



Investigasi Kekuatan Rangka Mesin Briket Arang Menggunakan Metode *Finite Element Method* dengan Perbandingan Material *Structural Steel* dan *Stainless Steel*

Raihan Aji Yunanto¹, Muhamad Safi'i², Hisyam Ma'mun^{3*}

^{1,2,3} Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Persatuan Guru Republik Indonesia Semarang, Jawa Tengah 50232, Indonesia

ARTICLE INFO

Keywords:

FEM

Frame

Stress

Strain

Safety

ABSTRACT

The frame of the charcoal briquette machine is a primary structural component that receives loading during the operational process, so structural strength analysis is required to ensure the safety of its use. This study evaluates and compares the structural response of a charcoal briquette machine frame fabricated from Structural Steel and Stainless Steel. The analysis focuses on normal stress, normal strain, and safety factor using the Finite Element Method (FEM). The three-dimensional frame model was created using SolidWorks and analyzed in the Static Structural module with load variations of 9,5–36,5 N, then validated through experimental testing on the Normal Stress and Normal Strain parameters. The simulation results indicate that Structural Steel and Stainless Steel exhibited maximum normal stress values of 27.138 MPa and 27.139 MPa, respectively, while the corresponding maximum normal strain values were recorded at 1.32×10^{-4} and 1.37×10^{-4} . The validation results show a Normal Stress error percentage of 0,37 – 0,59% for Structural Steel and 0,55 – 0,59% for Stainless Steel, as well as Normal Strain errors of 0,47 – 1,17% and 0,66 – 0,79%, indicating a very good level of agreement between the numerical simulation and experimental testing. The Safety Factor values obtained were 9,21 for Structural Steel and 7,63 for Stainless Steel, indicating that both materials remain in a safe condition against the applied loading. Based on these results, Structural Steel provides better structural performance because it produces lower strain and a higher Safety Factor, and is

*Corresponding author: hisyam@upgris.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.24127/armatur.v7i2.12894>

Received 21 August 2026; Received in revised form 8 September 2026; Accepted 10 September 2026

Available online 15 September 2026

Pendahuluan

Kemajuan teknologi di sektor manufaktur mendorong pengembangan mesin produksi yang memiliki konstruksi kuat, tingkat kestabilan yang tinggi, serta mampu beroperasi secara aman dan andal dalam jangka waktu yang panjang. Rangka merupakan elemen struktural utama mesin yang berfungsi menopang seluruh komponen penyusun serta menahan berbagai jenis beban yang bekerja selama proses operasional [1]. Kekuatan struktur rangka merupakan faktor yang berpengaruh terhadap kestabilan, performa operasional, serta umur pakai mesin, sehingga perlu diperhatikan proses perancangannya [2]. Nilai tegangan dan regangan yang melebihi kemampuan material menyebabkan deformasi berlebihan pada struktur rangka sehingga berdampak pada penurunan kinerja dan meningkatnya potensi kegagalan konstruksi. Oleh karena itu, analisis besaran nilai *Stress* dan *Strain* perlu dilakukan pada tahap perancangan sebagai pedoman dalam menganalisis kekuatan dan aspek keamanan pada struktur mesin [3]. Seiring dengan berkembangnya teknologi analisis rekayasa, *Finite Element Method* (FEM) semakin luas diaplikasikan untuk mengevaluasi respons struktur terhadap pembebanan. Metode ini mampu memberikan prediksi distribusi *Stress* dan *Strain* secara lebih rinci, sehingga proses analisis menjadi lebih efektif dan efisien dibandingkan pengujian konvensional [4]. Mesin briket arang digunakan untuk mengubah bahan baku arang menjadi briket melalui proses pemadatan [5]. Hasil proses tersebut menghasilkan produk yang memiliki nilai guna lebih tinggi serta berpotensi meningkatkan nilai ekonomisnya sebagai sumber energi alternatif [6].

Selama proses operasi, rangka mesin menerima pembebanan yang berasal dari motor penggerak, sistem penekan, serta getaran mekanis yang terjadi secara kontinu,

sehingga menghasilkan respons struktur berupa tegangan (*Stress*) dan regangan (*Strain*) yang perlu dievaluasi untuk memastikan keamanan konstruksi [7]. Kondisi pembebanan yang terjadi selama pengoperasian mengharuskan rangka mesin memiliki kapasitas beban dan kekakuan struktural yang optimal guna menyangga keseluruhan komponen serta menjamin integritas mekanik sistem. Selain dipengaruhi oleh desain konstruksi, respons struktur terhadap *Stress* dan *Strain* juga ditentukan oleh material yang digunakan karena setiap material memiliki karakteristik mekanik yang berbeda. Penelitian ini menggunakan *Structural Steel* dan *Stainless Steel* sebagai material rangka mesin untuk dibandingkan karakteristiknya. Material *Structural Steel* dipilih karena menawarkan kekuatan mekanik yang tinggi, proses fabrikasi yang mudah, serta biaya yang ekonomis, sehingga umum dimanfaatkan sebagai bahan konstruksi rangka mesin. Sementara itu, *Stainless Steel* dipilih sebagai material pembanding karena memiliki ketahanan korosi yang lebih baik, sehingga lebih sesuai untuk diaplikasikan pada lingkungan dengan tingkat kelembapan tinggi maupun kondisi yang bersifat korosif. Perbedaan karakteristik mekanik yang dimiliki kedua material tersebut menyebabkan respons struktur terhadap pembebanan menjadi berbeda, sehingga analisis distribusi *Stress*, *Strain*, dan deformasi diperlukan untuk mengevaluasi kinerja masing-masing material [8].

