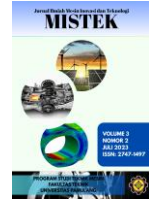




JURNAL TEKNIK MESIN MISTEK MESIN INOVASI DAN TEKNOLOGI



ANALISIS PERANCANGAN KEKUATAN SPINDEL PADA MESIN UJI IMPACT CHARPY MENGGUNAKAN SIMULASI *SOLIDWORKS* DENGAN MATERIAL PIPA SS316

Adi Prasetyo¹, Edi Tri Astuti², Mohamad Sjahmanto³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pamulang, Jl. Surya Kencana No.1, Tangerang Selatan, Indonesia

E-mail : adi9744858@gmail.com¹

Masuk : 23 Mei 2023

Direvisi : 8 Juni 2023

Disetujui : 28 Juli 2023

Abstrak: Alat uji *impact* berfungsi untuk mengukur ketangguhan logam terhadap beban kejut pada berbagai kondisi suhu dan pembebanan mendadak, serta untuk mengamati faktor-faktor yang memengaruhi sifat material. Alat uji *impact* terdiri atas beberapa komponen penting, di antaranya pendulum, spindel, poros pengayun, *bearing*, pisau pemukul, badan alat uji *impact*, dan dudukan benda uji. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis kekuatan konstruksi spindel dengan tiga variasi beban 25 kg, 50 kg, dan 100 kg menggunakan material pipa SS316 melalui simulasi *SolidWorks 2020* serta perhitungan teoritis. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai tegangan pada beban 25 kg sebesar 22,10 N/m², beban 50 kg sebesar 44,21 N/m², dan beban 100 kg sebesar 88,42 N/m². Sedangkan hasil perhitungan teoritis menunjukkan nilai tegangan pada beban 25 kg sebesar 24,00 N/m², beban 50 kg sebesar 48,01 N/m², dan beban 100 kg sebesar 96,03 N/m². Berdasarkan hasil simulasi dan perhitungan teoritis, Material SS316 dinyatakan aman karena nilai tegangan yang terjadi masih lebih rendah dibandingkan kekuatan maksimumnya, yaitu 172,3 N/m². Tingkat kesesuaian antara hasil simulasi dan hasil perhitungan teoritis mencapai 8%. Hasil simulasi *safety factor* untuk tiga variasi beban menunjukkan nilai masing-masing sebesar 8 pada beban 25 kg, 4 pada beban 50 kg, dan 2 pada beban 100 kg. Nilai *safety factor* hasil simulasi untuk ketiga variasi beban berturut-turut adalah 8, 4, dan 2, sedangkan nilai teoritisnya masing-masing 7,1, 3,58, dan 1,79. Hasil simulasi dan perhitungan teoritis menunjukkan kondisi aman tanpa adanya kerusakan, dengan rata-rata korelasi 12%.

Kata Kunci: Spindel, *SolidWorks 2020*, Ketahanan, Tegangan, Defleksi.

Abstract: The impact testing machine functions to measure the toughness of a metal against shock loads under various temperature conditions and sudden loading, as well as to observe the factors that influence the material properties. The impact testing machine consists of several main components, including the pendulum, spindle, swing shaft, bearing, striker blade, impact tester body, and specimen holder. The purpose of this study is to analyze the strength of the spindle construction with three load variations of 25 kg, 50 kg, and 100 kg using SS316 pipe material through *SolidWorks 2020* simulation and theoretical calculation. The simulation results show that the stress values at loads of 25 kg, 50 kg, and 100 kg are 22.10 N/m², 44.21 N/m², and 88.42 N/m², respectively. Meanwhile, the theoretical calculations show stress values of 24.00 N/m², 48.01 N/m², and 96.03 N/m² for the same loads. Based on the simulation and theoretical results, the SS316 material is declared safe because the obtained stress values are lower than its maximum strength, which is 172.3 N/m². The level of correlation between simulation and theoretical results reaches 8%. The simulation results for the safety factor under the three load variations are 8 for 25 kg, 4 for 50 kg, and 2 for 100 kg. The theoretical safety factor values are 7.1, 3.58, and 1.79, respectively. Both the simulation and theoretical analyses indicate a safe condition without any damage, with an average correlation of 12%.

