

## PEMILIHAN DESAIN ALAT LEPAS PASANG *BRAKE CYLINDER* SISTEM PENGGEREMAN KERETA API DENGAN METODE SCAMPER

Frida Syandini Nugroho<sup>1</sup>, Rizal Indrawan<sup>1\*</sup>, Widya Emilia Primaningtyas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal,  
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

\*Email: [rizal11307@ppns.ac.id](mailto:rizal11307@ppns.ac.id)

### Abstrak

Pengereman merupakan komponen yang sangat vital dalam suatu sarana transportasi yang dimana fungsinya tidak hanya untuk mempertahankan kecepatan tetapi juga untuk memperlambat dan menghentikan kereta api. Sistem pengereman yang diterapkan biasanya berupa pengereman udara tekan yang bersifat otomatis dan terdapat komponen penting yang memiliki fungsi spesifik masing-masing untuk mendukung proses pengereman pada kereta api salah satunya merupakan komponen *brake cylinder*. *Brake cylinder* merupakan salah satu komponen penting dalam sistem pengereman kereta api yang berfungsi mengubah tekanan udara menjadi gaya mekanik untuk menghentikan laju kereta api. Pada proses lepas pasang *brake cylinder* yang memiliki berat 45 kg saat ini masih dilakukan secara manual. Hal ini menimbulkan beberapa risiko kecelakaan kerja termasuk cedera punggung, tangan, kaki dan risiko kerusakan komponen *brake cylinder*. Penelitian ini bertujuan untuk merancang alat bantu yang dapat mempermudah proses lepas pasang *brake cylinder* dengan aman sesuai dengan aspek keselamatan kerja. Metode yang digunakan dalam perancangan ini adalah metode SCAMPER yaitu sebuah metode menggunakan pendekatan kreatif yang digunakan untuk menghasilkan ide baru dengan memanfaatkan pertanyaan yang dirancang untuk memicu pemikiran kreatif. Analisis yang dilakukan meliputi analisis struktural statis untuk memastikan kekuatan material dan struktur alat, serta analisis ergonomi untuk menilai kenyamanan yang memastikan bahwa ukuran, bentuk, dan fitur alat sesuai dengan kemampuan tubuh manusia. Hasil dari penelitian ini adalah rancangan alat bantu lepas pasang *brake cylinder* berbasis *scissor lift* yang memiliki kekuatan struktur yang baik, dapat menyesuaikan penggunaan alat secara ergonomis, mengurangi risiko kecelakaan kerja, dan risiko kerusakan komponen *brake cylinder*.

**Kata kunci:** *brake cylinder*, SCAMPER, *scissor lift*

### Abstract

*Brake cylinder* is one of the important components in the train braking system that functions to convert air pressure into mechanical force to stop the train. The process of removing and installing the *brake cylinder* which weighs 45 kg is currently still done manually. This raises several risks of work accidents including back, hand, foot injuries and the risk of damage to *brake cylinder* components. This study aims to design an aid that can facilitate the process of removing and installing the *brake cylinder* safely in accordance with work safety aspects. The method used in this design is the SCAMPER method, a method using a creative approach that is used to generate new ideas by utilizing questions designed to trigger creative thinking. The analysis carried out includes static structural analysis to ensure the strength of the material and structure of the tool, as well as ergonomic analysis to assess comfort which ensures that the size, shape, and features of the tool are in accordance with the capabilities of the human body. The results of this study are the design of a scissor lift-based *brake cylinder* removal and installation aid that has good structural strength, can adjust the use of the tool ergonomically, reduce the risk of work accidents, and the risk of damage to *brake cylinder* components.

**Keywords:** *brake cylinder*, SCAMPER, *scissor lift*

## PENDAHULUAN

Transportasi kereta api memiliki peranan penting dalam mobilitas masyarakat dan pengangkutan barang di Indonesia. Namun, regulasi keselamatan mengharuskan adanya pemeliharaan rutin, termasuk perawatan sistem pengereman, untuk memastikan semua komponen bekerja optimal (Khoirul, 2024). Salah satu komponen vital dalam sistem ini adalah *brake cylinder* yang berfungsi mengubah tekanan udara menjadi gaya mekanik untuk menggerakkan tuas pengereman (Wahjono et al., 2018).

