

Perancangan Ulang *Lifting Table* sebagai Alat Bantu *Welder* di Industri *Pressure Vessel*

Maulana Putra Setiawan ^{1*}, I Putu Sindhu Asmara ², Tri Andi Setiawan ³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1*,3}

Program Studi Teknik Perancangan dan Kontruksi Kapal, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia²

Email: maulanaputra12345@gmail.com^{1*}; putusindhu@ppns.ac.id²; triandis@ppns.ac.id³

Abstract – *Lifting table* is a tool to help welders who do welding in high places. *Pressure vessel* industry does not have drawings data of *lifting table* so that there are no guidelines for the manufacturing flow, according to questionnaires and interviews with welders, this *lifting table* does not have mobility and its operation still involves 2 (two) workers so it is less efficient. Drawings data of existing products and redesign product *lifting table* were made using the Ulrich Method by selecting 1 (one) best concept from several concepts that had been previously selected, then do strength analysis, ergonomics analysis and production cost analysis. Based on the results of the analysis, existing product *lifting table* has a 42,17 kN buckling value, work platform stress analysis is 16,71 MPa and a ladder stress analysis is 8,62 MPa. The redesign product of *lifting table* has a minimum buckling value of 67,56 kN, a stress value of 9,22 N/mm² and a deflection value of 2.64 mm, a redesign *lifting table* has 4 score in ergonomics analysis and Rp. 9,604,000 to manufacture it.

Keyword: Ergonomic, lift table, pressure vessel, ulrich method and welding

Nomenclature

P_m	Kekuatan aksial minimal (N)
M_{maks}	Momen maksimum (N.m)
σ_{izin}	Tegangan izin (N/mm ²)
I	Momen Inersia (mm ⁴)
Z	Modulus penampang
σ	Tegangan (N/mm ²)
δ_{izin}	Defleksi izin (mm)
δ	Defleksi (mm)

1. PENDAHULUAN

Industri *pressure vessel* membutuhkan alat untuk membantu pekerjaan pengelasan yang mudah dioperasikan untuk menunjang kebutuhan produksi yang dituntut untuk cepat dan aman, alat bantu yang paling efektif adalah *lifting table*. *Lifting table* membantu *welder* menyesuaikan posisi pengelasan terbaik sehingga hasil pengelasan juga menjadi lebih baik, peran *lifting table* ini sangat vital karena menyangkut pekerjaan pengelasan yang merupakan salah satu faktor penentu kualitas produk *pressure vessel*. *Lifting table* yang digunakan di industri *pressure vessel* merupakan produksi mandiri, keuntungan yang didapat adalah biaya produksi terjangkau dan proses manufaktur *lifting table* yang cepat. Masalah pada *lifting table* adalah tidak adanya data gambar kerja dan analisis kekuatan sehingga belum memenuhi standar proses produksi dan keamanan, masalah kedua adalah pengoperasian *lifting table* membutuhkan 2 (dua) pekerja sehingga kurang efisien dan masalah terakhir adalah *lifting table* tidak dapat dipindahkan ke tempat lain kecuali menggunakan bantuan *crane*.

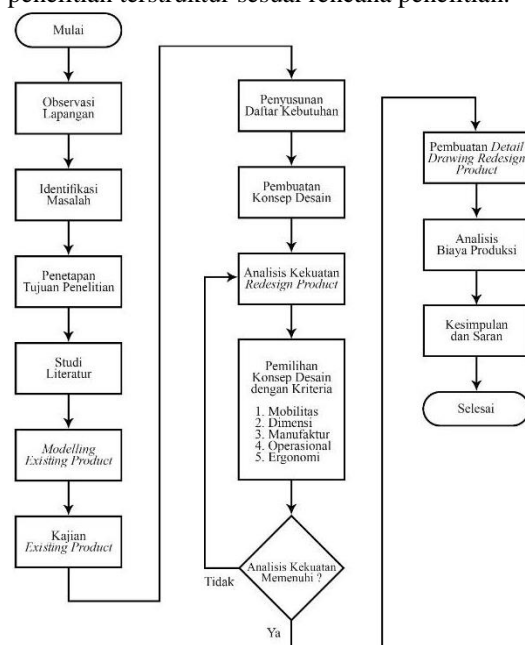
Penelitian ini memiliki 2 (dua) *output* produk

yaitu *existing product* dan *redesign product* yang dibahas pada segi *modelling* dan analisis kemudian dilanjutkan perhitungan biaya produksi dan perbandingan di antara kedua produk tersebut. Produk ditempatkan pada permukaan yang datar dengan berat *welder* yang naik ke atas *lifting table* seberat 90 kg dan kekuatan las dianggap memenuhi kriteria pengelasan.

