

Rancang Bangun *Special Tool Portable Installing Spherical Bushing* Pada Unit *Dump Truck*

Dimas Saputra¹, Subur Mulyanto^{2*}, Devina Sanchia Samosir³

^{1, 2*}, ³*Program Studi Alat Berat, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Balikpapan*

*Email: subur.mulyanto@poltekba.ac.id

Abstract

The replacement of spherical bushings on mining dump trucks is commonly performed manually using 5 kg hammers, leading to high safety risks, low installation accuracy, increased downtime, and excessive manpower requirements. This study aims to design and develop a portable hydraulic-based special tool for spherical bushing installation to improve work efficiency, installation precision, and occupational safety. The research method involved field research, problem identification, literature study, tool design using SolidWorks, fabrication, experimental testing, and structural strength analysis using the Finite Element Analysis (FEA) method. The developed tool is equipped with a 10-ton hydraulic jack and an adjustable guide bracket to maintain axial alignment during the pressing process. The results indicate that all main structural components have high safety factors above static load limits, ensuring safe operation. Field testing confirms that the tool improves installation accuracy, reduces physical workload, shortens installation time, and minimizes accident risks and unit downtime. Therefore, the proposed special tool is proven to be effective, safe, and practical as an innovative solution for spherical bushing installation in mining dump truck maintenance.

Keywords: *Dump truck, spherical bushing, special tool, hydraulic jack, work efficiency, safety, installation time, fabrication, downtime*

Abstrak

Penggantian *spherical bushing* pada *dump truck* pertambangan yang masih dilakukan secara manual menggunakan palu 5 kg menimbulkan risiko keselamatan tinggi, rendahnya presisi pemasangan, serta peningkatan *downtime* dan kebutuhan *manpower*. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun *special tool portable* berbasis sistem hidrolik untuk pemasangan *spherical bushing* guna meningkatkan efisiensi, akurasi, dan keselamatan kerja. Metode penelitian meliputi studi lapangan, perancangan menggunakan SolidWorks, proses fabrikasi, pengujian alat, serta analisis kekuatan struktur menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA). Alat yang dikembangkan dilengkapi *hydraulic jack* 10 ton dan *adjustable guide bracket* untuk menjaga keselarasan pemasangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat memiliki nilai *safety factor* yang tinggi, aman digunakan, meningkatkan presisi pemasangan, mempercepat waktu kerja, serta menurunkan risiko kecelakaan dan *downtime* unit. Alat ini terbukti efektif dan layak digunakan sebagai solusi inovatif pada perawatan *dump truck* pertambangan.

Kata kunci: *Dump truck, spherical bushing, special tool, hydraulic jack, efisiensi kerja, keselamatan kerja, waktu pengerjaan, fabrikasi, downtime*

1. Pendahuluan

Dump truck merupakan salah satu unit alat berat yang berperan vital dalam kegiatan pertambangan, khususnya dalam proses pengangkutan material seperti pasir, batuan, dan kerikil. Tingginya intensitas operasi menyebabkan komponen mengalami pembebanan dinamis secara terus-menerus, sehingga jika salah satu komponen mengalami kerusakan atau keausan sesuai dengan umur maka unit dilakukan pelaksanaan *service* atau *maintenance* secara berkala untuk menjaga ketersediaan unit (*physical availability*) [1].

Analisa pada alat berat pertambangan menunjukkan bahwa kerusakan atau keausan komponen suspensi dan sambungan mekanis menjadi salah satu penyumbang utama downtime operasional [2]. Salah satu komponen yang sering mengalami keausan pada *dump truck* HD 785-7 adalah *spherical bushing* yang terpasang pada *tie rod*, *torque rod*, *radius rod*, *steering cylinder*, *hoist cylinder*, dan *rear suspension*. Beban kejut, getaran, atau kondisi permukaan jalan yang tidak rata mempercepat penurunan umur pakai *spherical bushing* [3].

Sehingga dilakukan proses *remove and install* pada *spherical bushing*. Proses *remove and install spherical bushing* di lapangan masih menggunakan metode pemukulan (*hammering*) atau menggunakan palu seberat 5 kg. Metode ini menimbulkan berbagai permasalahan, antara lain risiko keselamatan kerja akibat lentingan material dan risiko cedera otot akibat beban kerja manual yang berlebihan [4]. Dari sisi operasional, metode manual menghasilkan *lead time* yang tinggi dan inefisiensi *manpower* karena memerlukan minimal tiga orang mekanik untuk satu tugas pemasangan, yang secara manajerial dianggap kurang produktif dan tidak profesional [5].

Dari kegiatan pemasangan dengan metode pemukulan terlihat tidak adanya *safety* yang memungkinkan jika material *bushing* saat dipukul terpental mengenai muka yang dapat dilihat dari Gambar 1.