Saat ini, proses lepas pasang *brake cylinder* berukuran 12 inci dengan berat 45 kg masih dilakukan secara manual. Hal ini menimbulkan risiko kecelakaan kerja seperti cedera punggung, tangan, dan kaki, serta kerusakan komponen seperti piston bengkok atau *body brake cylinder* retak. Target waktu pemasangan dan pelepasan adalah 20 menit, namun metode manual seringkali tidak efisien dan membebani teknisi. Beberapa solusi eksisting seperti *scissor lift* komersial memang tersedia di pasaran. Namun, ukurannya seringkali tidak sesuai untuk ruang kerja sempit di area perawatan kereta api, tidak memiliki fitur *clamping* khusus untuk menahan *brake cylinder*, dan kurang adaptif terhadap variasi ketinggian kerja. Penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa modifikasi *scissor lift* umum belum mampu sepenuhnya mengatasi masalah ergonomi dan risiko kerusakan komponen (Pardiyono & Zairda, 2020). Oleh karena itu, diperlukan rancangan alat bantu khusus yang terintegrasi dengan sistem pengangkatan dan penjepit, serta sesuai dengan dimensi dan prosedur kerja di bengkel perawatan kereta api.

Penelitian ini bertujuan menghasilkan desain alat bantu lepas pasang *brake cylinder* yang tervalidasi secara teknis dengan faktor keamanan minimal 1,5 dan skor RULA di bawah 4. Analisis struktural dilakukan menggunakan *software* Fusion 360 untuk menguji kekuatan dan kekakuan rangka, sementara analisis ergonomi menggunakan metode RULA pada *software* CATIA V5 untuk memastikan kesesuaian desain dengan postur kerja aman. Hasil rancangan juga dilengkapi *detail engineering drawing* dan rencana anggaran biaya untuk mendukung implementasi di lapangan.

## TINJAUAN PUSTAKA

### (A) *Scissor Lift*

*Scissor lift* merupakan alat mekanik yang digunakan untuk menaikkan, menurunkan serta memindahkan material atau komponen dengan ketinggian tertentu. *Scissor lift* memiliki beberapa metode pengangkatan beban yang efisien dan fleksibel, serta beberapa bagian bergerak membutuhkan pelumasan (Momin, 2015). *Scissor lift* dapat dikombinasikan dengan beberapa pengaplikasian seperti pneumatik, hidrolik dan *electric*. *Scissor lift* digunakan karena ergonomisnya dan memiliki struktur rangka yang kuat. Dapat digunakan untuk berbagai macam sektor seperti manufaktur, pergudangan, dan distribusi. Memiliki beberapa bagian komponen yaitu lengan *scissor lift*, silinder hidrolik, *top platform*, *base platform*, roda, pompa hidrolik, dan katup.

### (B) *Brake Cylinder* Pada Sistem Pengereman Kereta Api

*Brake cylinder* (silinder rem) adalah silinder yang berisi piston, membran (*diaphragm*), batang penekan dan pegas ulir berfungsi sebagai alat yang mentransmisikan gaya melalui piston yang di dorong karena adanya tekanan udara dari

*Distributor Valve* (DV) yang kemudian menekan *brake rigging* dan diteruskan ke *Slack Adjuster* (SA) lalu mengubah gaya tekanan udara menjadi gaya mekanik yang menggerakkan setang-setang sehingga terjadinya proses pengereman (Khoirul, 2024).

### (C) Perhitungan Rangka

Rangka berperan sebagai penopang utama komponen-komponen penyusun alat bantu lepas pasang *brake cylinder*. Pemilihan profil untuk rangka dapat dilakukan setelah perhitungan modulus penampang minimum yang dibutuhkan pada alat bantu lepas pasang *brake cylinder*. Sebelum melakukan perhitungan modulus penampang minimum, terlebih dahulu menghitung pembebanan yang berasal dari beban komponen penyusun (Arrahman, 2021). Langkah awal adalah menentukan nilai gaya pembebanan dan selanjutnya akan dilakukan perhitungan beban desain yang terjadi.

$$P_{\text{desain}} = F \times N \dots\dots\dots(1)$$

Di mana:

$P_{\text{desain}}$  : beban desain (N)  
 $F$  : gaya pembebanan (N)  
 $N$  : faktor koreksi pembebanan

### (D) Perhitungan Bantalan

Bantalan adalah elemen penumpu poros pada tap atau leher poros, dipasang di mesin atau blok khusus, berfungsi menahan gaya reaksi. Bila gaya dominan tegak lurus sumbu poros disebut bantalan radial, sedangkan bila sejajar sumbu poros disebut bantalan aksial, dengan beban ekuivalen dihitung menggunakan rumus tertentu.

$$W = K_s (X \cdot V \cdot W_R + Y \cdot W_A) \dots\dots\dots(2)$$

Di mana:

$W$  : beban *equivalent* (N)  
 $K_s$  : *service* faktor  
 $W_R$  : gaya radial (N)  
 $W_A$  : gaya aksial (N)  
 $V$  : faktor rotasi