Keywords: Spindle, *SolidWorks 2020*, Durability, Stress, Deflection.

PENDAHULUAN

Dalam era globalisasi saat ini, tingkat persaingan dalam pengembangan alat kerja konstruksi semakin meningkat [1]. Agar dapat bertahan dan berkembang menjadi alat kerja yang unggul, setiap rancangan harus memiliki kekuatan, keandalan, dan kemampuan adaptasi terhadap berbagai tantangan di lapangan. Banyak faktor yang menjadi penentu keberhasilan dalam menghadapi persaingan tersebut. Baik inovasi yang kompetitif maupun penerapan sistem teknologi yang

canggih mendorong perusahaan untuk terus merancang penemuan baru yang dapat meningkatkan efisiensi dan kualitas dalam bidang pembangunan dan konstruksi. Perkembangan ini menuntut setiap komponen mesin untuk memiliki performa yang optimal, terutama pada bagian yang berperan penting dalam proses kerja seperti spindel dan sistem transmisi daya [2].

Selain itu, kemajuan dalam bidang permesinan modern juga didukung oleh penelitian-penelitian sebelumnya, seperti perancangan alat uji *impact* dan pengembangan sistem hidrolik yang berfungsi untuk mengurangi beban kerja operator [3] serta meningkatkan keselamatan kerja [4]. Dengan demikian, peningkatan daya saing dalam industri konstruksi tidak hanya bergantung pada aspek desain dan inovasi, tetapi juga pada ketepatan analisis kekuatan material dan elemen mesin yang digunakan [5].

Dalam proses pengujian ketangguhan material menggunakan mesin uji *impact Charpy*, spindel berperan penting sebagai poros penggerak pendulum yang menerima gaya kejut saat pengujian berlangsung. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis terhadap kekuatan spindel agar diketahui kemampuan material dalam menahan beban tanpa mengalami deformasi atau kerusakan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai tegangan pada konstruksi spindel yang berfungsi sebagai engkol pada alat uji *impact Charpy* menggunakan analisis simulasi *SolidWorks* dan perhitungan teoritis. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menentukan nilai *safety factor* material spindel terhadap kekuatan beban yang diberikan melalui kedua metode tersebut. Selanjutnya, dilakukan perbandingan antara hasil simulasi dan hasil perhitungan teoritis guna mengetahui persentase tingkat kesesuaian atau korelasi antara keduanya.

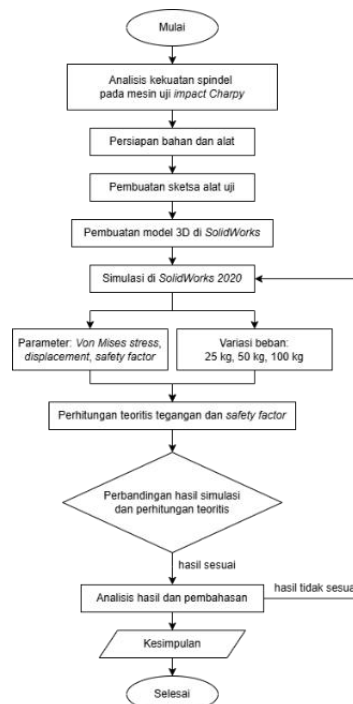
METODOLOGI

Penelitian ini termasuk dalam jenis penelitian eksperimen berbasis simulasi komputer, yang bertujuan untuk menganalisis kekuatan dan ketahanan spindel sebagai engkol pada mesin uji *impact Charpy*. Pendekatan yang digunakan adalah analisis numerik dengan bantuan perangkat lunak *SolidWorks Simulation* untuk memperoleh nilai tegangan (*von mises*), deformasi, dan *safety factor* pada material SS316 terhadap tiga variasi pembebanan, yaitu 25 kg, 50 kg, dan 100 kg.