2. METODOLOGI

2.1 Flowchart

Penelitian dilakukan berdasarkan tahapan *flowchart* di bawah ini dengan tujuan agar penelitian terstruktur sesuai rencana penelitian.



Gambar 1 Flowchart Penelitian

2.2 Metode Ulrich

Penelitian *lifting table* ini menggunakan Metode Ulrich, tahap awal yaitu menyusun daftar kebutuhan produk melalui kuesioner dan wawancara kemudian merancang 3 konsep desain produk yang nantinya dipilih 1 konsep desain terbaik sesuai dengan penilaian tertinggi [1].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kajian Existing Product

Lifting table yang sudah ada di industri *pressure vessel* memiliki dimensi sebagai berikut:

Tabel 1 Spesifikasi Existing Product

Nama	Dimensi (cm)
Kaki Concrete	Panjang : 100
	Lebar : 82
	Tinggi : 60
Tangga	Panjang : 24
	Diameter : 3
Table	Panjang : 136
	Lebar : 75
	Tebal : 1
Pelat Bracket dan Plat Alas	Plat Bracket
	Panjang : 85
	Lebar : 33
	Tebal : 1
	Pelat Alas
	Panjang : 85
Lebar : 6	
Tebal : 1	
Lifting Lug	Straight : 55
	Radius R : 12
	Radius r : 11

Analisis diterapkan pada bagian-bagian *lifting table* yang terkena kontak langsung dengan *welder*. Analisis *buckling* diterapkan pada struktur utama untuk mengetahui kemampuan menahan beban *buckling* minimal (P_m) sebagai berikut.

$$P_m = F_{cr} \times A_g \quad (1)$$

$$F_{cr} = \text{Gaya kritis (MPa)}$$

$$A_g = \text{Luas penampang (mm}^2\text{)}$$

Diketahui:

$$F_{cr} = 4098,91 \text{ MPa}$$

$$A_g = 309 \text{ mm}^2$$

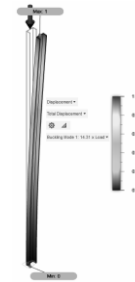
Sehingga:

$$P_m = F_{cr} \times A_g$$

$$= 4098,91 \times 309$$

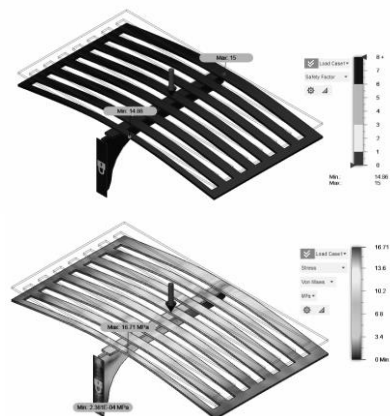
$$= 1266565,18 \text{ N}$$

Validasi dilakukan dengan bantuan *software* dan didapatkan nilai $14,31 \times \text{load}$ atau $42114,33 \text{ N}$ sehingga nilai tersebut tidak melebihi P_m dan dikatakan aman [2].

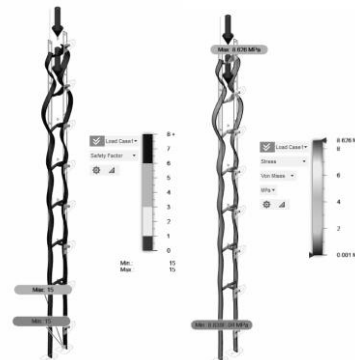


Gambar 2. Analisis Buckling Struktur Utama Existing Product

Analisis *stress* atau tegangan dan analisis *safety factor* juga diterapkan dengan batasan atas tegangan $83,33 \text{ MPa}$ dan *safety factor* terindikasi centang biru, analisis tersebut diterapkan pada *table* dan tangga.