### (E) Perhitungan Baut dan Mur

(1) Baut adalah pengikat berulir luar untuk menyatukan komponen, sedangkan mur berulir dalam mengencangkan baut. Baut mengubah gerakan melingkar menjadi gerakan aksial dan memerlukan pengaman agar tidak kendur, umumnya melalui gesekan ulir. Baut tetap kencang jika dikencangkan sesuai momen standar (Purwanto, 2016). Berikut adalah formula oleh Lazuardi (2018) diantaranya Persamaan 3: perhitungan diameter ulir dalam ulir baut, Persamaan 4: perhitungan jumlah ulir, Persamaan 5: perhitungan tegangan tarik pada baut.

$$d1 = \sqrt{\frac{4 \cdot W}{\pi \cdot \sigma_a}} \dots\dots\dots(3)$$

Di mana:

$d1$  : diameter dalam ulir  
 $W$  : beban  
 $\sigma_a$  : tegangan geser

$$z \geq \frac{W}{\pi \cdot D2 \cdot H1 \cdot \tau a} \dots\dots\dots(4)$$

Di mana:

$z$  : jumlah ulir  
 $D2$  : diameter luar  
 $H1$  : tinggi  
 $\tau a$  : tegangan permukaan

$$\sigma t = \frac{4 \cdot W}{\pi \cdot d1^2} \dots\dots\dots(5)$$

Di mana:

$\sigma t$  : tegangan tarik  
 $W$  : beban  
 $d1$  : diameter dalam

#### (F) Perhitungan Poros

Poros adalah komponen utama mesin yang berfungsi meneruskan tegangan dan putaran, sehingga menjadi elemen kunci dalam sistem transmisi (Sularso, 2004). Jika poros hanya menahan torsi, diameternya bisa dibuat lebih kecil. Namun, bila ada beban tambahan seperti lenturan, tarikan, atau tekanan dari sabuk, rantai, atau roda gigi, beban tersebut harus dihitung dan ditambah faktor keamanan (Sularso, 2004). Jika faktor koreksi daya dinyatakan sebagai  $f_c$  maka daya rencana ( $P_d$ ) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$P_d = f_c \times P \dots\dots\dots(6)$$

Di mana:

$P_d$  : perencanaan daya motor (Watt)  
 $f_c$  : faktor koreksi (1-1,5)  
 $P$  : daya motor (Watt)

Menghitung tegangan geser yang diizinkan adalah sebagai berikut:

$$\tau a = \sigma b / (Sf1 \times Sf2) \dots\dots\dots(7)$$

Di mana:

$\tau a$  : tegangan geser yang diizinkan ( $\text{kg/mm}^2$ )  
 $\sigma b$  : kekuatan tarik ( $\text{kg/mm}^2$ )  
 $Sf1, Sf2$  : faktor keamanan

Menghitung diameter poros:

$$ds = \left( \frac{5,1}{\tau a} \sqrt{K_m \times M}^2 + (K_t \times T)^{1/2} \right) \dots\dots\dots(8)$$

Di mana:

$\tau a$  : tegangan geser yang diizinkan ( $\text{kg/mm}^2$ )  
 $K_m$  : faktor koreksi momen lentur  
 $M$  : momen lentur maksimum ( $\text{kg.mm}$ )  
 $K_t$  : faktor koreksi momen puntir  
 $T$  : momen puntir/momen rencana ( $\text{kg.mm}$ )

#### (G) Faktor Keamanan

Faktor keamanan adalah nilai yang digunakan untuk memastikan rancangan elemen mesin aman. Nilai ini dipengaruhi oleh variasi sifat bahan, ukuran material uji, jenis bahan, perlakuan panas, serta kondisi waktu dan lingkungan penggunaan

(Hardiputra, 2018). Faktor keamanan diberikan kepada suatu desain biasanya berdasarkan jenis pembebanan yaitu pembebanan statis: 1,25-2, pembebanan dinamis: 2-3, dan pembebanan kejut: 3-5 (Pahlawan, 2021).

$$FS = \frac{S_y}{\sigma_{actual}} \dots \dots \dots (9)$$

Di mana:

FS = faktor keamanan  
 $S_y$  = tegangan luluh material (N/m<sup>2</sup>)  
 $\sigma_{actual}$  = tegangan yang terjadi (N/m<sup>2</sup>)