Material yang digunakan untuk komponen spindel adalah pipa SS316 karena memiliki ketahanan korosi dan kekuatan mekanik yang baik [6]. Pembahasan dalam penelitian ini difokuskan pada analisis bagian spindel untuk mengetahui kekuatan dan ketahanannya terhadap pembebanan yang terjadi selama proses pengujian.

Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian berikut menjelaskan tahapan proses mulai dari perancangan model spindel, penentuan material, pelaksanaan simulasi menggunakan *SolidWorks 2020*, hingga tahap perhitungan teoritis dan analisis hasil yang ditunjukkan pada Gambar 1.



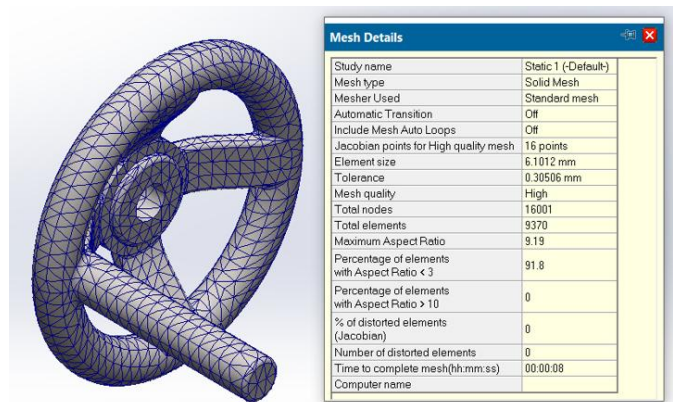
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Lokasi Penelitian

Penelitian atau perancangan spindel sebagai engkol pada alat uji *impact Charpy* ini dilakukan di Laboratorium Fenomena Dasar Mesin, Universitas Pamulang, yang beralamat di Jl. Witana Harja No. 18, Pamulang Barat, Kecamatan Pamulang, Kota Tangerang Selatan, Banten. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada ketersediaan fasilitas dan peralatan laboratorium yang memadai untuk mendukung kegiatan perancangan, simulasi, serta analisis komponen mesin yang dilakukan dalam penelitian ini.

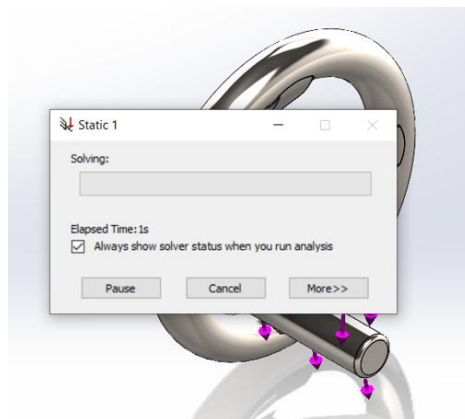
Mesh dan Run Simulation

Proses *meshing* dilakukan untuk mengetahui pembagian diameter *nodes* dan *elements* pada model spindel engkol. Tahapan ini bertujuan untuk menghasilkan elemen-elemen kecil yang merepresentasikan bentuk geometri komponen secara akurat sehingga analisis tegangan dapat dilakukan dengan lebih presisi. Berdasarkan hasil *meshing* default pada perangkat lunak *SolidWorks*, diperoleh jumlah *nodes* sebanyak 16.001 dan jumlah *elements* sebanyak 9.370. Tampilan hasil *mesh view* pada model spindel dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Mesh Spindel (Solidworks)

Setelah proses *meshing* dan penentuan *boundary condition* selesai, tahap selanjutnya adalah menjalankan simulasi melalui fitur Run Simulation pada *SolidWorks*. Proses ini berfungsi untuk menganalisis respon tegangan, deformasi, serta *safety factor* pada spindel terhadap beban yang telah ditentukan. Tampilan proses *run simulation* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Run Simulation Pengait (Solidworks)