Gambar 1. Proses pemasangan menggunakan pemukulan

Untuk memitigasi risiko tersebut, diperlukan pengembangan *special tool* berbasis konsep tekan dan hidrolik [6]. Penggunaan gaya tekan yang stabil terbukti lebih efektif dibandingkan gaya impak manual dalam menjaga integritas struktur komponen selama proses perakitan.

Berdasarkan studi [7] berhasil merancang alat pemasang *bushing* pada *excavator* PC 400 menggunakan metode VDI 2221 untuk meningkatkan keselamatan kerja. Sementara itu, penelitian lain mengembangkan *press tool* untuk memisahkan *bushing* pada produk *reject* dengan tingkat efektivitas yang lebih baik dibanding metode lama [8]. Penelitian tambahan juga telah mengeksplorasi penggunaan alat bantu hidrolik portabel untuk perbaikan komponen mesin industri yang terbukti mampu mereduksi waktu kerja hingga 40% [9].

Meski demikian terdapat celah dari kedua penelitian tersebut, yaitu belum adanya perancangan *special tool* yang secara spesifik ditujukan untuk pemasangan *spherical bushing* pada komponen *dump truck*, bersifat universal untuk berbagai titik pemasangan, serta memiliki keunggulan portabel. Alat-alat sebelumnya cenderung bersifat khusus (non-universal), hanya dapat digunakan pada komponen tertentu, dan belum mempertimbangkan fleksibilitas penggunaan di lapangan tambang.

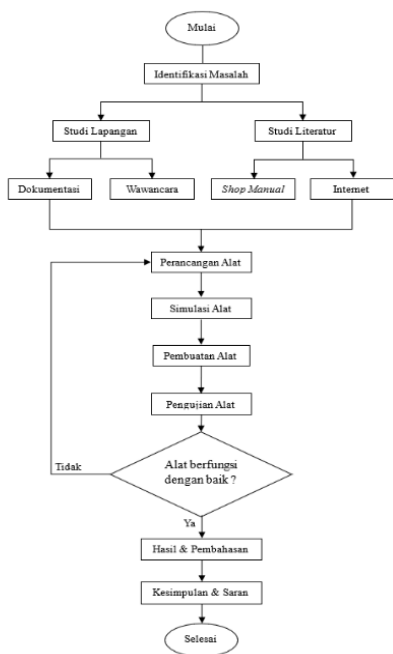
Penelitian ini mengusulkan kebaruan berupa rancang bangun *special tool* pemasang *spherical bushing* yang bersifat portabel dan universal. Alat ini dirancang untuk dapat

diaplikasikan pada enam komponen berbeda (*torque rod, radius rod, steering, hoist, tie rod, dan rear suspension*) menggunakan satu *frame* utama. Kebaruan teknis terletak pada integrasi hydraulic jack yang dikombinasikan dengan *adjustable guide bracket* untuk memastikan kepresisian posisi sumbu tekan, sebuah fitur yang belum ditemukan pada alat bantu serupa dalam studi sebelumnya [10].

Tujuan utama penelitian ini adalah menghasilkan desain alat press yang ergonomis dan tangguh. Diharapkan alat ini dapat mengubah standar kerja mekanik dari metode konvensional yang berisiko menjadi metode berbasis hidrolik yang lebih aman dan terukur. Hasil penelitian ini adalah untuk peningkatan standar K3 di lingkungan tambang [11], penurunan biaya operasional melalui reduksi *downtime* unit, serta memberikan referensi desain alat bantu mekanis yang fleksibel untuk berbagai tipe alat berat.

2. Metode Penelitian

Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah *field research* [12], yaitu pengamatan yang dilakukan saat ditemukan permasalahan hingga melakukan observasi pada pekerjaan proses pemasangan *spherical bushing*.



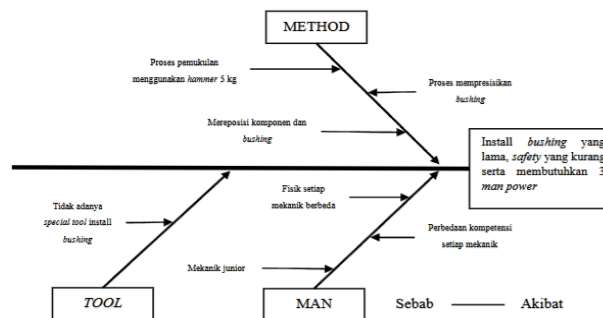
Gambar 2. Diagram alir penelitian

Gambar 2 merupakan alur penelitian (*flowchart*) dari awal menemukan permasalahan hingga akhir solusi permasalahan. Penelitian dimulai dengan identifikasi masalah, langkah ini bertujuan untuk menemukan kendala proses pemasangan *spherical bushing*. Setelah masalah teridentifikasi dilakukan pengumpulan informasi melalui dua jalur yaitu studi lapangan dilakukan melalui dokumentasi langsung, termasuk pengukuran dimensi *spherical bushing* dan wawancara dengan mekanik.