#### (H) Perhitungan Ulir

Sistem ulir memungkinkan penyambungan beberapa komponen menjadi satu kesatuan produk jadi (Aminudin, 1988). Ulir berfungsi sebagai alat pemersatu komponen, penerus daya, dan pencegah kebocoran. Ulir segitiga (ISO, British, American) umum digunakan untuk penyatuan, sedangkan ulir segi empat dipakai pada sistem pemindah daya seperti dongkrak atau poros berulir karena mampu menahan beban berat dengan daya kecil (Aminudin, 1988). Pengukuran diameter mayor ulir adalah sebagai berikut.

$$D_i = D_s \pm (R_2 - R_1) \text{ mm} \dots \dots \dots (10)$$

Di mana:

$D_i$  : diameter inti ulir  
 $D_s$  : diameter poros standar (diketahui)  
 $R_2$  : hasil baca diameter standar (*fiducial indicator* = 0)  
 $R_1$  : hasil diameter inti ulir (*fiducial indicator* = 0)

#### (I) Perhitungan Hidrolik

Dalam sistem pengangkatan pada *scissor lift*, hidrolik merupakan komponen yang bekerja untuk mengangkat atau menurunkan beban secara efisien. Luas penampang ini digunakan untuk menentukan berapa banyak tekanan yang dibutuhkan agar gaya yang dihasilkan mencukupi untuk menggerakkan sistem.

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \dots \dots \dots (11)$$

Di mana:

A : luas penampang piston (mm<sup>2</sup>)  
D : diameter piston (mm)

#### (J) Klasifikasi Pemilihan Material

Pemilihan material merupakan tahap krusial yang harus mempertimbangkan kesesuaian dengan kebutuhan fungsional serta keterpaduannya dengan faktor-faktor lain. Material yang dipilih harus memiliki sifat yang mendukung kinerja produk, khususnya sifat mekanik, yaitu kemampuan material atau komponen untuk menerima beban, gaya, dan energi tanpa mengalami kerusakan.

Pada penelitian ini digunakan material baja AISI 1045, yang termasuk kategori baja karbon sedang dengan kadar karbon 0,43–0,50%. Baja karbon merupakan paduan antara besi dan karbon, di mana kandungan karbon menjadi faktor utama yang menentukan karakteristiknya. Unsur paduan lain seperti mangan, silikon, fosfor, dan

belerang umumnya hadir sebagai hasil dari proses produksi dan berpengaruh terhadap sifat material (Rifnaldi, 2019). Kode “10” pada AISI 1045 menunjukkan bahwa baja tersebut merupakan *plain carbon steel*, sedangkan angka “45” mengindikasikan kadar karbon sebesar 0,45% (Pramono, 2011). Baja AISI 1045 memiliki ketahanan aus yang baik, sehingga sesuai untuk aplikasi yang memerlukan resistansi terhadap abrasi atau pengurangan dimensi akibat gesekan. Dengan kadar karbon sedang, baja ini memiliki sifat mampu tempa, dapat mengalami proses *cold drawing*, *machining*, serta *heat treatment* (Pramono, 2011). Tabel 1 menyajikan perbandingan aspek teknis beberapa material alternatif untuk rangka.

**Tabel 1.** Pemilihan Material untuk Rangka

| Aspek            | Stainless Steel       | ASTM 36                | AISI 1045             |
|------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| Kekuatan         | Baik                  | Baik                   | Baik                  |
| Ketahanan Retak  | Baik                  | Rendah                 | Baik                  |
| Ketahanan Korosi | Tahan terhadap korosi | Rentan terhadap korosi | Tahan terhadap korosi |
| Proses Fabrikasi | Sangat mudah          | Sedikit mudah          | Mudah                 |
| Harga            | Lebih mahal           | Terjangkau             | Sedikit Terjangkau    |
| Ketersediaan     | Tersedia secara luas  | Tersedia secara luas   | Tersedia secara luas  |

Sumber: Nur & Mahjoeddin, 2023

## METODE

Penelitian ini menggunakan metode SCAMPER sebagai pendekatan kreatif untuk menghasilkan dan mengembangkan ide desain alat bantu lepas-pasang *brake cylinder* pada sistem pengereman kereta api. Sesi SCAMPER melibatkan tim perancang yang terdiri dari teknisi perawatan kereta api dan peneliti, dilaksanakan melalui diskusi terstruktur menggunakan daftar pertanyaan SCAMPER (*Substitute, Combine, Adapt, Modify, Put to Another Use, Eliminate, Reverse*) untuk mengeksplorasi alternatif desain. Ide yang dihasilkan kemudian dipilih dan dikembangkan menjadi konsep desain.