Berbagai penelitian terdahulu telah menerapkan metode *Finite Element Method* (FEM) dalam menganalisis kekuatan struktur pada konstruksi mesin maupun komponen mekanik. Pada rangka mesin pencacah nilam, hasil analisis menunjukkan deformasi maksimum sebesar 0,151 mm, tegangan *von Mises* sebesar 23,16 MPa, dan *Safety Factor* minimum 8,94 pada

pembebanan 1000 N, sehingga struktur dinyatakan aman. Hasil berbeda diperoleh pada rangka mesin pres batako dengan variasi beban 700 – 1500 kg, yaitu deformasi maksimum 0,25 – 0,54 mm, tegangan maksimum 70,03 – 150,9 MPa, serta *Safety Factor* berkisar 2,96 – 1,37 [9]. Sementara itu, rangka mesin penggiling padi berbahan ASTM A500 Grade B menunjukkan deformasi maksimum yang jauh lebih kecil, yakni $4,3967 \times 10^{-7}$ m, dengan tegangan normal maksimum 15,550 kPa dan *Safety Factor* minimum 15, yang mengindikasikan kekakuan dan ketahanan struktur yang baik [10]. Hasil pengujian pada konstruksi rangka penyangga mesin cetak injeksi plastik vertikal pneumatik menunjukkan bahwa seluruh variasi desain hanya mengalami deformasi di bawah 1 mm, dengan capaian *Safety Factor* minimum sebesar 4,5. Adapun analisis rangka *belt conveyor* dengan variasi pembebanan 100 – 500 kg memperoleh *Safety Factor* sebesar 3,70 pada beban 100 kg dan 2,19 pada beban 500 kg, keduanya masih berada di atas batas aman minimum [12]. Perbandingan material juga dilakukan pada rangka motor trail, di mana pipa besi Sch 40 terbukti mampu menahan distribusi tegangan sekitar 12% lebih baik serta menghasilkan deformasi sekitar 90% lebih rendah dibandingkan Aluminium 6061 [7]. Pada kasus lain, simulasi *screw press* mesin pencetak briket berbahan Aluminium 6082-T6 menghasilkan tegangan maksimum 4,9 – 5,26 MPa, regangan maksimum $6,99 \times 10^{-5}$ hingga $7,47 \times 10^{-5}$, dan *Safety Factor* sekitar 15, sehingga struktur dinilai aman [13]. Studi-studi sebelumnya membuktikan pengaruh signifikan dari bentuk geometri, jenis material, dan variasi beban terhadap respons struktural konstruksi. Lebih lanjut, pendekatan *Finite Element Method* (FEM) terbukti andal dalam memprediksi profil tegangan, regangan, dan deformasi secara rinci [14].

Meskipun demikian, kajian yang membandingkan penggunaan material *Structural Steel* dan *Stainless Steel* pada konstruksi rangka mesin briket arang masih

belum banyak dilakukan. Selain itu, studi yang mengevaluasi respons struktur rangka mesin briket arang berdasarkan parameter *total deformation*, *Normal Stress*, dan *Normal Strain* menggunakan metode *Finite Element Method* (FEM) masih terbatas [13]. Pengujian eksperimental terhadap *Normal Stress* dan *Normal Strain* diperlukan sebagai tahap validasi untuk membandingkan hasil simulasi numerik dengan kondisi aktual, sehingga akurasi metode *Finite Element Method* (FEM) dalam memprediksi respons struktur dapat dievaluasi [10].

Penelitian ini bertujuan menginvestigasi distribusi *Normal Stress* dan *Normal Strain* pada rangka mesin briket arang berbahan *Structural Steel* dan *Stainless Steel* melalui pendekatan *Finite Element Method* (FEM), sekaligus mengevaluasi komparasi respons struktural kedua material akibat pembebanan [15]. Selain itu, validasi hasil simulasi *Normal Stress* dan *Normal Strain* dilakukan melalui pengujian eksperimental untuk menilai kesesuaian antara hasil analisis numerik dan kondisi aktual. Hasil validasi tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam mengevaluasi material yang paling sesuai untuk konstruksi rangka mesin briket arang [16].

Penelitian ini memiliki kebaruan yang terletak pada kajian komparatif yang secara khusus mengevaluasi respons struktur rangka mesin briket arang berbahan *Structural Steel* dan *Stainless Steel* berdasarkan tiga parameter struktural sekaligus, yaitu *Normal Stress*, *Normal Strain*, dan *Safety Factor*, dengan menerapkan *Finite Element Method* (FEM) yang divalidasi secara langsung melalui pengujian eksperimental [17]. Berbeda dengan penelitian-penelitian terdahulu yang umumnya hanya menganalisis satu jenis material atau berfokus pada konstruksi rangka mesin lain, seperti mesin pencacah nilam, mesin pres batako, mesin penggiling padi, penyangga mesin injeksi molding, maupun rangka *belt conveyor*, penelitian ini menghadirkan perbandingan langsung antara dua material dengan karakteristik

mekanik yang berbeda pada objek yang sama, yaitu rangka mesin briket arang, sekaligus memvalidasi hasil simulasi *Normal Stress* dan *Normal Strain* terhadap data eksperimen pada rentang pembebanan 9,5 – 36,5 N [18]. Kombinasi antara analisis komparatif material, evaluasi tiga parameter struktural secara simultan, dan validasi eksperimental inilah yang menjadi pembeda penelitian ini dibandingkan studi-studi sejenis sebelumnya.

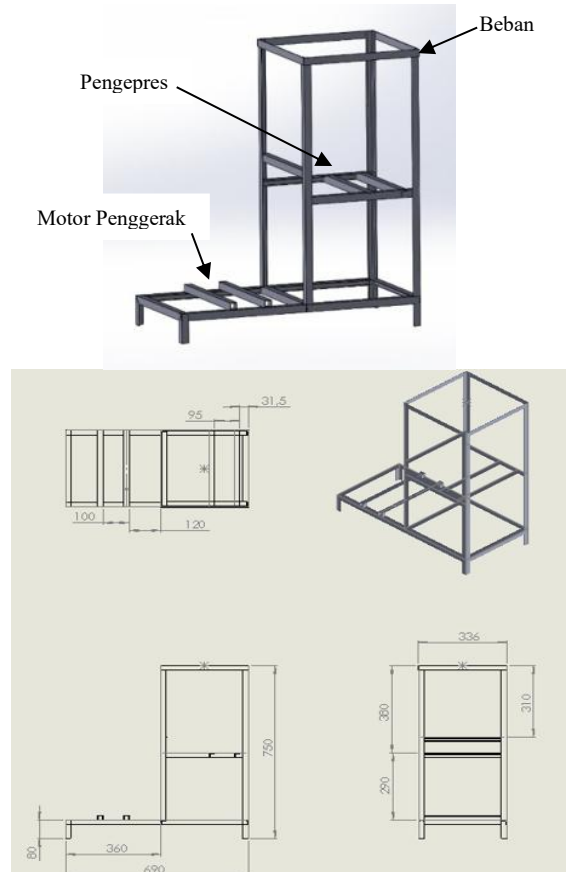
Metode Penelitian

Model Fisik Rangka

Rangka mesin briket arang dimodelkan secara tiga dimensi menggunakan perangkat lunak SolidWorks 2022. Model ini digunakan untuk menggambarkan konfigurasi geometri rangka sebelum dilakukan analisis numerik. Penyajian model dilakukan melalui tampilan depan, samping, atas, dan isometri sehingga bentuk dan susunan komponen penyusun rangka dapat diamati secara menyeluruh.