Studi literatur kemudian dilakukan dengan mencari referensi teknis dari *shop manual* untuk mengetahui *spherical bushing* dan internet. Setelah melakukan pengumpulan data dilakukan tahap perancangan dan pengembangan alat berupa simulasi alat dan pembuatan alat, setelah alat sudah selesai dibuat masuk dalam tahap pengujian dan evaluasi, jika alat tidak berfungsi maka kembali pada tahap perancangan alat untuk dilakukan perbaikan dari pemilihan ulang material hingga mendesain ulang dimensi ukuran alat, apabila alat berfungsi dengan baik maka proses berlanjut pada tahap hasil dan pembahasan untuk menganalisa kinerja alat tersebut. Terakhir, menyusun kesimpulan dan saran mengenai alat tersebut.

2.1. Pencarian Akar Masalah

Diagram sebab-akibat (*Fishbone Diagram*) adalah teknik grafis yang digunakan untuk mengurutkan dan menghubungkan beberapa interaksi dengan faktor-faktor yang berpengaruh dalam suatu proses [13].

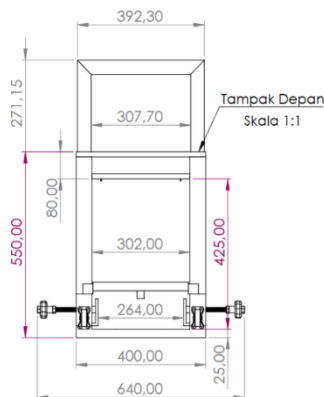


Gambar 3. Fishbone method

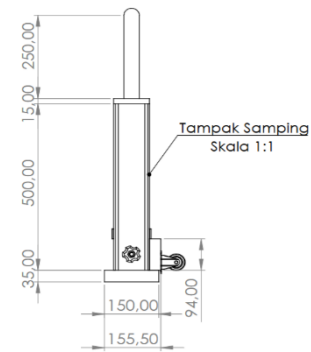
Gambar 3 merupakan *fishbone* yang digunakan untuk mencari akar masalah dalam kendala proses pemasangan *spherical bushing*. Diagram tersebut menjelaskan bahwa masalah utama yang terjadi di lapangan adalah proses instalasi *bushing* yang memakan waktu lama, faktor keamanan (*safety*) yang kurang, serta membutuhkan sumber daya manusia yang besar (*3 man power*). Dari diagram tersebut juga ditemukan 3 kategori utama permasalahannya, mulai dari kategori *method* yaitu proses pemukulan yang berisiko menggunakan palu 5 kg, reposisi komponen dan *bushing* secara berulang, dan proses pengepresan *bushing* yang belum efisien. Kategori *tool* yaitu tidak adanya *special tool* untuk memasang *spherical bushing*. Kategori *man power* yaitu dari kondisi fisik mekanik yang berbeda sehingga kekuatan memasang tidak konsisten dan perbedaan tingkat keterampilan antar mekanik dalam menangani prosedur pemasangan *spherical bushing*. Kategori *tool* yaitu tidak adanya *special tool* untuk memasang *spherical bushing*.

2.2. Perancangan Alat

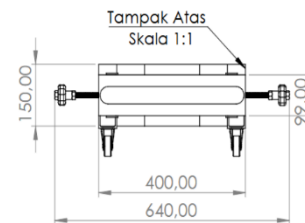
Perancangan dilakukan dengan menggunakan software *solidworks*. Kemudian membuat bagian-bagian dalam bentuk 2D dan sketsa dalam bentuk 3D untuk menentukan jenis bahan dan proses pengerjaan yang tepat untuk pembuatan alat tersebut.



Gambar 4. Desain sisi depan

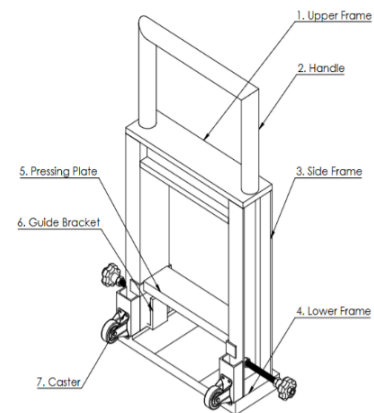


Gambar 5. Desain sisi samping



Gambar 6. Desain tampak atas

Setelah menentukan ukuran dan membuat sketsa alat yang akan digunakan. Selanjutnya membuat bagian-bagian *special tool* untuk mengetahui dan cara kerja dari beberapa bagian *special tool*.



