *Safety factor*, Momen Inertia Luas, dan *Displacement* untuk enam sampel dengan desain dan material yang berbeda. Material 1 adalah material rel kereta api dan material 2 adalah *Steel Alloy*, sementara Material 2 adalah besi mangan atau DIN 1.7147 (20MnCr5). Hasil perhitungan deviasi standar menunjukkan variabilitas hasil pengujian untuk setiap sampel.

Selanjutnya, dilakukan perhitungan *Signal-to-Noise Ratio* (S/N Ratio) untuk mengevaluasi performa parameter kualitas dalam desain eksperimen Taguchi. Dalam kategori "*Large is Better*," Sampel 8 (Desain 3, Material 2) menunjukkan nilai S/N Ratio tertinggi, yaitu -26.14, mengindikasikan performa yang lebih baik. Analisis Taguchi menekankan bahwa nilai S/N Ratio yang lebih tinggi menandakan hasil

percobaan yang mendekati atau melebihi target yang diinginkan.

Dalam kesimpulan, hasil penelitian menunjukkan bahwa Sampel 8 dengan desain 3 menggunakan Material 2 (*Steel Alloy*) memiliki performa yang lebih baik dalam kategori "*Large is Better*," sejalan dengan nilai *S/N Ratio* tertinggi. Analisis ini membantu memahami dan memilih kombinasi faktor yang mengoptimalkan kinerja sistem atau proses dalam konteks Taguchi. Dengan melakukan perhitungan bahwa material steel alloy juga memiliki tingkat keausan yang rendah yaitu sebesar  $0,57 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Kg.m}$  dan memiliki umur material yang lebih lama dari pada tiga material lain yang digunakan. Maka Desain 3 dengan menggunakan material *Steel Alloy* merupakan kombinasi yang baik untuk mencapai target dari penghacuran baru bara.

Karthikeyan, K. (2019). Design and Fabrication of *Hammer Mill* Mechanical Project. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 8(10), 2445-2452.

[7] Smith, P. A., & Winkler, T. (2018). An Investigation of Size Reduction and Classification in Palu *Hammer Mill* Processing. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 57(20), 6894-6902.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Kurniawan and A. Kusnat, "Perancangan Hammer Pada Mesin *Hammer Mill* Menggunakan Metoda Discrete Element Modelling Untuk Meningkatkan Kehalusan Penggilingan Kulit Kopi," *J. Rekayasa Sist. Ind.*, vol. 3, no. 04, p. 21, 2017,
- [2] E. Heryana, P. Magister, and T. Mesin, "Optimasi Desain Pisau Mesin Penghancur Batu Kapur," vol. 12, no. 2, pp. 139–145, 2016.
- [3] Zhang, Y., Zhou, Q., Wang, Z., & Zhang, B. (2020). Study on the Performance Optimization of *Hammer Mill* Inlet and Outlet. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 551(1), 012046. doi: 10.1088/1755-1315/551/1/012046
- [4] Bhagat, R., Kumar, R., Gupta, V., & Sharma, R. (2020). Design and Development of *Hammer Mill* for Harvesting and Shredding Agricultural Wastes. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(2), 2197-2204. doi: 10.1016/j.jmrt.2019.11.049
- [5] Chen, Y., Zhang, J., Xiang, X., Sun, Y., & Xu, Y. (2019). Study on Manufacturing Technology of Laser Cladding *Hammer Mill* Blade. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 102(9-12), 2443-2453. doi: 10.1007/s00170-019-04207-x
- [6] Rajkumar, A., Ramakrishnan, P., &