Rangka utama mengaplikasikan profil hollow persegi guna memperoleh kekakuan struktural yang memadai dalam memikul beban dinamis saat proses operasi berlangsung.

Selain sebagai struktur penyangga, rangka juga berfungsi menjaga kestabilan mesin ketika menerima pembebanan. Dimensi rangka dirancang dengan mempertimbangkan kebutuhan ruang pemasangan komponen dan kemampuan struktur dalam menerima beban kerja. Rangka memiliki tinggi 750 mm, panjang bagian bawah 690 mm, dan lebar 336 mm. Pada bagian dasar terdapatudukan mesin sepanjang 360 mm dengan tinggi kaki penyangga sebesar 86 mm. Penambahan batang pengaku horizontal dan vertikal dilakukan untuk meningkatkan kekakuan struktur sehingga *deformasi* yang terjadi dapat diminimalkan. Detail rancangan rangka mesin penggiling yang meliputi tampak atas, depan, samping, dan isometrik ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain dan dimensi rangka mesin briket arang

Material dan Sifat Mekanik

Material yang digunakan dalam penelitian ini ditentukan melalui menu Engineering Data. Material yang dipilih terdiri atas *Structural Steel* dan *Stainless Steel*, yang digunakan untuk menganalisis pengaruh perbedaan sifat mekanik terhadap kinerja struktur rangka mesin briket arang. Perbedaan karakteristik mekanik dari kedua material tersebut diperkirakan menghasilkan respons struktur yang berbeda ketika menerima kondisi pembebanan yang sama. Evaluasi terhadap kedua material dilakukan berdasarkan beberapa parameter sifat mekanik yang berpengaruh terhadap kekuatan dan kekakuan struktur, meliputi *densitas*, *modulus elastisitas*, *Rasio Poisson*, dan *yield strength*. Parameter mekanis dari setiap material yang digunakan dalam penelitian ini dicantumkan secara detail pada Tabel 1.

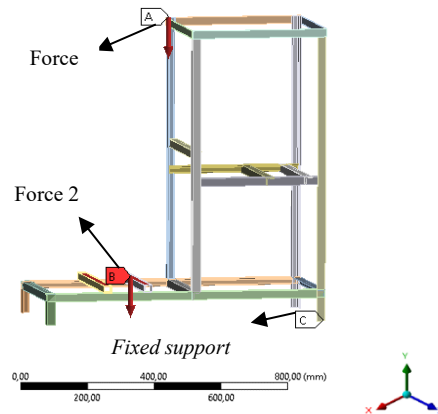
Tabel 1. Data sifat mekanik material

Parameter	Structural Steel	Stainless Steel	Satuan
Density	$7,85 \times 10^{-6}$	$7,75 \times 10^{-6}$	kg/mm ³
Young's Modulus	200.000	193.000	MPa
Poisson's Ratio	0,3	0,31	-
Tensile Yield Strength	250,00	207,00	MPa
Tensile Ultimate Strength	460,00	586,00	MPa

Studi Numerik

Domain Komputasi

Kondisi batas pada domain komputasi ditentukan dengan memberikan *fixed support* pada bagian kaki rangka yang berfungsi sebagai tumpuan, sehingga komponen translasi dan rotasi pada domain tersebut direstriksi secara penuh selama proses simulasi berlangsung. Pembebanan diterapkan pada titik yang merepresentasikan gaya motor penggerak sebesar 13,5 N, sedangkan gaya pengepres diberikan secara bertahap dengan variasi 9,5 N hingga 36,5 N pembebanan tersebut diterapkan sebagai gaya terpusat pada lokasi yang telah ditentukan sesuai konfigurasi rangka. Seluruh analisis dilakukan dalam kondisi statis dengan mengasumsikan material bersifat homogen, isotropik, dan berperilaku elastis linier. Selain itu, kontak antar komponen dianggap terikat sempurna (*bonded contact*) sehingga perpindahan gaya antar komponen dapat berlangsung tanpa terjadi pemisahan selama pembebanan. Kondisi batas tersebut digunakan untuk menghasilkan distribusi tegangan dan regangan yang mendekati kondisi operasional aktual sehingga respons struktur dapat dievaluasi secara representatif.

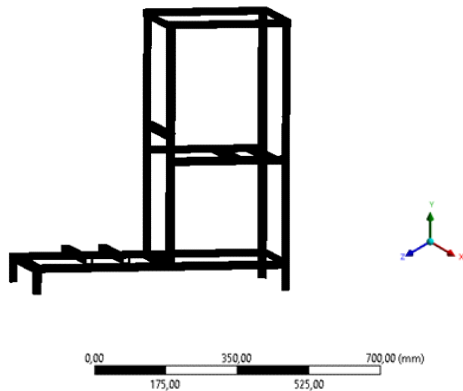


Gambar 2. Domain Komputasi

Meshing

Proses pembentukan *mesh* model rangka mesin briket arang dilakukan menggunakan metode *Finite Element Method* (FEM) dengan ukuran *mesh* dinyatakan berdasarkan jumlah elemen (*elements*). Variasi jumlah elemen yang digunakan dalam pengujian terdiri atas 348.226, 608.140, 927.924, dan 1.296.258 elemen. Pemurnian *mesh* difokuskan pada area sambungan rangka, titik pembebanan, dan daerah yang berpotensi mengalami konsentrasi tegangan sehingga distribusi *Normal Stress* dan *Normal Strain* dapat direpresentasikan secara lebih akurat. Kualitas *mesh* dianalisis menggunakan parameter *Orthogonal Quality* melalui fitur *Mesh Metrics*. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa sebagian besar elemen memiliki nilai *Orthogonal Quality* dengan nilai 0,96 (*very good*) dan nilai *mesh metric skewness* sebesar 0,22168 (*very good*), dan nilai *wall y+* = 1. Hasil tersebut menunjukkan bahwa *mesh* yang digunakan memiliki kualitas yang sangat baik sehingga mampu menghasilkan solusi numerik yang stabil dan representatif untuk analisis struktur. Kualitas *mesh* selanjutnya diverifikasi melalui uji independensi *mesh* (*mesh independence test*) pada kondisi pembebanan yang sama, yaitu gaya motor sebesar 13,5 N dan gaya pengepres sebesar 36,5 N. Berdasarkan hasil uji independensi, ukuran *Body Sizing* sebesar 1,25 mm dengan jumlah 1.296.258 elemen dipilih sebagai *mesh* yang digunakan pada tahap simulasi karena menghasilkan perubahan nilai

Normal Stress dan *Normal Strain* yang relatif kecil, solusi numerik yang stabil, serta menyeimbangkan akurasi simulasi dengan efisiensi waktu komputasi. Proses *meshing* pada model rangka mesin briket arang ditunjukkan pada Gambar 3.