Gambar7. Bagian-bagian *special tool*

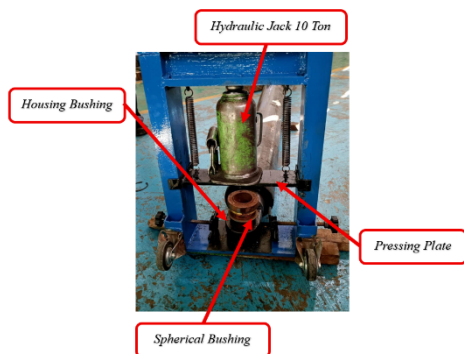
Tabel 1. Fungsi Dari Bagian-Bagian *Special tool*

| No | Bagian-Bagian <i>Special tool</i> | Fungsi Bagian |
|----|-----------------------------------|--|
| 1. | <i>Upper Frame</i> | Sebagai kerangka bagian atas <i>special tool</i> sekaligus menahan rod dari <i>hydraulic jack</i> . |
| 2. | <i>Handle</i> | Sebagai pegangan alat saat dibawa. |
| 3. | <i>Side Frame</i> | Sebagai kerangka bagian samping pada <i>special tool</i> . |
| 4. | <i>Lower Frame</i> | Sebagai kerangka bagian bawah sekaligus dudukan benda kerja. |
| 5. | <i>Pressing Plate</i> | Sebagai dudukan <i>hydraulic jack</i> untuk menekan <i>spherical bushing</i> . |
| 6. | <i>Guide Bracket</i> | Sebagai alignment komponen <i>spherical bushing</i> dan mencegah komponen bergeser saat proses pemasangan. |
| 7. | <i>Caster</i> | Sebagai roda <i>special tool</i> agar mudah saat memindahkan <i>special tool</i> . |

3. Hasil Penelitian

3.1. Hasil dan Prinsip Kerja *Special tool*

Dari hasil pengerjaan *design special tool* menggunakan *solidworks* selanjutnya adalah hasil pembuatan *special tool* dan prinsip kerjanya menggunakan *hydraulic jack* 10 ton. Gambar 8 merupakan bagian-bagian dan hasil pembuatan *special tool portable installing spherical bushing*:



Gambar 8. Bagian-bagian dan hasil pembuatan *special tool*

Prinsip cara kerja dari *special tool* tersebut adalah menggunakan prinsip alat *press hydraulic* dengan cara tuas pada *hydraulic jack*

diayunkan kemudian *hydraulic jack* akan naik keatas dan mendorong *pressing plate* yang sebagai dudukan *hydraulic jack*, saat proses mendorong *bushing* bekas akan mendorong *spherical bushing* sampai masuk ke *housing bushing*.

3.2. Analisa Gaya Penekanan *Spherical Bushing*

Dalam *special tool portable installing spherical bushing* tersebut prinsip cara kerjanya menggunakan tekanan, dari definisi tekanan sebagai gaya normal yang bekerja pada suatu bidang per satuan luas [14]. Secara sistematis, tekanan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$P = \frac{F}{A}$$

Dimana:

P = Tekanan (Pa)

F = Gaya normal (N)

A = Luas penampang (m²)

Dari persamaan dasar tersebut diturunkan menjadi:

$$F = P \times A$$

Persamaan ini menunjukkan bahwa besar gaya yang dihasilkan berbanding lurus dengan tekanan yang diberikan dan luas penampang bidang kerja. Pada sistem hidrolik, prinsip ini diperkuat oleh Hukum Pascal yang menyatakan bahwa tekanan yang diberikan pada fluida tertutup akan diteruskan sama besar ke segala arah.

Dalam perancangan *special tool portable installing spherical bushing*, gaya tekan yang dibutuhkan untuk proses pemasangan dihitung berdasarkan tekanan kerja *hydraulic jack* dan luas penampang piston. Dalam hal ini, gaya yang dibutuhkan untuk memasang *spherical bushing* diperoleh melalui hasil uji coba dengan persamaan sebagai berikut:

$$F = P \times A$$

Dimana:

P = Tekanan yang bekerja = 3000 psi

A = Luas penampang *hydraulic jack* = 1,95 in²

Berikut adalah nilai *pressure gauge* pada *hydraulic jack* pada Gambar 9.