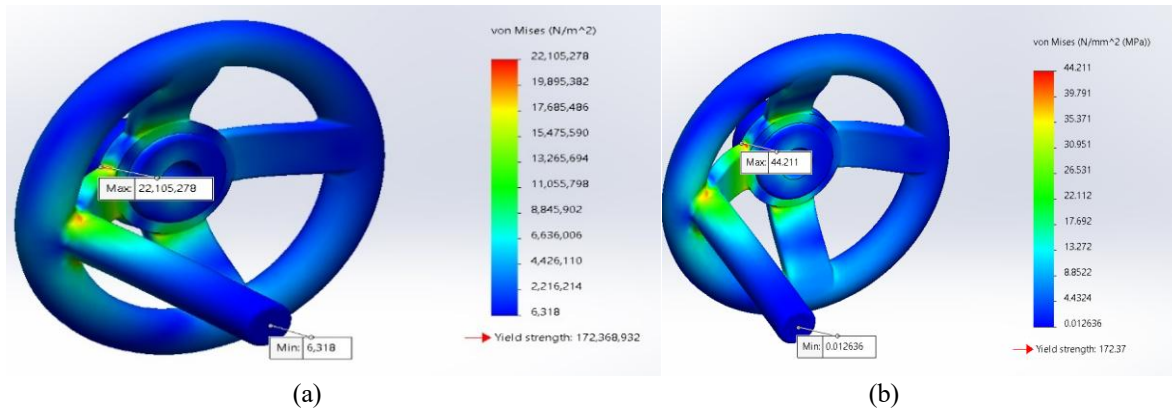
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis Spindel

Pada tahap analisis ini digunakan perangkat lunak *SolidWorks 2020* untuk mengetahui kondisi dan luasan penampang spindel saat menerima beban maksimum F_{max} . Analisis difokuskan pada bagian engkol spindel yang

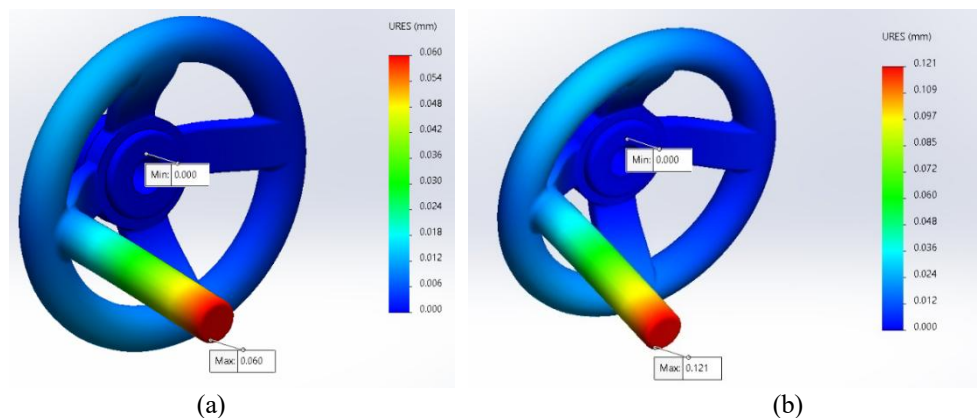
mengalami gaya terbesar selama proses pengujian. Sementara itu, bagian tepi atau area lain di luar titik beban utama dianggap berada pada kondisi maksimum dan tidak menjadi pusat fokus analisis.

Tegangan Von Mises merupakan nilai tegangan ekuivalen yang digunakan untuk menentukan potensi kegagalan material akibat energi distorsi. Apabila nilai tegangan Von Mises melebihi batas tegangan luluh material, maka komponen berpotensi mengalami kerusakan atau kegagalan struktural. Hasil simulasi yang dapat dilihat pada Gambar 4 menunjukkan bahwa pada beban 25 kg, tegangan maksimum yang terjadi pada spindel sebesar 22,105 N/m², sedangkan pada beban 50 kg nilai tegangan maksimum meningkat menjadi 44,21 N/m². Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan beban berbanding lurus dengan kenaikan nilai tegangan Von Mises pada material SS316, sehingga semakin besar beban yang diterapkan, semakin tinggi pula tegangan yang terjadi pada komponen spindel.