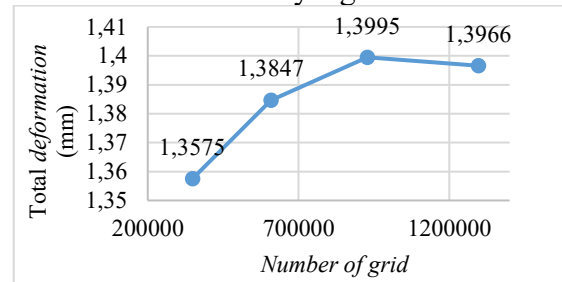


Gambar 3. Proses Struktur *Grid Tetrahedral*

Uji *Independent Grid*

Uji *independensi grid* dilakukan untuk mengkaji pengaruh jumlah elemen terhadap hasil simulasi sekaligus memastikan bahwa solusi numerik telah mencapai kondisi konvergen. Pada tahap ini, jumlah *grid* divariasikan mulai dari 348.226 hingga 1.296.258 elemen dengan pembebanan tetap sebesar 51,5 N. Parameter yang digunakan sebagai acuan evaluasi adalah nilai rata-rata *total deformation*. Berdasarkan Gambar 5, peningkatan jumlah *grid* menghasilkan kecenderungan nilai *total deformation* yang semakin mendekati kondisi konvergen. Nilai deformasi yang semula sebesar 1,3575 mm pada *grid* 348.226 meningkat menjadi 1,3995 mm pada *grid* 927.924. Selanjutnya, pada jumlah *grid* 1.296.258, nilai deformasi hanya mengalami perubahan kecil menjadi 1,3966 mm. Perbedaan nilai yang relatif kecil pada tahap akhir mengindikasikan bahwa hasil simulasi telah mencapai kestabilan dan tidak lagi dipengaruhi secara signifikan oleh penambahan jumlah elemen. Dengan mempertimbangkan tingkat konvergensi yang diperoleh, *grid* sebanyak 1.296.258 elemen dipilih sebagai *mesh* yang dipakai dalam penelitian ini. Pemilihan jumlah elemen tersebut dinilai mampu

menghasilkan solusi numerik yang lebih stabil dan meningkatkan tingkat keandalan hasil analisis struktur yang dilakukan.



Gambar 4. Grafik Uji *Grid*

Set Up Simulasi

Set up simulasi dilakukan menggunakan modul *Static Structural* dengan menerapkan metode *Finite Element Method* (FEM) untuk menganalisis kekuatan rangka mesin briket arang. Tahap awal dilakukan dengan menentukan jenis analisis *Static Structural*, kemudian menetapkan sifat material sesuai material yang diteliti, yaitu *Structural Steel* dan *Stainless Steel*. Setelah material ditentukan, model rangka didiskretisasi melalui proses *meshing* menggunakan fitur *Body Sizing* dengan ukuran elemen sebesar 1,25 mm untuk menghasilkan distribusi elemen yang seragam sehingga proses perhitungan numerik dapat dilakukan dengan tingkat ketelitian yang baik. Selanjutnya, kondisi batas (*boundary conditions*) diterapkan dengan memberikan *Fixed Support* pada bagian dudukan rangka sebagai tumpuan tetap, sedangkan *Force* diberikan pada titik pembebanan yang merepresentasikan kondisi kerja mesin. Pembebanan terdiri atas gaya motor sebesar 13,5 N dan variasi gaya pengepres sebesar 9,5 N, 18,5 N, 27,5 N, dan 36,5 N. Pengaturan tersebut dilakukan agar kondisi simulasi dapat merepresentasikan pembebanan yang diterima rangka selama proses operasi.

Setelah seluruh parameter simulasi ditetapkan, proses *solving* dijalankan menggunakan analisis struktur statik hingga seluruh perhitungan numerik selesai dan menghasilkan solusi yang stabil. Tahap *post-processing* kemudian dilakukan untuk memperoleh distribusi respons mekanik pada struktur berdasarkan parameter

Normal Stress, *Normal Strain*, dan *Safety Factor*. Distribusi tegangan pada rangka dianalisis menggunakan parameter *Normal Stress*, sementara besarnya respons regangan elastis material diukur melalui *Normal Strain*. Selanjutnya, margin keamanan struktur terhadap pembebanan operasional dinilai berdasarkan nilai *Safety Factor*. Hasil analisis dari ketiga parameter tersebut selanjutnya dibandingkan antara material *Structural Steel* dan *Stainless Steel* untuk menentukan material yang memiliki performa mekanis paling optimal sebagai rangka mesin briket arang, yang ditandai oleh tingkat kekuatan, kekakuan, dan margin keamanan yang unggul.

Validasi

Validasi dilakukan untuk mengetahui tingkat kesesuaian antara hasil simulasi numerik berdasarkan metode *Finite Element Method* (FEM) dengan hasil pengujian eksperimental pada rangka mesin briket arang. Parameter yang digunakan dalam proses validasi meliputi *Normal Stress* dan *Normal Strain* pada material *Structural Steel* dan *Stainless Steel* dengan variasi pembebanan sebesar 9,5 N hingga 36,5 N. Nilai *Normal Stress* eksperimen diperoleh dari hasil pengujian pembebanan pada rangka. Setiap variasi beban diberikan secara bertahap pada titik pembebanan yang sama dengan kondisi simulasi. Respons struktur yang diperoleh selama pengujian digunakan sebagai dasar untuk menentukan nilai tegangan normal eksperimen. Nilai tersebut kemudian dibandingkan dengan hasil simulasi numerik pada kondisi pembebanan yang sama.