Tahap berikutnya adalah analisis ergonomi menggunakan metode RULA (*Rapid Upper Limb Assessment*) pada *software* CATIA V5, dengan proyeksi manekin tubuh orang Jepang yang dimensinya mendekati postur tubuh orang Indonesia. Analisis dilakukan pada dua skenario penggunaan: mendorong/memegang alat dan mengoperasikan dari posisi samping. Analisis struktural dilakukan menggunakan *software* Fusion 360 dengan pembebanan yang disesuaikan dengan berat *brake cylinder* dan gaya kerja teknisi. Tumpuan diberikan pada titik sambungan utama rangka alat. Parameter yang dianalisis meliputi faktor keamanan, tegangan maksimum, dan *displacement* maksimum untuk memastikan kekuatan dan kekakuan desain (Briansah, 2018).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Penerapan metode SCAMPER dalam perancangan desain pada alat bantu lepas pasang *brake cylinder* telah memenuhi beberapa prinsip pada metode SCAMPER yang dimana desain dari alat bantu mengadopsi dari produk yang sudah ada. Sebelum melakukan pengembangan untuk produk baru akan dilakukan identifikasi produk

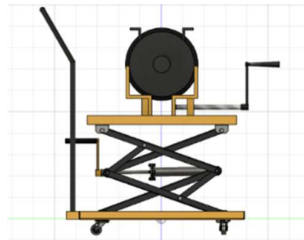
pendahulu untuk mengetahui kebutuhan pengguna dari produk yang akan dibuat. Berikut merupakan beberapa poin pada metode SCAMPER yang sudah diterapkan pada desain alat bantu lepas pasang *brake cylinder*.

#### (A) *Subtitute*

Mengganti desain alat bantu lepas pasang berbasis *scissor lift* guna untuk menjaga stabilitas dan presisi untuk menahan dan mengangkat beban dari *brake cylinder* yang dimana pada produk sebelumnya menggunakan alat yang berbasis sistem katrol. Penggantian desain produk dengan berbasis *scissor lift* memungkinkan untuk penyesuaian terhadap ketinggian secara vertikal sehingga para pekerja tidak perlu membungkuk atau mengangkat beban berat secara manual, dan mengurangi risiko kerusakan pada *brake cylinder* saat proses angkat turun karena *platform lift table* dapat menahan beban dengan stabil.



**Gambar 1.** Desain Produk Sebelumnya



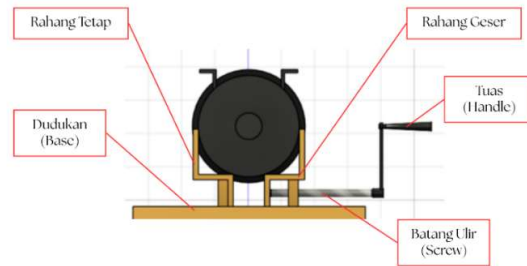
**Gambar 2.** Konsep Desain Alat Bantu Berbasis *Scissor Lift*

#### (B) *Combine*

Alat bantu lepas pasang *brake cylinder* memiliki beberapa kekurangan yang dapat di tingkatkan dengan cara mengkombinasikan dengan produk lain. Pada produk eksisting tidak ada penambahan ragum dan hanya menggunakan *table* saja pada *scissor lift*. Pengkombinasian tersebut adalah dengan penambahan rahang tetap, rahang geser, batang ulir (*screw*), tuas (*handle*), dan dudukan (*base*). Pengkombinasian dari konsep ragum pada alat bertujuan untuk memudahkan dalam penjepitan platform pada *brake cylinder*, hal ini bertujuan untuk mempermudah proses pemasangan dan pelepasan *brake cylinder*.



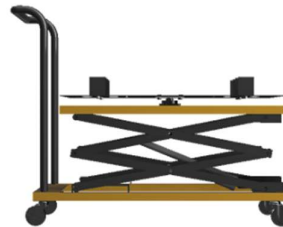
**Gambar 3.** Produk Eksisting



**Gambar 4.** Pengkombinasian Konsep Ragum

### (C) *Adapt*

Alat bantu lepas pasang *brake cylinder* akan mengadaptasi dari desain produk yang sudah ada ini disebabkan oleh kesamaan fungsi utama dari alat yang akan dibuat. Mengadaptasi bentuk dari komponen ragum yang berfungsi sebagai penjepit *brake cylinder* agar tidak bergeser saat penggunaan alat. Pada bagian ragum terdapat rahang tetap, rahang geser, tuas (*handle*), batang ulir (*screw*), dan dudukan (*base*). Modifikasi selanjutnya akan dilakukan dengan mengadaptasi komponen dari produk yang sudah ada yaitu juga menggunakan alat bantu berbasis *scissor lift* yang dimana pada bagian bawah rangka berbentuk “X” guna untuk bergerak naik dan turun untuk mengangkat serta menurunkan *brake cylinder*, diantaranya yaitu alat bantu meja lift otomatis pengangkut silinder menggunakan sistem linear aktuator elektrik.