Gambar 4. Hasil Analisis Tegangan Von Mises Spindel pada (a) Beban 25 kg dan (b) Beban 50 kg

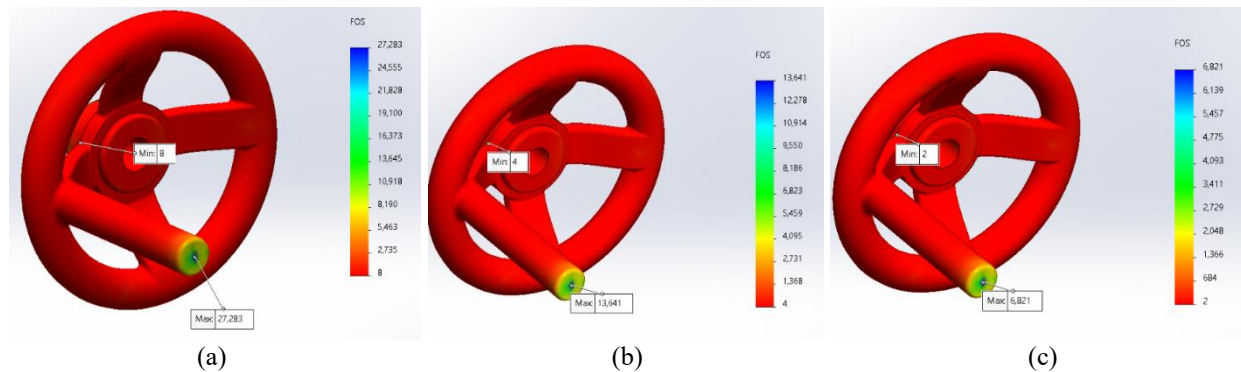
Displacement atau perpindahan merupakan besaran perubahan bentuk yang terjadi akibat pembebanan pada titik tertentu. Hasil simulasi *displacement* yang dapat dilihat pada Gambar 5 menunjukkan bahwa pada beban 25 kg terjadi perubahan bentuk sebesar 0,060 mm, pada beban 50 kg sebesar 0,121 mm, dan pada beban 100 kg sebesar 0,242 mm. Nilai tersebut menggambarkan bahwa deformasi spindel meningkat seiring bertambahnya beban yang diberikan, namun seluruh nilai pergeseran masih tergolong kecil sehingga komponen spindel tetap berada dalam kondisi aman dan stabil saat menerima beban maksimum.



Gambar 5. Hasil Analisis *Displacement* Spindel pada (a) Beban 25 kg dan (b) Beban 50 kg

Safety factor merupakan parameter yang menunjukkan kemampuan suatu material dalam menahan beban luar sebelum mencapai batas kerusakannya. Nilai *safety factor* juga digunakan untuk memastikan bahwa rancangan komponen memiliki tingkat keamanan yang memadai.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada beban 25 kg nilai *safety factor* minimum sebesar 8 dan maksimum 27,283, pada beban 50 kg nilai *safety factor* minimum sebesar 4 dan maksimum 13,641, sedangkan pada beban 100 kg nilai *safety factor* minimum sebesar 2 dan maksimum 6,821, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6. Nilai tersebut menunjukkan bahwa semakin besar beban yang diterapkan pada spindel, maka nilai *safety factor* akan menurun, namun keseluruhan hasil masih berada di atas batas aman, sehingga spindel dinyatakan mampu menahan beban kerja maksimum tanpa mengalami kegagalan struktural.



Gambar 6. Hasil Analisis Safety Factor Spindel pada (a) Beban 25 kg; (b) Beban 50 kg; dan (b) Beban 100 kg

Perhitungan Teoritis Spindel

Sebagai pembandingan terhadap hasil simulasi, dilakukan perhitungan teoritis untuk mengetahui kesesuaian hasil analisis dengan teori mekanika bahan. Perhitungan dilakukan untuk tiga variasi pembebanan, yaitu 25 kg, 50 kg, dan 100 kg.