Gambar 3. Analisis Stress dan Safety Factor Table



Gambar 4. Analisis Stress dan Safety Factor Tangga

Kedua bagian tersebut memiliki nilai yang tidak melebihi batasan atas yaitu tegangan pada *table* sebesar $16,71 \text{ MPa}$ dengan indikasi centang biru serta $8,62 \text{ MPa}$ untuk analisis *stress* tangga dengan indikasi centang biru maka kedua bagian yang sering berkontak dengan *welder* tersebut aman.

3.2 Penyusunan Daftar Kebutuhan

Daftar kebutuhan diperoleh melalui kuesioner dan wawancara terhadap *welder* yang ada di industri *pressure vessel*, tujuan dari penyusunan daftar kebutuhan adalah mengetahui permasalahan yang ada pada *lifting table*

kemudian dilakukan pemecahan masalah melalui pendekatan ilmiah [3].

Tabel 2: Daftar Kebutuhan

Daftar Kebutuhan		
S / H	Aspek	Penanggung Jawab
S S H	Kekuatan dan Keamanan a. Kuat menahan beban <i>welder</i> b. Mudah digunakan c. Tidak mudah rusak	Tim Desain
S S	Manufaktur dan Perakitan a. Dapat dimanufaktur b. Mudah dirakit	Tim Manufaktur
S S S S	Model a. Dimensi tampak atas tidak lebih dari 1,5 meter b. <i>Work platform</i> dapat bergerak vertikal dengan bebas c. <i>Work platform</i> dapat terangkat setinggi 3 meter d. <i>Lifting table</i> memiliki mobilitas	Tim Desain dan Manufaktur
S H	Pemeliharaan dan Perawatan a. Mudah dalam perawatan komponen b. Mudah diperbaiki jika terdapat kerusakan	Tim Manufaktur
S	Biaya/Harga Biaya produksi dalam batas wajar	Tim Desain dan Manufaktur

3.3 Pembuatan Konsep Desain

Daftar kebutuhan digunakan sebagai acuan dalam pembuatan 3 (tiga) konsep desain *redesign lifting table* yang nantinya dipilih 1 konsep desain terbaik yang dijadikan *output* dalam penelitian ini.

3.4 Analisis dan Perhitungan Kekuatan Redesign Product

Analisis dan perhitungan pertama adalah analisis *buckling* yang diterapkan pada struktur utama untuk mengetahui kemampuan menahan beban *buckling* minimal (P_m) sebagai berikut.

$$P_m = F_{cr} \times A_g$$

$$F_{cr} = \text{Gaya kritis (MPa)}$$

$$A_g = \text{Luas penampang (mm}^2\text{)}$$

Diketahui:

$$F_{cr} = 5270,47 \text{ MPa}$$

$$A_g = 272 \text{ mm}^2$$

Sehingga:

$$P_m = F_{cr} \times A_g$$

$$= 5270,47 \times 272$$

$$= 1433567,84 \text{ N}$$

Validasi dilakukan dengan bantuan *software* dan didapatkan nilai 35,32 x load atau 67565,39 N sehingga nilai tersebut tidak melebihi P_m dan dikatakan aman.



Gambar 5. Analisis Buckling Struktur Utama Redesign Product

Analisis kekuatan kaki dilakukan setelah mengetahui kekuatan struktur utama, analisis dilakukan untuk mengetahui tegangan dan defleksi pada struktur kaki, untuk mencari tegangan dan defleksi perlu diketahui momen maksimal, modulus penampang dan momen inersia. Untuk mencari momen maksimum dilakukan perhitungan sebagai berikut [4]:

$$M = F \times l \quad (2)$$

Dimana:

$$M = \text{Momen (N.m)}$$

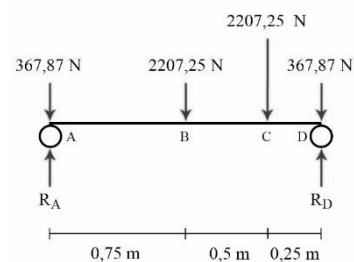
$$F = \text{Gaya (N)}$$

$$l = \text{Panjang lengan (m)}$$

Maka perhitungan momen kaki diterapkan pada setiap konsep desain sebagai berikut:

1. Momen Maksimum Konsep Desain 1

Perhitungan dilakukan dengan kondisi gaya dan tumpuan sebagai berikut:



Gambar 6. Gaya dan Tumpuan pada Konsep Desain 1

$$\Sigma M_A = (F_B \times l_B) + (F_C \times l_C) + (F_D \times l_D) - (R_D \times l_D)$$

$$0 = (2207,25 \times 0,75) + (2207,25 \times 1,25) + (367,87 \times 1,5) - (R_D \times 1,5)$$

$$R_A = 3310,87 \text{ N } (\uparrow)$$

$$\Sigma M_D = (F_C \times l_C) + (F_B \times l_B) + (F_A \times l_A) - (R_A \times l_A)$$

$$0 = (2207,25 \times 0,25) + (2207,25 \times 0,75) + (367,87 \times 1,5) - (R_A \times 1,5)$$

$$R_D = 1839,36 \text{ N } (\uparrow)$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan momen maksimum di titik B dan C sebagai berikut:

$$\Sigma M_B = (R_A \times l_A) + (F_A \times l_A)$$

$$= (3310,87 \times 0,75) - (367,87 \times 0,75)$$

$$= 2207,25 \text{ N.m}$$

$$\Sigma M_C = (R_D \times l_D) + (F_D \times l_D)$$

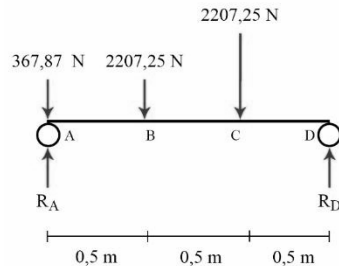
$$= (1839,36 \times 0,25) - (367,87 \times 0,25)$$

$$= 367,87 \text{ N.m}$$

Maka momen maksimum pada kaki konsep desain 1 ada di titik B sebesar 2207,25 N.m

2. Momen Maksimum Konsep Desain 2

Perhitungan dilakukan dengan kondisi gaya dan tumpuan sebagai berikut:



Gambar 7. Gaya dan Tumpuan pada Konsep Desain 2

$$\Sigma M_A = (F_B \times l_B) + (F_C \times l_C) - (R_D \times l_D)$$

$$0 = (2207,25 \times 0,5) + (2207,25 \times 1) - (R_D \times 1,5)$$

$$R_A = 2207,24 \text{ N } (\uparrow)$$

$$\Sigma M_D = (F_C \times l_C) + (F_B \times l_B) + (F_A \times l_A) - (R_A \times l_A)$$

$$0 = (2207,25 \times 0,5) + (2207,25 \times 1) + (367,87 \times 1,5) - (R_A \times 1,5)$$

$$R_D = 2575,12 \text{ N } (\uparrow)$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan momen maksimum di titik B dan C sebagai berikut:

$$\Sigma M_B = (R_A \times l_A) + (F_A \times l_A)$$

$$= (2207,24 \times 0,5) - (367,87 \times 0,5)$$

$$= 919,68 \text{ N.m}$$

$$\Sigma M_C = (R_D \times l_D)$$

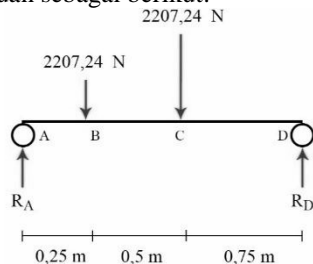
$$= (2575,12 \times 0,5)$$

$$= 1287,56 \text{ N.m}$$

Maka momen maksimum pada kaki konsep desain 2 ada di titik C sebesar 1287,56 N.m

3. Momen Maksimum Konsep Desain 3

Perhitungan dilakukan dengan kondisi gaya dan tumpuan sebagai berikut:



Gambar 8. Gaya dan Tumpuan pada Konsep Desain 3

$$\Sigma M_A = (F_B \times l_B) + (F_C \times l_C) - (R_D \times l_D)$$

$$0 = (2207,24 \times 0,25) + (2207,24 \times 0,75) - (R_D \times 1,5)$$

$$R_A = 1471,49 \text{ N } (\uparrow)$$

$$\Sigma M_D = (F_C \times l_C) + (F_B \times l_B) + (F_A \times l_A) - (R_A \times l_A)$$

$$0 = (2207,24 \times 0,75) + (2207,24 \times 1,25) - (R_A \times 1,5)$$

$$R_D = 2942,98 \text{ N } (\uparrow)$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan momen maksimum di titik B dan C sebagai berikut:

$$\Sigma M_B = (R_A \times l_A)$$

$$= (1471,49 \times 0,25)$$

$$= 367,87 \text{ N.m}$$

$$\Sigma M_C = (R_D \times l_D)$$

$$= (2942,98 \times 0,75)$$

$$= 2207,23 \text{ N.m}$$

Maka momen maksimum pada kaki konsep desain 3 ada di titik C sebesar 2207,23 N.m kemudian dilakukan perhitungan tegangan izin untuk mencari modulus penampang minimum.

$$\sigma_{izin} = \frac{\sigma_y}{Sf} \quad (3)$$

Dimana:

σ_{izin} = Tegangan izin (N/mm²)

σ_y = Yield point (N/mm²)

Sf = Safety factor

Sehingga perhitungan tegangan izin untuk kaki redesign lifting table adalah:

$$\sigma_{izin} = \frac{\sigma_y}{Sf}$$

$$= \frac{345}{3}$$

$$= 115 \text{ N/mm}^2$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan modulus penampang minimum untuk mengetahui profil yang efektif untuk menahan beban yang diberikan.

$$Z_{maksimal} = \frac{M_{maksimal}}{\sigma_{izin}} \quad (4)$$

Dimana:

Z = Modulus penampang minimum (cm³)

M_{maksimal} = Momen maksimal (N.mm)

σ_{izin} = Tegangan izin (N/mm²)

Sehingga perhitungannya adalah:

$$Z_{maksimal} = \frac{M_{maksimal}}{\sigma_{izin}}$$

$$= \frac{2207235}{115}$$

$$= 19193,34 \text{ mm}^3$$

$$= 19,19 \text{ cm}^3$$

Analisis dan perhitungan dilanjutkan dengan mencari momen inersia profil WF yang dipakai pada struktur kaki lifting table dengan cara membagi penampang profil WF menjadi 3 bagian utama dan digabung menurut rumus momen inersia sebagai berikut:

$$I_I = I_x + A \cdot (y)^2 \quad (5)$$

Dimana:

I = Momen inersia (mm⁴)

I_x = Inersia tiap penampang (mm⁴)

A = Luas penampang (mm²)

y = Titik pusat - titik berat (mm)

Sehingga perhitungan momen inersia profil WF untuk struktur kaki lifting table adalah:

$$I_I = I_x + A \cdot (y)^2$$

$$= 19410,41 + 1925 \times (169,5 - 87,5)^2$$

$$= 19410,41 + 1925 \times 6724$$

$$= 12963110,41 \text{ mm}^4$$

$$I_{II} = I_x + A \cdot (y)^2$$

$$\begin{aligned}
 &= 2238485,62 + 1147,5 \times (87,5 - 87,5)^2 \\
 &= 2238485,62 + 1147,5 \times 0 \\
 &= 2238485,62 \text{ mm}^4 \\
 I_{III} &= I_x + A \cdot (y)^2 \\
 &= 19410,41 + 1925 \times (5,5 - 87,5)^2 \\
 &= 19410,41 + 1925 \times 6724 \\
 &= 12963110,41 \text{ mm}^4 \\
 I_{total} &= 28164706,44 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Langkah selanjutnya mencari tegangan normal struktur kaki *lifting table* sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{M_{max}}{I} \quad (6)$$

Dimana:

σ_{normal} = Tegangan (N/mm²)