Tabel 2. Data Validasi *Structural Steel*

Beban (N)	Total <i>Normal Stress</i> Eksperimen (MPa)	Total <i>Normal Stress</i> Numerik (MPa)	Error (%)
9,50	16,32	16,38	0,37
12,50	17,50	17,58	0,43
15,50	18,69	18,77	0,43
18,50	19,88	19,97	0,43
21,50	21,05	21,16	0,53
24,50	22,25	22,36	0,48
27,50	23,43	23,55	0,52
30,50	24,62	24,75	0,52
33,50	25,80	25,94	0,55
36,50	26,98	27,14	0,59

Tabel 3. Data Validasi *Stainless Steel*

Beban (N)	Total <i>Normal Stress</i> Eksperimen (MPa)	Total <i>Normal Stress</i> Numerik (MPa)	Error (%)
9,50	16,28	16,38	0,59
12,50	17,47	17,57	0,58
15,50	18,66	18,77	0,58
18,50	19,85	19,96	0,57
21,50	21,04	21,16	0,56
24,50	22,23	22,35	0,56
27,50	23,42	23,55	0,56
30,50	24,61	24,70	0,56
33,50	25,80	25,94	0,55
36,50	26,99	27,14	0,55

Berdasarkan Tabel 2 dan 3, nilai *Normal Stress* hasil simulasi menunjukkan kecenderungan yang sangat dekat dengan hasil pengujian eksperimental pada seluruh variasi pembebanan. Pada material *Structural Steel*, nilai *Normal Stress* meningkat dari 16,32 MPa menjadi 26,98 MPa pada hasil eksperimen, sedangkan hasil simulasi meningkat dari 16,38 MPa menjadi 27,138 MPa dengan nilai *error* sebesar 0,37 – 0,59%. Pada material *Stainless Steel*, nilai *Normal Stress* hasil eksperimen meningkat dari 16,28 MPa menjadi 26,99 MPa, sedangkan hasil simulasi meningkat dari 16,376 MPa menjadi 27,139 MPa dengan nilai *error* 0,55 – 0,59%. Nilai *error* relatif kecil memperlihatkan bahwa hasil simulasi sesuai terhadap hasil pengujian

eksperimental. Berdasarkan hasil validasi yang diperoleh, nilai maksimum *Normal Strain* pada hasil simulasi dan pengujian eksperimental menunjukkan kecenderungan yang sama, yaitu meningkat seiring bertambahnya pembebanan. Pada material *Structural Steel*, nilai regangan maksimum hasil simulasi meningkat dari $7,98 \times 10^{-5}$ pada pembebanan 9,5 N menjadi $1,32 \times 10^{-4}$ pada pembebanan 36,5 N, sedangkan hasil eksperimen meningkat dari $7,93 \times 10^{-5}$ menjadi $1,31 \times 10^{-4}$. Kondisi yang serupa juga terjadi pada material *Stainless Steel*, di mana nilai regangan maksimum hasil simulasi meningkat dari $8,25 \times 10^{-5}$ menjadi $1,37 \times 10^{-4}$, sedangkan hasil eksperimen meningkat dari $8,20 \times 10^{-5}$ menjadi $1,36 \times 10^{-4}$. Peningkatan regangan pada kedua jenis material memperlihatkan bahwa deformasi struktural rangka berbanding lurus dengan peningkatan pembebanan yang diberikan. Hasil validasi juga menunjukkan bahwa nilai *error* pada parameter *Normal Strain* relatif kecil. Pada material *Structural Steel*, nilai *error* berada pada kisaran 0,47 – 1,17%, sedangkan pada material *Stainless Steel* berada pada kisaran 0,66 – 0,79%. Persentase *error* yang relatif kecil mengindikasikan bahwa hasil simulasi terverifikasi valid dan presisi dalam merepresentasikan hasil pengujian eksperimental. Dengan demikian, model numerik menggunakan metode *Finite Element Method* (FEM) mampu merepresentasikan *respons* regangan struktural rangka mesin briket arang dengan tingkat akurasi yang baik.

Reduksi Data Numerik

Data hasil simulasi numerik dan pengujian aktual dianalisis secara komparatif untuk mengetahui karakteristik kekuatan struktural rangka mesin briket arang pada material *Structural Steel* dan *Stainless Steel*. Analisis dilakukan berdasarkan parameter *Normal Stress*, *normal elastic Strain*, dan *Safety Factor* pada setiap variasi pembebanan yang diberikan. Hasil simulasi digunakan untuk mengetahui *respons* struktural terhadap peningkatan pembebanan,

meliputi tingkat distribusi tegangan, regangan elastis, serta tingkat keamanan struktural pada kedua material penelitian.

Normal Stress (Tegangan Normal) dihitung menggunakan persamaan 1:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Normal Strain (Regangan Normal) dihitung menggunakan persamaan 2:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2)$$

Perhitungan *Safety Factor* dilakukan menggunakan persamaan 3:

$$SF = \frac{\sigma_y}{\sigma_{max}} \quad (3)$$

Hasil dan Pembahasan

Pengaruh Pembebanan Terhadap Respons Struktural

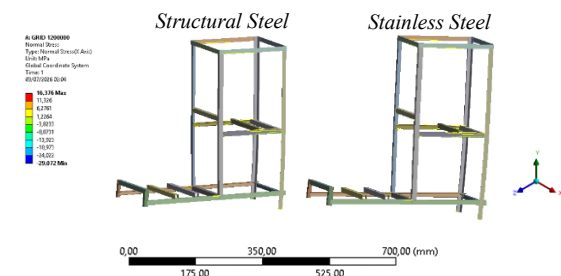
Perilaku mekanis *Structural Steel* dan *Stainless Steel* dievaluasi melalui pendekatan *Finite Element Method* (FEM) guna memetakan *respons* struktural rangka mesin briket arang terhadap variasi tingkat pembebanan. Simulasi dilakukan menggunakan kondisi geometri, tumpuan (*fixed support*), serta pembebanan yang sama pada kedua material sehingga *respons* yang diperoleh mencerminkan pengaruh karakteristik mekanik masing-masing material terhadap kemampuan struktural dalam menerima beban. Variasi pembebanan terdiri atas gaya motor penggerak sebesar 13,5 N dan beban pengepres sebesar 9,5 – 36,5 N, yang diterapkan sesuai dengan kondisi kerja aktual mesin briket arang.