Gambar 9. Nilai *pressure gauge* yang bekerja

$$F = P \times A$$

$$F = 3000 \text{ psi} \times 1,95 \text{ in}^2$$

$$F = 5850 \text{ lbf} \rightarrow 25577,27 \text{ N}$$

3.3. Analisa *Bending* dan *Tensile* Pada Bagian Alat Bantu *Portable*

Analisis kekuatan material pada *special tool portable installing spherical bushing* dilakukan menggunakan metode FEA. Metode FEA (*Finite Element Analysis*) merupakan metode numerik yang umum digunakan dalam analisis tegangan dan deformasi struktur teknik karena mampu memprediksi perilaku material terhadap pembebanan secara akurat [15], memakai metode FEA karena FEA memungkinkan analisis distribusi tegangan, deformasi, dan faktor keamanan secara numerik sebelum proses manufaktur dilakukan. Analisis dilakukan pada empat bagian, yaitu *lower frame* yang menerima beban *bending*, *side frame* dan *pressing plate* yang menerima beban *tensile*, serta *upper frame* yang menerima beban *bending*, yang dianalisis menggunakan metode FEA, yang kemudian diberikan beban gaya penekanan *bushing* yaitu 25577,27 N.

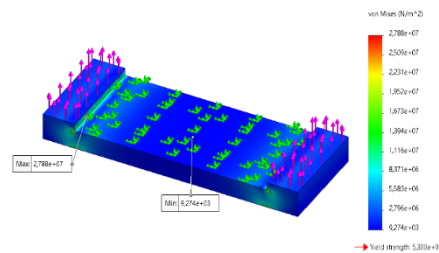
3.4. Simulasi Analisa *Safety Factor*

Dalam analisa *bending* dan *tensile special tool portable installing spherical bushing* ini juga menganalisa *safety factor* dari keempat bagian tersebut. *Safety factor* dianalisa karena sebagai perbandingan antara kekuatan material terhadap tegangan kerja maksimum yang terjadi pada komponen [16]. Secara sistematis *safety factor* menggunakan persamaan:

$$n = \frac{S}{\sigma \text{ max}}$$

Dari $n > 1$, maka struktur secara teoritis tidak mengalami kegagalan plastis. Namun dalam praktik perancangan elemen mesin, nilai *safety factor* yang direkomendasikan untuk pembebanan statis umumnya berada pada kisaran 1,5–3 tergantung tingkat ketidakpastian beban dan kondisi operasi [16]. Berikut merupakan simulasi menggunakan FEA dan perhitungan *safety factor* di bawah ini:

1. Analisa kekuatan *bending* pada bagian *lower frame*. Berikut merupakan analisa *bending* menggunakan material AISI 1045 dan *yield strength* 530 Mpa [17].



Gambar 10. Simulasi pembebanan komponen *lower frame*

$$\text{Yield strength} \quad 5,300e^{08}$$

$$\text{Max working load} \quad 2,788e^{07}$$

$$\text{Min working load} \quad 9,274e^{03}$$

$$\text{Safety Factor} : \frac{\text{Yield strength}}{\text{Max working load}}$$

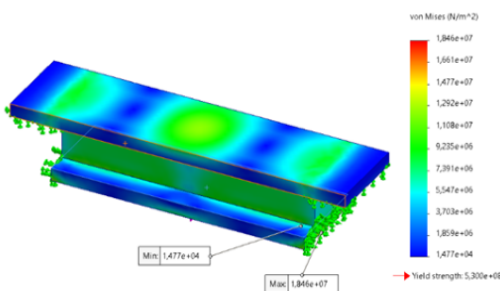
$$\text{Safety Factor} : \frac{5,300e^{08}}{2,788e^{07}}$$

$$\text{Safety Factor} : \frac{530,000,000}{27,880,000}$$

$$\text{Safety Factor} : 19,01$$

Safety factor pada tool adalah 19,01, yang berarti *lower frame* mampu menahan beban 19,01 kali lipat dari beban rencana. Sehingga, *tool* ini memiliki *safety factor* yang baik dan mampu beroperasi dengan aman pada beban yang direncanakan.

2. Analisa kekuatan *bending* pada bagian *upper frame*. Berikut merupakan analisa *bending* menggunakan material AISI 1045 *yield strength* 530 Mpa [17].



Gambar 11. Simulasi pembebanan komponen *upper frame*

Untuk mengetahui batas atau *safety factor* dalam simulasi ini, berikut perhitungan untuk menentukan *safety factor* pada *tool* sebagai berikut:

$$\text{Yield strength} \quad 5,300e^{08}$$

$$\text{Max working load} \quad 1,846e^{07}$$

$$\text{Min working load} \quad 1,477e^{04}$$

$$\text{Safety Factor} : \frac{\text{Yield strength}}{\text{Max working load}}$$

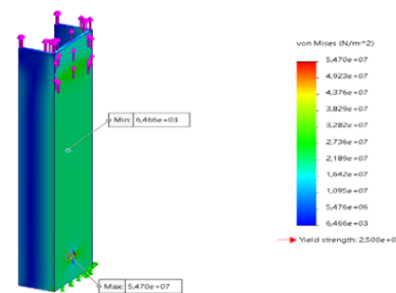
$$\text{Safety Factor} : \frac{5,300e^{08}}{1,846e^{07}}$$

$$\text{Safety Factor} : \frac{530,000,000}{18,460,000}$$

$$\text{Safety Factor} : 28,71$$

Safety factor pada *tool* adalah 28,71, yang berarti *upper frame* mampu menahan beban 28,71 kali lipat dari beban rencana.