$M_{maksimal}$ = Momen bending (N.mm)

I = Momen inersia (mm⁴)

y = Koordinat titik berat sumbu y (mm)

Sehingga perhitungan tegangan normal *lifting table* adalah:

$$\begin{aligned}
 \sigma &= \frac{M_{max}}{I} \\
 &= \frac{2207235}{\frac{28164706,44}{87,5}} \\
 &= 6,8 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Perhitungan dilanjutkan dengan mencari nilai defleksi izin dan defleksi normal dengan syarat defleksi normal tidak boleh melebihi defleksi izin.

$$\delta_{Izin} = \frac{l}{300}$$

Dimana:

δ_{Izin} = Defleksi izin (mm)

L = Panjang profil (mm)

Sehingga perhitungan defleksi izin sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \delta_{Izin} &= \frac{l}{300} \\
 &= \frac{1500}{300} \\
 &= 5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\delta = \frac{P \times l^3}{E \times I}$$

Dimana:

δ = Defleksi normal (mm)

P = Beban (N)

l = Panjang struktur (mm)

E = Modulus elastisitas (N/mm²)

I = Momen Inersia (mm⁴)

Sehingga perhitungan defleksi normal sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \delta &= \frac{P \times l^3}{E \times I} \\
 &= \frac{4414,5 \times 1500^3}{200000 \times 28164706,44} \\
 &= 2,64 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan dan analisis di atas, dapat disimpulkan bahwa kekuatan *redesign product lifting table* memenuhi dan siap dilakukan tahapan pemilihan konsep.

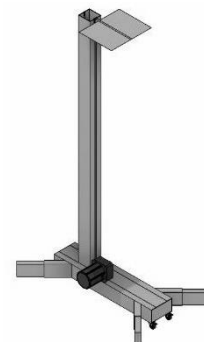
3.5 Pemilihan Konsep

Konsep yang memiliki nilai tertinggi dipilih untuk diteruskan ke tahap selanjutnya hingga pada akhir penelitian akan dilakukan penggambaran *detail engineering drawing*, pemilihan dilakukan dengan matriks penilaian konsep dengan nilai pembobotan sesuai dengan kuesioner dan wawancara *welder*.

Tabel 3: Matriks Penilaian Konsep

Matriks Penilaian Konsep									
Kriteria Seleksi	Bobot	Konsep Produk dan Referensi							
		Konsep 1		Konsep 2		Konsep 3		Referensi	
		R	S	R	S	R	S	R	S
Mobilitas	25%	5	1,25	3	0,75	4	1	3	0,75
Dimensi	25%	2	0,5	3	0,75	4	1	3	0,75
Manufaktur	15%	3	0,45	4	0,6	5	0,75	3	0,45
Operasional	20%	5	1	5	1	5	1	3	0,6
Ergonomi	15%	3	0,45	3	0,45	3	0,45	3	0,45
Nilai Absolut		18	3,65	18	3,55	20	4,2	15	3,0
Nilai Relatif (%)		25,35	25,79	25,35	25,08	28,16	27,91	21,12	21,20
Ranking		2		3		1		4	

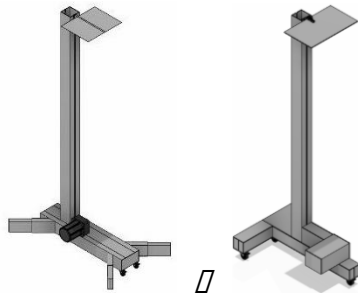
Berdasarkan Tabel 3 di atas maka dapat diketahui konsep desain dengan nilai tertinggi adalah konsep desain 2. Konsep desain 2 dapat dilihat pada Gambar 9 berikut.



Gambar 9. Konsep Desain Terpilih

3.6 Optimasi Bentuk Desain Terpilih

Optimasi dimensi dan bentuk konsep desain terpilih dilakukan agar desain semakin efisien dari segi dimensi, operasional dan kekuatan sehingga didapatkan konsep optimasi seperti pada Gambar 10 di bawah ini.