**Gambar 5.** Produk Eksisting Alat Bantu Meja Lift Otomatis Pengangkut Silinder

### (D) *Modify*

Dari produk eksisting yang sudah ada akan dimodifikasi bentuknya agar dapat menyesuaikan dengan kebutuhan pengguna. Sebagaimana kebutuhan pengguna yang dijadikan sebagai acuan adalah sebagai berikut pada Tabel 2 berikut.

**Tabel 2.** Kebutuhan Pengguna

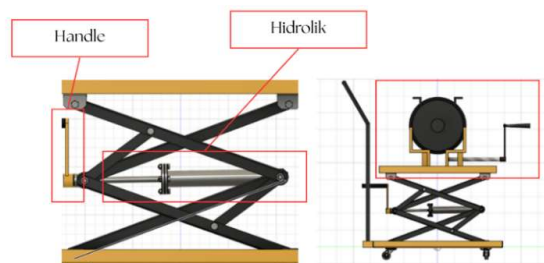
| No | Kebutuhan Pengguna                                        | Responden | Keterangan                                         |
|----|-----------------------------------------------------------|-----------|----------------------------------------------------|
| 1  | Proses dilakukan secara manual                            | 85,7%     | Mayoritas teknisi masih mengandalkan tenaga fisik  |
| 2  | Kendala utama: berat komponen <i>brake cylinder</i>       | 57,1%     | Berat komponen menjadi faktor beban fisik terbesar |
| 3  | Proses pemasangan <i>brake cylinder</i> cukup sulit       | 85,7%     | Mayoritas mengalami kesulitan saat pemasangan      |
| 4  | Mengalami kelelahan fisik akibat proses lepas-pasang      | 57,1%     | Beban fisik mempengaruhi kinerja teknisi           |
| 5  | Membutuhkan alat bantu lepas-pasang <i>brake cylinder</i> | 100%      | Seluruh responden menyatakan kebutuhan alat        |

|   |                                           |       |                                                             |
|---|-------------------------------------------|-------|-------------------------------------------------------------|
| 6 | Alat bantu memiliki pengaruh sangat besar | 71,4% | Mayoritas menilai alat bantu akan memberi dampak signifikan |
|---|-------------------------------------------|-------|-------------------------------------------------------------|

Dengan menambahkan komponen-komponen dari beberapa produk yang sudah ada, pada meja *scissor lift* akan ditambahkan dengan rahang, *handle*, batang ulir dan dudukan seperti halnya pada komponen ragam. Memodifikasi dengan memindahkan posisi hidrolik ke bagian tengah *scissor lift* dan menambahkan *handle*, yang dimana pada produk eksisting hidrolik berada pada bagian bawah *scissor lift*. Bagian untuk mobilisasi naik turun *scissor lift* akan menggunakan kendali manual berupa *handle* yang terhubung dengan hidrolik pada bagian tengah *scissor lift*.



**Gambar 6.** Produk Eksisting



**Gambar 7.** Konsep Desain Alat Bantu Berbasis *Scissor Lift*

**(E) Put to Another Use**

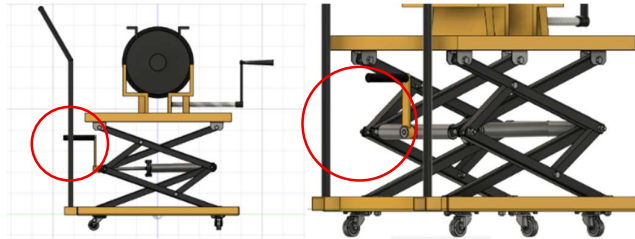
Alat yang dirancang digunakan untuk memudahkan penggunaan alat dalam proses lepas pasang *brake cylinder* sekaligus dapat disesuaikan tinggi rendahnya. Untuk pengoperasian alat dapat dikendalikan oleh 2 orang atau lebih, serta dapat digunakan pada area bengkel perawatan dan bisa dijadikan sebagai media pembelajaran dalam proses lepas pasang *brake cylinder*.

**(F) Eliminate**

Ada bagian yang perlu dihilangkan, yaitu *handle* pengatur mobilisasi naik-turun hidrolik yang digantikan dengan mekanisme lain yang lebih ergonomis dan mudah dioperasikan. Penggantian ini didasari oleh kebutuhan pengguna untuk mengurangi beban fisik pada tangan, punggung, dan bahu/leher sebagaimana yang tertuang pada Tabel 2, serta memudahkan pengoperasian oleh 1-2 orang saja. Urgensinya adalah meningkatkan kenyamanan kerja, mengurangi risiko cedera akibat postur yang tidak ideal, serta mempercepat proses pemasangan dan pelepasan *brake cylinder* tanpa mengorbankan fungsi mobilisasi hidrolik pada *scissor lift*.