Hasil simulasi mengonfirmasi bahwa variasi besaran beban berdampak pada dinamika tegangan, regangan, dan *Safety Factor* struktural rangka untuk kedua material yang diuji. Analisis parameter *Normal Stress*, *Normal Strain*, dan *Safety Factor* dilakukan untuk menentukan batas keandalan mekanis rangka saat menerima beban operasional. Analisis diawali dengan pembahasan *Normal Stress* sebagai parameter utama untuk mengevaluasi

distribusi tegangan yang terjadi pada struktur akibat variasi pembebanan, kemudian dilanjutkan dengan pembahasan *Normal Strain* dan *Safety Factor* guna memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai respons mekanik rangka.

Analisis Normal Stress

Berdasarkan variasi pembebanan yang telah diterapkan, analisis *Normal Stress* dilakukan untuk mengevaluasi distribusi tegangan pada rangka mesin briket arang dengan *Finite Element Method* (FEM). Melalui analisis ini, perilaku mekanis struktur terhadap peningkatan pembebanan dievaluasi untuk mengidentifikasi lokasi-lokasi rangka yang menanggung tegangan tertinggi selama masa operasi. Dengan menggunakan kondisi geometri, tumpuan, dan pembebanan yang sama pada kedua material, perbedaan respons yang diperoleh dapat digunakan sebagai dasar dalam membandingkan kemampuan *Structural Steel* dan *Stainless Steel* dalam menahan beban kerja.

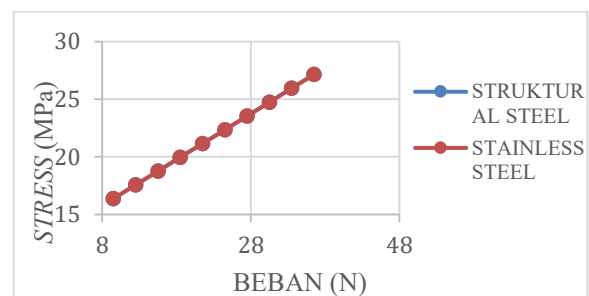


Gambar 5. Kontur *Normal Stress* Material *Structural Steel* dan *Stainless Steel*

Berdasarkan Gambar 5, distribusi *Normal Stress* pada material *Structural Steel* dan *Stainless Steel* menunjukkan pola penyebaran tegangan yang relatif sama. Konsentrasi tegangan tertinggi terlihat pada area sambungan rangka yang berada di sekitar titik pembebanan, sedangkan bagian yang berdekatan dengan *fixed support* mengalami tegangan yang lebih rendah. Kondisi ini menunjukkan bahwa jalur perpindahan beban dari titik pembebanan menuju tumpuan menyebabkan sambungan rangka menjadi bagian yang menerima akumulasi tegangan terbesar. Pola distribusi

tersebut mengindikasikan bahwa geometri rangka, posisi pembebanan, dan kondisi batas memiliki pengaruh yang lebih dominan terhadap penyebaran tegangan dibandingkan karakteristik material yang digunakan.

Seiring dengan meningkatnya pembebanan, area yang mengalami konsentrasi tegangan juga semakin meluas sehingga menunjukkan bahwa struktur memberikan respons yang proporsional terhadap beban yang diterima. Meskipun kedua material memiliki karakteristik mekanik yang berbeda, pola distribusi tegangan yang dihasilkan tetap menunjukkan kecenderungan yang hampir identik. Oleh karena itu, guna memperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai pengaruh peningkatan pembebanan terhadap besarnya nilai *Normal Stress*, diperlukan analisis secara kuantitatif sehingga perubahan tegangan pada masing-masing material dapat dibandingkan secara lebih komprehensif.



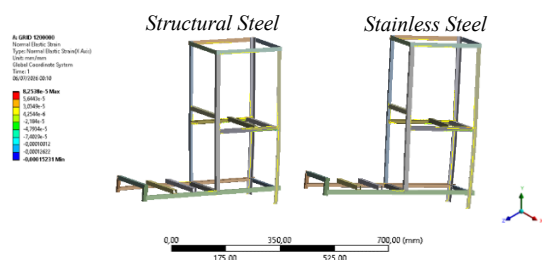
Gambar 6. Grafik *Numerik Normal Stress*

Berdasarkan hasil simulasi *Numerik* pada Gambar 6, peningkatan pembebanan dari 9,5 N hingga 36,5 N menyebabkan nilai *Normal Stress* pada material *Structural Steel* dan *Stainless Steel* meningkat secara bertahap. Pada pembebanan maksimum, tegangan yang dihasilkan mencapai sekitar 27 MPa pada kedua material, dengan selisih yang sangat kecil hingga hampir tidak terlihat. Kondisi tersebut melitinkan bahwa semakin besar gaya yang diterima rangka, semakin besar pula tegangan pada struktur, sehingga respons struktur masih berada pada daerah elastis. Perbedaan nilai tegangan yang relatif kecil mengindikasikan bahwa

distribusi tegangan lebih dipengaruhi oleh konfigurasi geometri rangka, posisi pembebanan, dan kondisi tumpuan dibandingkan jenis material yang digunakan. Selain itu, tingkat tegangan maksimum hasil analisis terbukti jauh lebih rendah dibandingkan nilai *yield strength* dari *Structural Steel* (250 MPa) maupun *Stainless Steel* (207 MPa), sehingga struktur tetap mampu menahan pembebanan tanpa mengalami deformasi plastis dan dinyatakan aman untuk kondisi pembebanan yang dianalisis.

Analisis *Normal Strain*

Analisis *Normal Strain* bertujuan mengukur respons regangan elastis material rangka mesin briket arang yang dipicu oleh variasi tingkat pembebanan. Parameter ini digunakan untuk mengetahui kemampuan material dalam mempertahankan kekakuan struktur selama menerima beban kerja. Perhitungan *Normal Strain* dilakukan dengan metode *Finite Element Method* (FEM) dengan kondisi geometri, tumpuan, dan pembebanan yang sama pada material *Structural Steel* dan *Stainless Steel*, sehingga perbedaan respons yang diperoleh dipengaruhi oleh karakteristik mekanik masing-masing material.