Gambar 10. Optimasi Konsep Desain Terpilih

3.7 Analisis Biaya Produksi

Analisis biaya produksi perlu dilakukan untuk mengetahui kebutuhan biaya yang diperlukan agar dapat melakukan fabrikasi 1 (satu) produk *lifting table*, pada penelitian ini, analisis biaya produksi diterapkan untuk *redesign product lifting table* yang telah terpilih dalam kriteria pemilihan konsep.

$$\begin{aligned}\text{Biaya Total} &= \text{Bahan baku dan fabrikasi} + \\ &\quad \text{komponen} \\ &= \text{Rp } 7.146.000 + \text{Rp } 2.458.000 \\ &= \text{Rp } 9.604.000\end{aligned}$$

Jadi, biaya total dari proses pembuatan *redesign product lifting table* ini adalah Rp 9.604.000

3.8 Perbandingan Existing Product dengan Redesign Product

1. Bentuk *work platform* atau *table* yang berbeda. *Existing product* memiliki dimensi yang lebih besar, sedangkan *redesign product* memiliki dimensi yang lebih kecil agar tidak terlalu berat. *Redesign work platform* juga solid tidak terdapat lubang-lubang untuk menjaga keselamatan *welder*.
2. *Redesign product* tidak memiliki tangga karena fungsi tangga yang semula digunakan untuk fasilitas *welder* naik ke *lifting table*, sudah tergantikan oleh *work platform* yang dapat naik dan turun secara otomatis sehingga *welder* hanya perlu menurunkan *work platform* kemudian naik.
3. *Redesign product* memiliki sistem katrol yang lebih kompleks karena menggunakan motor hoist sebagai sarana penggerak *work platform*.
4. *Redesign lifting table* memiliki roda dan kaki yang menjaga keseimbangan *redesign lifting table* saat bergerak.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang berjudul “Perancangan Ulang *Lifting Table* sebagai Alat Bantu *Welder* di Industri *Pressure Vessel*” maka dapat disimpulkan:

1. *Modelling existing product lifting table* dibuat menggunakan bantuan *software* Autodesk Fusion 360 *Student Version* dengan hasil sebagaimana pada lampiran. *Existing product*

memiliki kekuatan yang memenuhi, dibuktikan dengan hasil analisis *buckling* 42,17 kN lebih kecil daripada batas izin *buckling* yaitu 1139,9 kN sanggup menahan beban *welder* dengan berat 90 kg dengan analisis *stress* 16,71 MPa pada bagian *work platform* serta analisis *stress* pada tangga menunjukkan nilai terbesar 8,62 MPa.

2. *Modelling redesign product lifting table* dibuat menggunakan bantuan *software* Autodesk Fusion 360 *Student Version* dengan hasil sebagaimana pada lampiran. *Redesign product lifting table* memiliki kekuatan yang memenuhi, dibuktikan dengan hasil analisis *buckling* dengan nilai 67,680 kN lebih kecil daripada nilai *buckling* izin yaitu 1289,7 kN. Nilai tegangan sebesar 5,4 N/mm² berdasarkan persamaan 4.22 dan nilai tegangan berdasarkan analisis dengan bantuan *software* adalah 8,009 N/mm², keduanya lebih kecil daripada nilai tegangan izin yaitu 115 N/mm². Nilai defleksi normal menurut persamaan 4.24 sebesar 1,9 mm sedangkan nilai defleksi menurut analisis *software* adalah 0,01 mm, keduanya lebih kecil daripada nilai defleksi izin yaitu 5 mm.
3. *Redesign lifting table* memiliki total biaya produksi sebesar Rp 9.604.000 atau sembilan juta enam ratus empat ribu rupiah.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada keluarga, dosen pembimbing, teman-teman, dan semua pihak yang mendukung selesainya penelitian ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

7. PUSTAKA

- [1] Ulrich, K. T., & Epingner, S. D. (2001). *Product Design and Development*. McGraw-Hill. Inc. Amerika
- [2] Badan Standar Nasional. 2020. SNI 1729-2020 Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural
- [3] Batan, L. (2012). *Desain Produk*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- [4] Popov, E. P. (1984). *Mekanika Teknik (Mechanics Of Material)*. Erlangga. Jakarta