A. Perhitungan Gaya

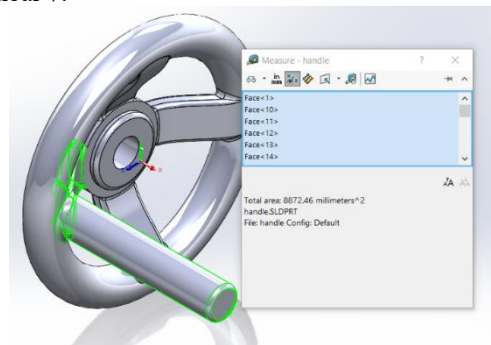
Rumus yang digunakan untuk menghitung gaya adalah $F = m \times g$.

Kemudian diketahui percepatan gravitasi $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, sehingga diperoleh:

- Gaya pada beban 25 kg : $F = 25 \times 9,81 = 245,25 \text{ N}$
- Gaya pada beban 50 kg : $F = 50 \times 9,81 = 490,5 \text{ N}$
- Gaya pada beban 100 kg : $F = 100 \times 9,81 = 981 \text{ N}$

B. Luas Area Pembebanan

Dari hasil pengukuran menggunakan *SolidWorks 2020*, diperoleh luas area pembebanan sebesar $10,215 \text{ m}^2$, sebagaimana terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Luas Area Pembebanan (Solidworks)

C. Tegangan Spindel

Rumus yang digunakan untuk menghitung tegangan adalah $\sigma = \frac{F}{A}$

Sehingga diperoleh:

- Tegangan pada beban 25 kg : $\sigma = \frac{245,25}{10,215} = 24,00 \text{ N/m}^2$
- Tegangan pada beban 50 kg : $\sigma = \frac{490,5}{10,215} = 48,01 \text{ N/m}^2$
- Tegangan pada beban 100 kg : $\sigma = \frac{981}{10,215} = 96,03 \text{ N/m}^2$

D. Safety Factor

Rumus yang digunakan untuk menghitung *safety factor* adalah: $SF = \frac{\text{Yield Strength}}{\text{Tegangan Von Mises}}$

Diketahui *yield strength* material SS316 $\approx 172 \text{ N/m}^2$, sehingga diperoleh:

- *Safety factor* pada beban 25 kg : $SF = \frac{172}{24,00} = 7,1$
- *Safety factor* pada beban 50 kg : $SF = \frac{172}{48,01} = 3,58$
- *Safety factor* pada beban 100 kg: $SF = \frac{172}{96,03} = 1,79$

Nilai hasil perhitungan teoritis menunjukkan kecenderungan yang sama dengan hasil simulasi, di mana peningkatan beban menghasilkan penurunan *safety factor*. Hasil ini memperlihatkan bahwa simulasi *SolidWorks* memiliki korelasi yang baik dengan perhitungan teoritis, sehingga model spindel dinyatakan valid dan aman digunakan pada alat uji *impact Charpy*.

Perbandingan Hasil Simulasi dan Perhitungan Teoritis

Berdasarkan hasil analisis menggunakan *SolidWorks 2020* dan perhitungan teoritis, diperoleh data perbandingan nilai tegangan dan *safety factor* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Hasil Simulasi dan Teoritis

Analisa	Beban (kg)	Simulasi (N/m ²)	Teoritis (N/m ²)	Perbedaan
Tegangan	25	22,10	24,00	8 %
	50	44,21	48,01	8 %
	100	88,42	96,03	8 %
<i>Safety Factor</i>	25	8	7,1	13 %
	50	4	3,58	12 %
	100	2	1,79	12 %

Berdasarkan tabel di atas, terlihat bahwa nilai tegangan hasil simulasi dan perhitungan teoritis memiliki perbedaan rata-rata sebesar 8%, sedangkan perbedaan nilai *safety factor* berkisar antara 12% hingga 13%. Pada beban 25 kg, hasil simulasi menghasilkan tegangan sebesar 22,10 N/m², sedangkan secara teoritis diperoleh 24,00 N/m² dengan selisih 8%. Pada beban 50 kg, nilai tegangan simulasi sebesar 44,21 N/m², sedangkan secara teoritis sebesar 48,01 N/m², dengan selisih yang sama yaitu 8%. Untuk beban 100 kg, hasil simulasi menunjukkan tegangan sebesar 88,42 N/m², sementara hasil teoritis sebesar 96,03 N/m², dengan perbedaan 8%.