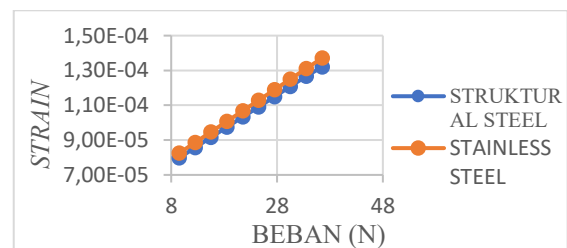


Gambar 7. Kontur *Normal Strain* Material *Structural Steel* dan Material *Stainless Steel*

Berdasarkan Gambar 7, kontur *Normal Strain* menunjukkan bahwa kedua material mengalami regangan elastis sebagai *respons* terhadap pembebanan yang diberikan. Distribusi regangan pada struktur memperlihatkan bahwa bagian yang menerima pengaruh pembebanan lebih besar menunjukkan nilai regangan yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan bagian lainnya. Kondisi ini

mengindikasikan bahwa tingkat perubahan bentuk material belum melampaui batas elastis, yang menjamin terjadinya pemulihan geometris secara utuh setelah beban kerja dilepaskan.

Pola distribusi *Normal Strain* pada kedua material menunjukkan bahwa respons regangan dipengaruhi oleh karakteristik mekanik material serta distribusi beban pada struktur. Selama nilai regangan masih berada pada daerah elastis, rangka tetap mampu mempertahankan kestabilan dimensinya dan belum menunjukkan indikasi terjadinya deformasi permanen. Oleh karena itu, analisis *Normal Strain* menjadi penting untuk mengevaluasi kemampuan struktur dalam mempertahankan kekakuan dan stabilitas selama menerima variasi pembebanan.



Gambar 8. Grafik Numerik *Normal Strain*

Pada pembebanan maksimum, nilai regangan berada pada kisaran $1,36 \times 10^{-4}$ hingga $1,41 \times 10^{-4}$, dengan *Stainless Steel* menghasilkan regangan sedikit lebih besar dibandingkan *Structural Steel*. Perbedaan tersebut mengindikasikan bahwa *Structural Steel* menunjukkan tingkat kekakuan yang lebih baik dalam menahan deformasi elastis. Hal ini dipengaruhi oleh nilai modulus elastisitas *Structural Steel* yang lebih tinggi sehingga perubahan bentuk yang terjadi selama pembebanan relatif lebih kecil. Meskipun terjadi deformasi, tingkat regangan kedua material terbukti belum melampaui batas elastis, yang mengindikasikan bahwa struktur dapat meregenerasi bentuk awalnya setelah beban kerja dilepaskan

Safety Factor Struktur

Tingkat keandalan serta keamanan struktur rangka mesin briket arang terhadap variasi beban kerja dinilai melalui analisis *Safety Factor*. Parameter ini mengkuantifikasi batas ketahanan struktur terhadap kegagalan akibat pembebanan, yang sekaligus menjadi kriteria penentu dalam validasi kelayakan material rangka mesin. Perhitungan *Safety Factor* dilakukan dengan metode *Finite Element Method* (FEM) berdasarkan distribusi tegangan yang diperoleh dari hasil simulasi.

Tabel 4. Hasil Perhitungan *Safety Factor*

Material	Yield Strength (MPa)	Tegangan Maksimum (MPa)	Safety factor
<i>Stainless Steel</i>	207	27,139	7,63
<i>Structural Steel</i>	250	27,138	9,21

Hasil analisis mengonfirmasi bahwa nilai *Safety Factor* kedua material secara konsisten melampaui ambang batas aman, yang menjamin kapasitas rangka dalam memikul beban kerja tanpa memicu kegagalan struktural. *Structural Steel* menghasilkan nilai *Safety Factor* sebesar 9,21, sedangkan *Stainless Steel* sebesar 7,63. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa *Structural Steel* memiliki cadangan kekuatan yang lebih besar dibandingkan *Stainless Steel*. Peningkatan nilai *Safety Factor* mencerminkan kapabilitas struktur yang lebih baik dalam mengantisipasi risiko kegagalan akibat beban kerja yang diterima. Berdasarkan hasil analisis *Normal Stress*, *Normal Strain*, dan *Safety Factor*, *Structural Steel* menunjukkan performa yang lebih baik sebagai material rangka mesin briket arang. Meskipun distribusi *Normal Stress* pada kedua material relatif serupa, *Structural Steel* menghasilkan *Normal Strain* rendah serta *Safety Factor* yang lebih tinggi. Hasil analisis mengindikasikan bahwa *Structural Steel* menunjukkan respons kekakuan struktural yang lebih optimal, deformasi elastis yang lebih kecil,

dan tingkat keamanan struktur yang lebih tinggi dibandingkan *Stainless Steel*. Oleh karena itu, *Structural Steel* lebih direkomendasikan sebagai material rangka mesin briket arang untuk mendukung kestabilan dan keamanan struktur selama proses operasi.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis kekuatan rangka mesin briket arang melalui penggunaan metode *Finite Element Method* (FEM), dapat disimpulkan bahwa peningkatan pembebanan dari 9,5 N hingga 36,5 N menyebabkan kenaikan nilai *Normal Stress* dan *Normal Strain* secara bertahap pada material *Structural Steel* maupun *Stainless Steel*, dengan nilai *Normal Stress* maksimum yang relatif sama antara kedua material (27,138 MPa dan 27,139 MPa) karena lebih dipengaruhi oleh geometri struktur dan kondisi pembebanan, sedangkan nilai *Normal Strain* maksimum *Stainless Steel* ($1,37 \times 10^{-4}$) lebih tinggi dibandingkan *Structural Steel* ($1,32 \times 10^{-4}$) akibat modulus elastisitas yang lebih rendah; hasil validasi menunjukkan tingkat kesesuaian yang sangat baik antara simulasi numerik dan pengujian eksperimen, dengan persentase *error Normal Stress* sebesar 0,37 – 0,59% untuk *Structural Steel* dan 0,55 – 0,59% untuk *Stainless Steel*, serta *error Normal Strain* sebesar 0,47 – 1,17% dan 0,66 – 0,79%, yang membuktikan bahwa metode FEM mampu memprediksi respons struktur dengan akurasi yang baik sehingga layak digunakan pada tahap perancangan dan evaluasi *Safety Factor* menunjukkan bahwa kedua material berada pada kondisi aman terhadap pembebanan yang diberikan, dengan nilai sebesar 9,21 untuk *Structural Steel* dan 7,63 untuk *Stainless Steel*. Sehingga *Structural Steel* direkomendasikan sebagai material yang lebih sesuai untuk konstruksi rangka mesin briket arang pada kondisi pembebanan yang ditinjau, hasil studi ini diproyeksikan dapat berfungsi sebagai rujukan ilmiah dalam merekayasa serta mengevaluasi konfigurasi rangka mesin sejenis pada penelitian selanjutnya.