3. Analisa kekuatan *tensile* pada bagian *side frame*. Berikut merupakan analisa *tensile* menggunakan material ASTM A36 dan *yield strength* 250 MPa [17].



Gambar 12. Simulasi pembebanan komponen *side frame*

Untuk mengetahui batas atau *safety factor* dalam simulasi ini, berikut perhitungan untuk menentukan *safety factor* pada *tool* sebagai berikut:

$$\text{Yield strength} \quad 2,500e^{08}$$

$$\text{Max working load} \quad 5,470e^{07}$$

$$\text{Min working load} \quad 6,466e^{03}$$

$$\text{Safety Factor} : \frac{\text{Yield strength}}{\text{Max working load}}$$

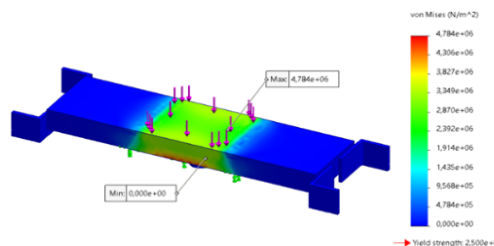
$$\text{Safety Factor} : \frac{2,500e^{08}}{5,470e^{07}}$$

$$\text{Safety Factor} : \frac{250,000,000}{54,700,000}$$

$$\text{Safety Factor} : 4,57$$

Safety factor pada *tool* adalah 4,57, yang berarti *side frame* mampu menahan beban 4,57 kali lipat dari beban rencana.

4. Analisa kekuatan *bending* pada bagian *pressing plate*. Berikut merupakan analisa *bending* menggunakan material ASTM A36 *yield strength* 250 MPa [17].



Gambar 13. Simulasi Pembebanan Komponen *Pressing Plate*

Untuk mengetahui batas atau *safety factor* dalam simulasi ini, berikut perhitungan untuk menentukan *safety factor* pada *tool* sebagai berikut:

$$\text{Yield strength} \quad 2,500e^{08}$$

$$\text{Max working load} \quad 4,784e^{06}$$

$$\text{Min working load} \quad 0,000e^{00}$$

$$\text{Safety Factor} : \frac{\text{Yield strength}}{\text{Max working load}}$$

$$\text{Safety Factor} : \frac{2,500e^{08}}{4,784e^{06}}$$

$$\text{Safety Factor} : \frac{250,000,000}{4,784,000}$$

$$\text{Safety Factor} : 52,25$$

Safety factor pada *tool* adalah 52,25, yang berarti *pressing plate* mampu menahan beban 52,25 kali lipat dari beban rencana.

3.5. Perhitungan Kekuatan Las Pada Sambungan Upper Frame

Jenis elektroda yang dipakai adalah E6013 diameter 4 mm dengan kekuatan tarik 413,685 N/mm^2 [18], dengan beban penekanan *bushing* 25577,27 N yang akan ditanggung oleh *upper frame* melalui 24 titik pengelasan, sehingga masing-masing titik las menahan beban 1065,71 N.

$$\text{Tegangan tarik ijin las} : \frac{\text{Kekuatan tarik}}{\text{Safety Factor}}$$

$$: \frac{413,685}{1.5}$$

$$: 275,79 N/mm^2$$

$$\text{Diketahui : Panjang las} : 2.206,8 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal las} : 5 \text{ mm}$$

Tegangan tarik pada penampang las:

$$\frac{\text{Beban yang diterima}}{\text{Sin 45. Tebal las. Panjang las}}$$

$$\frac{1065,71 \text{ N}}{0,707 \times 5 \times 2.206,8 \text{ mm}}$$

$$0,137 N/mm^2$$

Artinya, tegangan tarik aktual pada *tool* masih jauh lebih kecil daripada tegangan ijin las sebesar 275,79 N/mm^2 . Sambungan las *upper frame* tersebut sangat aman dan mampu menahan beban tersebut karena tegangan aktual lebih kecil dari tegangan tarik ijin las [19].