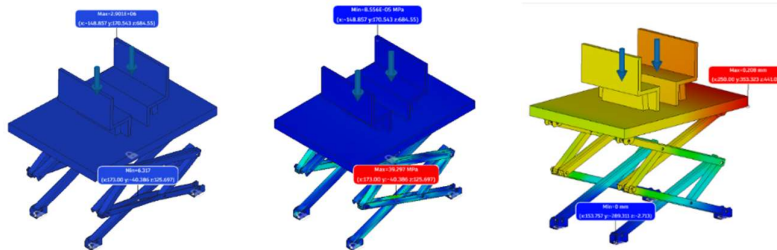
**Gambar 8.** Produk Eksisting



**Gambar 9.** Konsep Desain Alat Bantu Berbasis *Scissor Lift*

#### (G) Analisis Struktural

Analisis struktural rangka alat lepas pasang *brake cylinder* dilakukan menggunakan perangkat lunak Autodesk Fusion 360 (*student version*) dengan beban statis dan *safety factor* rencana sebesar 1,5. Material yang digunakan adalah baja AISI 1045, yang memiliki ketahanan aus tinggi. Tahapan analisis meliputi penentuan tumpuan jepit, pembebanan sebesar 490,5 N (berat *brake cylinder* 50 kg), penetapan *automatic contact* dengan toleransi 0,10 mm, proses *meshing*, *pre-check*, dan *solving* sebagaimana hasilnya ditunjukkan pada Gambar 10 dan Tabel 3 berikut.



**Gambar 10.** Hasil Simulasi *Safety Factor*, *Stress*, dan *Displacement* Pada Struktur Rangka

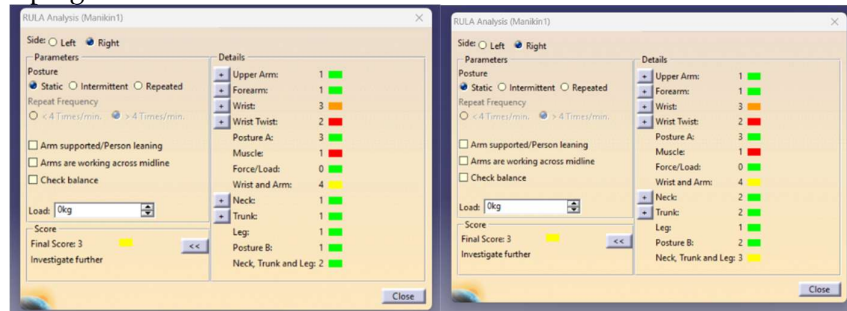
**Tabel 3.** Rangkuman Hasil Analisis Struktural

| Parameter                    | Hasil      | Batas Izin       | Keterangan             |
|------------------------------|------------|------------------|------------------------|
| <i>Safety Factor</i> minimum | 6,317      | $\geq 1,5$       | Aman                   |
| Tegangan maksimum            | 39,297 MPa | $\leq 166,7$ MPa | Aman                   |
| <i>Displacement</i> maksimum | 0,208 mm   | -                | Deformasi sangat kecil |

#### (H) Analisis Ergonomi

Analisis ergonomi dilakukan menggunakan metode RULA (*Rapid Upper Limb Assessment*) pada proyeksi manekin tubuh orang Jepang di *software* CATIA V5, yang

dipilih karena memiliki ukuran tubuh mendekati orang Indonesia. Dua skenario postur dianalisis, yaitu saat mendorong/memegang alat dan saat mengoperasikan alat dari posisi samping.