Hasil ini menunjukkan bahwa terdapat kesesuaian yang baik antara simulasi *SolidWorks* dan perhitungan teoritis, dengan selisih yang masih dalam batas toleransi analisis mekanik. Perbedaan tersebut dapat disebabkan oleh pengaruh penyederhanaan geometri model, asumsi batasan (*boundary condition*), serta pendekatan numerik yang digunakan dalam simulasi. Secara keseluruhan, nilai korelasi antara simulasi dan teori menunjukkan bahwa hasil simulasi dapat dijadikan acuan valid dalam menilai kekuatan dan keamanan spindel pada alat uji *impact Charpy*.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil simulasi *SolidWorks* dan perhitungan teoritis, diperoleh nilai tegangan maksimum pada beban terbesar 100 kg, yaitu 88,42 N/m² untuk hasil simulasi dan 96,03 N/m² untuk hasil teoritis. Nilai tersebut masih berada di bawah batas kekuatan material pipa SS316 sebesar 172,3 N/m², sehingga spindel dinyatakan aman dan tidak mengalami kerusakan struktural.
2. Nilai *safety factor* hasil simulasi dengan beban 100 kg sebesar 2, sedangkan hasil perhitungan teoritis sebesar 1,79, yang menunjukkan bahwa komponen masih memiliki tingkat keamanan yang memadai terhadap beban maksimum.
3. Persentase perbedaan antara hasil simulasi *SolidWorks* dan perhitungan teoritis menunjukkan rata-rata selisih sebesar 8% untuk nilai tegangan dan 12% untuk nilai *safety factor*, yang masih berada dalam batas toleransi wajar untuk analisis mekanis berbasis simulasi.

Untuk penyempurnaan hasil penelitian ini, disarankan agar penelitian selanjutnya dapat meninjau lebih lanjut mengenai umur atau masa pakai spindel sebagai engkol, sehingga dapat diketahui ketahanan material terhadap pembebanan berulang dalam jangka waktu tertentu. Selain itu, perlu dilakukan pengembangan rancangan dengan desain yang lebih sederhana namun tetap memiliki kinerja mekanis yang optimal dan faktor keamanan yang tinggi. Penelitian lanjutan juga diharapkan dapat menggunakan variasi material atau metode analisis lain guna memperkuat validasi hasil simulasi serta meningkatkan efisiensi desain alat uji *impact Charpy*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. A. Utomo, “Strategi Peningkatan Kinerja Tenaga Kerja Proyek Konstruksi dalam Menghadapi Persaingan di Era Masyarakat Ekonomi ASEAN,” Universitas Sebelas Maret, 2017.
- [2] Sularso and K. Suga, *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta: Pradnya Paramita, 2018.
- [3] Y. C. Dwiaji and A. Sura, “Analisis Kebocoran Sistem Hidrolik pada Landing Gear Pesawat Airbus A330 Series Menggunakan Metode PDCA,” *Inject. Indones. J. Vocat. Mech. Eng.*, vol. 1, no. 2, pp. 65–74, Aug. 2021, doi: 10.58466/injection.v1i2.1384.
- [4] Y. Iskandar and A. Saepudin, “Penerapan Pompa Air Free Energy Menggunakan Kincir Air dan Sistem Pompa Hidrolik untuk Pengairan Sawah,” *Syntax Lit. J. Ilm. Indones.*, vol. 5, no. 11, pp. 1484–1492, 2020, doi: 10.36418/syntax-literate.v5i11.1733.
- [5] H. A. E. Mohamed and A. I. Eltohamy, “Critical Success Factors for Competitiveness of Egyptian Construction Companies,” *Sustainability*, vol. 14, no. 17, p. 10460, 2022.
- [6] H. Putra, “Pengaruh Media Pendingin Sesudah Pengelasan Terhadap Sifat Mekanis Stainless Steel 316,” Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Riau, 2019.