3.6. Perhitungan Kekuatan Las Pada Sambungan Lower Frame

Beban penekanan *bushing* 25577,27 N yang akan ditanggung oleh *lower frame* melalui 6 titik pengelasan, sehingga masing-masing titik las menahan beban 4262,87 N.

$$\text{Tegangan tarik ijin las} : \frac{\text{Kekuatan tarik}}{\text{Safety Factor}}$$

$$: \frac{413,685}{1.5}$$

$$: 275,79 N/mm^2$$

$$\text{Diketahui : Panjang las} : 898,8 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal las} : 5 \text{ mm}$$

Tegangan tarik pada penampang las :

$$\frac{\text{Beban yang diterima}}{\text{Sin 45. Tebal las. Panjang las}}$$

$$\frac{4262,87 \text{ N}}{0,707 \times 5 \times 898,8 \text{ mm}}$$

$$1,341 N/mm^2$$

Artinya pada *tool* tegangan tarik ijin las masih jauh lebih kecil daripada tegangan ijin las 275,79 N/mm^2 . Sambungan las *upper frame* tersebut sangat aman dan mampu menahan beban tersebut karena tegangan aktual lebih kecil dari tegangan tarik ijin las [19].

3.7. Pengujian Alat

Pengujian yang sudah dilakukan sebagai berikut:

1. Proses memposisikan *cylinder* di tempat yang rata.



Gambar 14. Memposisikan *cylinder*

2. Setelah memposisikan *cylinder* di tempat yang rata, langkah selanjutnya adalah pemasangan *snap ring* yang bertujuan sebagai stopper saat *bushing* dipasang.



Gambar 15. Pemasangan *snap ring*

3. Memasukan *housing bushing* ke dalam *special tool* dan diletakkan pada bagian *lower frame* yang berfungsi sebagai meja kerja *press*.



Gambar 16. Pemasangan *special tool* ke *housing cylinder*

4. Mengencangkan *guide bracket* agar komponen tidak bergerak saat proses pemasangan, langkah ini membuat pemasangan *bushing balance* dan *center*.



Gambar 17. Pengencangan *guide bracket*

5. Pemasangan beberapa komponen seperti *bushing* bekas, *pressing plate*, dan *hydraulic jack*, dalam proses ini perlu memposisikan komponen dengan seimbang agar saat proses pemasangan *bushing* tidak miring saat dipasang.



Gambar 18. Pemasangan *bushing* bekas



Gambar 19. Pemasangan *pressing plate*



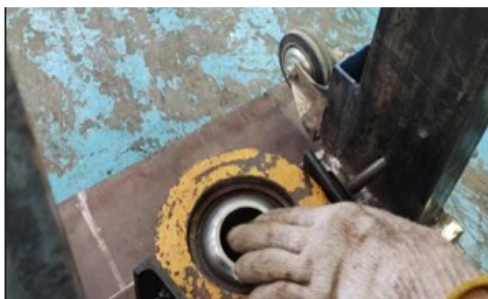
Gambar 20. Pemasangan *hydraulic jack*

6. Proses pemasangan diatas harus memperhatikan *pressure* yang bekerja agar tidak merusak *hydraulic jack*.



Gambar 21. Pemasangan *spherical bushing*

7. Proses dimana setelah pemasangan *spherical bushing* berhasil dilakukan kemudian dilakukan pengecekan *bushing* apakah *bushing* dipasang *center* atau ada kerusakan pada *bushing*, setelah dilakukan pengamatan pada *bushing* tersebut bahwa tidak ada kerusakan pada *bushing* dan *bushing* terpasang *center*.



Gambar 22. Pemeriksaan komponen *bushing*

8. Tahap terakhir untuk memasang *snap ring* pada sisi lain.



Gambar 23. Pemasangan *snap ring* dari sisi lain

4. Kesimpulan

Hasil analisa menggunakan metode FEA menunjukkan bahwa 4 bagian dari *special tool* mempunyai *safety factor* diatas beban statis yaitu 1,5 dan memiliki *safety factor* yang tinggi pada setiap komponen utamanya, sehingga aman digunakan dalam kondisi kerja yang direncanakan. Selain itu, penggunaan *hydraulic jack* berkapasitas 10 ton dan *adjustable guide bracket* terbukti dapat meningkatkan presisi pemasangan, meminimalkan risiko kesalahan, serta mengurangi potensi *downtime* unit akibat pemasangan manual yang tidak presisi.

5. Saran

Agar proses pemasangan *bushing* lebih aman dan stabil, disarankan untuk mengganti penggunaan *hydraulic jack* dengan *puller*. Penggunaan *puller* dapat meminimalkan risiko pergeseran alat saat proses pemasangan dan meningkatkan keselamatan kerja karena gaya tekan lebih terkontrol dan terpusat. Selain itu, modifikasi tambahan berupa *guide* tetap diperlukan untuk memastikan *bushing* terpasang lurus dan tidak miring.