**Gambar 11.** Skor Skenario Postur Mendorong dan Mengoperasikan Alat

Kedua postur memperoleh skor RULA sebesar 3, yang menunjukkan tingkat risiko sedang dan tidak memerlukan perubahan signifikan. Namun, ditemukan ketidaksesuaian minor pada pergelangan tangan yang sedikit menekuk. Secara umum, desain dinyatakan ergonomis.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan analisis yang dilakukan, metode SCAMPER terbukti efektif sebagai pendekatan sistematis dalam pemilihan dan pengembangan desain alat bantu lepas-pasang *brake cylinder* pada sistem pengereman kereta api. Hasil analisis struktural menunjukkan faktor keamanan minimum sebesar 6,317 ( $\geq 1,5$ ), tegangan maksimum 39,297 MPa ( $\leq 166,7$  MPa), dan *displacement* maksimum 0,208 mm, yang mengindikasikan struktur aman dan deformasi sangat kecil. Analisis ergonomi menggunakan metode RULA menghasilkan skor 3 untuk kedua skenario postur, menandakan risiko cedera sedang dan tidak memerlukan perubahan signifikan, meskipun terdapat ketidaksesuaian minor pada pergelangan tangan. Desain akhir memiliki beberapa keunggulan, di antaranya meningkatkan efisiensi kerja teknisi dalam proses pemasangan dan pelepasan *brake cylinder*, mengurangi risiko kecelakaan kerja melalui minimisasi pengangkatan manual, menurunkan potensi kerusakan komponen, serta memungkinkan pengoperasian oleh 1-2 orang untuk menghemat tenaga kerja. Dengan demikian, desain ini valid secara teknis, ergonomis, dan layak untuk diterapkan di lapangan.

## REFERENSI

- Aminudin. (1988). Dasar - Dasar Metrologi Industri (Pengukuran Ulir).  
 Arrahman. (2021). Rancang Bangun Alat Bantu Meja *Lift* Otomatis Pengangkut Silinder Menggunakan Sistem Linear Aktuator Elektrik.  
 Briansah. (2018). Analisa Postur Kerja Yang Terjadi Untuk Aktivitas Dalam Proyek Konstruksi Bangunan Dengan Metode RULA di CV. Basani.  
 Firmansyah. (2022). Rancang Bangun *Motor Lift* Sistem Ulir Pada Mesin *Rotary Drum Filter* 3m.

- Hardiputra. (2018). Perancangan As Roda Troli Pemanjat Tangga Berdasarkan Analisis Tegangan Dan Faktor Keamanan *Shaft Design for Stair-Climbing Hand Truck Based On Stress Analysis And Faktor Of Safety*.
- Ibrahim. (2024). Perancangan PR *Packaging* Dengan Sentuhan Budaya Sunda Melalui Pendekatan Kreatif Pada Produk Kue Ali Agrem.
- Irawan. (2009). Elemen Mesin Pasak.
- Khoirul. (2024). *Laporan Hasil Pembelajaran Modul Perawatan Sistem Pengereman Kereta Balai Yasa Surabaya Gubeng Pt Kereta Api Indonesia (Persero) 2024*.
- Lazuardi. (2018). Perencanaan Sambungan Mur dan Baut Pada Gerobak Sampah Motor. In *Teknik Mesin ITN Malang*. 1(1).
- Momin. (2015). Design, Manufacturing & Analysis of Hydraulic Scissor Lift Department of Mechanical Engineering. *International Journal of Engineering Research and General Science*. 3(2).
- Nur, F., & Mahjoeddin, Y. (2023). Analisis sifat mekanik material baja AISI 1045 akibat perbedaan temperatur pada perlakuan panas tempering. *Jurnal Teknik Mesin*. 10(1), 1-10.
- Pahlawan. (2021). Analisis Perancangan *Frame Gokart* dari Pengaruh Pembebanan dengan Menggunakan CAD Solidworks 2016. *Jurnal METTEK*. 7(1), 1.
- Pardiyono, R., & Zairda, C. I. E. (2020). Perancangan Alat Bantu Pemindahan Brake Cylinder Di Departemen Sarana Kereta Api PT. Pindad (Persero). *Infomatek*. 22(1), 1-14.
- Pramono, A. (2011). Karakteristik Mekanik Proses Hardening Baja Aisi 1045 Media Quenching Untuk Aplikasi *Sprocket Rantai*. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*. 5(1).
- Purwanto. (2016). Elemen Mesin I.
- Rifnaldi. (2019). Pengaruh Perlakuan Panas *Hardening* dan *Tempering* Terhadap Kekerasan Baja AISI 1045.
- Sularso. (2004). Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin.
- Wahjono, H. B., Zulkarnain, A., & Rukai, R. (2018). Analisis Perhitungan Teknis Brake Cylinder 10 Inch Dan 12 Inch Pada Gerbong Terbuka (Studi kasus: Gerbong terbuka di Balai Yasa Surabaya Gubeng). *Jurnal Perkeretaapian Indonesia*. 2(1), 1-12.
- Wijaya. (2013). Industri kereta api (PT. INKA) di Madiun tahun 1981-1991. *Journal Pendidikan Sejarah*. 1(2).
- Wirawan. (2021). Peningkatan Kopetensi Tenaga Perawat Sarana Perkeretaapian Pada Bidang Dasar Teknologi Sistem Pengereman. 1.