Referensi

- [1] N. Endriatno, La Ode Ahmad Barata, and Salimin, "Analisis Kekuatan Rangka Mesin Pencacah Nilam dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga," *Piston-JT*, vol. 9, no. 2, pp. 56–64, Dec. 2024, doi: <https://doi.org/10.55679/pistonjt.v9i2.74>
- [2] R. D. E. Putra and A. Nuramal, "Design and thermo-mechanical analysis of a food packaging machine using ansys simulation," *Seminar Nasional Tahunan - Teknik Mesin*, vol. 23, no. 1, pp. 17–25, Mar. 2026, doi: <https://doi.org/10.71452/3qk4x982>
- [3] B. T. Samudra, A. Irwan, and D. A. Ritonga, "Analisis Kegagalan Rantai Timing Sepeda Motor Bebek Akibat Beban Tarik dengan Metode Tensile Test," *Blend Sains J. Teknik*, vol. 1, no. 4, pp. 316–325, Mar. 2023, doi: <https://doi.org/10.56211/blendsains.v1i4.239>
- [4] G. P. Firmansyah, F. I. Abdi, A. N. F. Ganda, T. Davareza, and D. D. Mubarak, "Studi Komparatif Kekuatan Struktural Dua Desain Poros Gandar Kereta Api Menggunakan FEA (ANSYS Workbench)," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 11, Apr. 2026, doi: <https://doi.org/10.26740/jrm.v11i01.7399>
- [5] R. A. Yunanto, M. Safi'i, and H. Ma'mun, "Studi Numerik Kekuatan Rangka Mesin Briket Arang Menggunakan Finite Element Method (FEM) dengan Variasi Jenis Material dan Pembebanan," vol. 5, 2026, doi: <https://doi.org/10.69688/juksit.v5i1.205>
- [6] N. Cholis, D. Montreano, and M. A. Lukmana, "OPTIMASI PRODUK MESIN PRESS PENCETAK BRIKETARANG SEKAM PADI," 2021, doi: <https://doi.org/10.37277/stch.v3i12.1137>
- [7] R. Febritasari *et al.*, "Analisis Distribusi Tegangan dan Deformasi Pada Rangka Motor Trail dengan Metode Elemen Hingga," *seniati*, vol. 7, no. 1, pp. 142–148, Dec. 2023, doi: <https://doi.org/10.36040/seniati.v7i1.8051>
- [8] W. Hilmansyah, D. Puspitasari, and T. Davareza, "Analisis Kekuatan Lifting Lug pada Proses Dismantling Chimney Berbasis Finite Element Analysis," *Jurnal Rekayasa Mesin*, 2025, doi: <https://doi.org/10.26740/jrm.v10i03.7417>
- [9] A. Pratama and D. Agusman, "Desain dan Analisis Kekuatan Rangka Mesin Pres Batako Menggunakan Finite Element Method," *ASIIMETRIK*, pp. 221–230, Jul. 2023, doi: [10.35814/asiimetrik.v5i2.4658](https://doi.org/10.35814/asiimetrik.v5i2.4658)
- [10] D. I. Tsamroh, A. D. Putra, D. Puspitasari, C. Yazirin, and I. N. Sasongko, "ANALISIS KEKUATAN RANGKA MESIN PENGILING PADI BERBAHAN ASTM A500 MENGGUNAKAN SIMULASI FEM," Jun. 2025, doi: <https://doi.org/10.33474/rme.v5i1.23494>
- [11] A. Pratama and D. Agusman, "Analysis of Frame Construction Strength in Belt Conveyor Design Using Ansys Workbench," *Sainteks*, vol. 5, no. 1, pp. 19–28, Mar. 2023, doi: [10.37577/sainteks.v5i1.527](https://doi.org/10.37577/sainteks.v5i1.527)
- [12] I. A. Ramadhan, A. H. Pane, and I. Zahar, "Desain dan Simulasi Screw Press Mesin Pencetak Briket," *IRA J.Tek. Mesin Dan Apl*, vol. 4, no. 3, pp. 208–214, Dec. 2025, doi: [10.56862/irajtma.v4i3.350](https://doi.org/10.56862/irajtma.v4i3.350)
- [13] Y. N. Rohmat, A. Kusmayadi, F. Sugara, and N. Agustin, "Design and performance test of a water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and coconut shell charcoal briquette mixing machine". doi: [http://dx.doi.org/10.30811/jpl.v24i1.7712](https://dx.doi.org/10.30811/jpl.v24i1.7712)
- [14] A. Pratama and D. Agusman, "ANALYSIS KEKUATAN KONTRUKSI RANGKA PADA PERANCANGAN DESIGN BELT CONVEYOR MENGGUNAKAN ANSYS WORKBENCH," vol. 5, no. 1, 2023, doi: [http://dx.doi.org/10.37577/sainteks.v5i1.527](https://dx.doi.org/10.37577/sainteks.v5i1.527)
- [15] H. Yuvendius and E. Zondra, "Design Dan Analisis Mesin Penghalus Bahan Baku Briket," vol. 10, no. 1, 2025, doi: <https://doi.org/10.31849/xyez7z36>
- [16] S. D. Priyambada, F. I. Abdi, A. M. Sakti, and N. F. Ganda, "Rancang Bangun Mesin Pembuat Briket Arang Sabut Kelapa Semi Otomatis," *Jurnal Rekayasa Mesin*.

doi: <https://doi.org/10.26740/jrm.v9i03.65991>

- [17] N. B. Sriyanto, D. A. Munawwaroh, A. Hidayat, and D. A. Baskara, “Analisis Uji Kinerja Mesin Pencetak Briket Serbuk Kayu Gergajian dengan Sistem Pneumatik,” 2023.
doi: <https://doi.org/10.32497/jmeat.v1i2.4883>