6. Daftar Pustaka

- [1] R. Smith dan R. K. Mobley, *Rules of thumb for maintenance and reliability engineers*. Butterworth-Heinemann, 2011.
- [2] P. Odeyar, D. B. Apel, R. Hall, B. Zon, dan K. Skrzykowski, "A Review of Reliability and Fault Analysis Methods for Heavy Equipment and Their Components Used in Mining," *Energies*, vol. 15, no. 17, hal. 6263, 2022, doi: 10.3390/en15176263.

- [3] N. R. Prabowo, "Analisa Laju Permukaan Keausan Pada Model Uji Mekanis *Bushing* Kuningan," vol. 02, no. 01, hal. 32–36, 2021, doi: 10.35970/accurate.v2i1.584.
- [4] B. Elyas, M. Sambeko, N. Susanto, dan A. Alfanan, "Manual Handling as Contributor of Low Back Pain for Workers : A Case Study at PT Sumber Mandiri Jaya , Kabupaten Merauke," vol. 13, no. April, hal. 29–36, 2024, doi: 10.20473/ijosh.v13i1.2024.29-36.
- [5] M. A. Arsyandi dan F. A. Pratikno, "Pengurangan *Lead Time* pada Proses *Assembly* dengan Menggunakan Pendekatan *Lean Manufacturing* (Studi Kasus : PT KRA)".
- [6] S. Syahrudin, D. Kristianto, B. Basri, S. Akbar, dan E. Widodo, "Rancang Bangun Bracket Stand Puller Untuk Melepas Rear Torque Rod Pin Unit HD 785-7," *J. Alat Berat*, vol. 1, no. 2, hal. 41–48, 2024, doi: 10.32487/jab.v1i2.25.
- [7] R. Harfi dan M. Sugeng, "Analisa Biaya dan Perancangan Alat Pemasang *Bushing* Pada Attachment PC 400 dengan Metode VDI 2221," *JISI J. Integr. Sist. Ind. Vol.*, vol. 2, no. 2, 2015, doi: 10.24853/jisi.4.1.pp-pp.
- [8] P. M. Pratama, "Rancang Bangun Press Tool *Bushing* Pemisah *Ferro* dan *Non Ferro* pada *Crankcase* di PT. XYZ Sub-Judul : Perancangan Press Tool Pemisah *Ferro* dan *Non Ferro* pada," 2022, hal. 1708–1715.
- [9] R. T. Laksono, "Rancang Bangun Alat Angkat Portable Sistem Hidrolik (Perawatan Dan Perbaikan)," 2021, *Politeknik Negeri Sriwijaya*.
- [10] A. P. Borkar dan V. R. Naik, "Structural Analysis of a Guide Bracket for Weight Reduction using *Optistruct*," vol. 8, no. 2, hal. 367–371, 2018.
- [11] A. Susanto *et al.*, "Implementasi Sistem Manajemen Keselamatan Pertambangan Di Sektor Minerba Indonesia: Tinjauan Literatur Sistematis," *J. Kesehat.*, vol. 18, no. 1, hal. 1–10, 2025.
- [12] I. Y. BIAK, "Penerapan Studi Lapangan Dalam Meningkatkan Kemampuan Analisis Masalah (Studi Kasus Pada Mahasiswa Sosiologi Iisip Yapis Biak) *Implementation Of Field Studies To Improve Problem Analysis Ability (Case Study In The Student Sociology,*" *J. Nalar Pendidik.*, vol. 8, hal. 63–72, 2020.
- [13] D. Tetap, F. Ilmu, K. Universitas, E. Unggul, K. Jeruk, dan D. Sumber, "Pemanfaatan Diagram *Fishbone* Untuk Mendukung," vol. 1, hal. 150–154, 2016.
- [14] Y. A. Çengel dan J. M. Cimbala, *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications*, 3rd edition. New York, NY: McGraw-Hill, 2014.
- [15] D. L. Logan, K. K. Chaudhry, dan P. Singh, *A first course in the finite element method*, vol. 3. Cengage Learning USA, 2012.
- [16] R. G. Budynas dan J. K. Nisbett, *Shigley's Mechanical Engineering Design*, 10th edition. New York: McGraw-Hill Education, 2015.
- [17] A. S. M. I. H. Committee, *ASM Handbook Volume 1: Properties and Selection – Irons, Steels, and High-Performance Alloys*. Materials Park, Ohio: ASM International, 1990.
- [18] F. Weldri, "Analisis Kekuatan Sambungan Las Pada Rangka Mesin Perontok Padi Multiguna," 2022, *Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat*.
- [19] D. Mahardhika dan A. Lubis, "Kekuatan Geser dan Integritas Struktur Sambungan *Fillet Weld* pada *Support Lug* Bejana Tekan Silinder Vertikal," *J. Mech.*, vol. 11, no. 2, hal. 62–68, 2020.