

Perancangan *Blind Flange Multi-Size* pada *Tube Bundle Heat Exchanger* sebagai Alat Bantu Tes Hidrostatik

Ananda Maulana Rachmat Dhani^{1*}, Mohammad M. Munir², dan Dhika A. Purnomo¹

¹ Teknik Desain dan Manufaktur, Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya,

² Teknik Pengelasan, Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

Email: anandamaulana@student.ppn.ac.id

Abstract

The hydrostatic testing process on tube bundle heat exchanger at PT. PAL Indonesia needs a tool called a blind flange. In this research object PT. PAL Indonesia produces 14 tube bundles with five different types. Each tube bundle type requires one pair of blind flanges, which will be placed on the fixed tube sheet, and a floating tube sheet for five pairs of blind flanges. This amount makes it difficult for the company to store and maintain blind flange products. Poor product maintenance will also impact the physical development, product function, and product life. This study aims to design a multi-size blind flange with a more functional design, ease of maintenance, and more economical manufacturing costs. This study refers to the flange design standards: ASME Section VIII Division 1 and the finite element method. The new concept produces static stress analysis, which has a safe value with a safety factor value of 3.868 and a von Misses stress of 115.2 MPa for fixed tube sheets. Meanwhile, the floating tube sheet produces a safety factor value of 3.676 and a von Misses stress of 122.4 MPa. The new concept costs Rp.488,510,757, which saves 17.18% of the cost of the existing product.

Keywords: *Blind Flange, Blind Flange Multi-size, Finite Element Method, Static Stress, Tube Bundle*

Nomenclature

<i>a</i>	= Nominal bolt diameter (in)
<i>b</i>	= Effective gasket seating width (in)
<i>C</i>	= Factor flat heads and covers
<i>CA</i>	= Corrosion allowance (in)
<i>d</i>	= Diameter atau bentang pendek (in)
<i>do</i>	= Outer diameter gasket (in)
<i>di</i>	= Inner diameter gasket (in)
<i>E</i>	= Joint Efficiency
<i>G</i>	= Diameter at location of gasket load reaction (in)
<i>H</i>	= Total hydrostatic end force (lb)
<i>m</i>	= Gasket factor
<i>P</i>	= Internal design pressure (psig)
<i>S</i>	= Maximum Allowable Stress Values Material (psi)
<i>t</i>	= Flange thickness requirements (in)
<i>y</i>	= Min. design seating stress (psi)

1. PENDAHULUAN

Pada dunia industri, bejana tekan digunakan pada industri perminyakan, bahan kimia, petrokimia, menara distilasi, reaktor nuklir, dan penyimpanan gas alam. Umumnya standar yang digunakan dalam mendesain bejana tekan mengacu pada ASME Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC). ASME BPVC Section VIII Division 1 telah mengatur mengenai desain,

fabrikasi, instalasi, inspeksi, dan perawatan pada bejana tekan. Pada bejana tekan terdapat berbagai macam jenis yang salah satunya adalah *heat exchanger*. Dalam perawatan *heat exchanger*, bagian *tube bundle* memiliki kemungkinan untuk dilakukan rekondisi dengan pergantian seluruh komponen pada *tube bundle*.

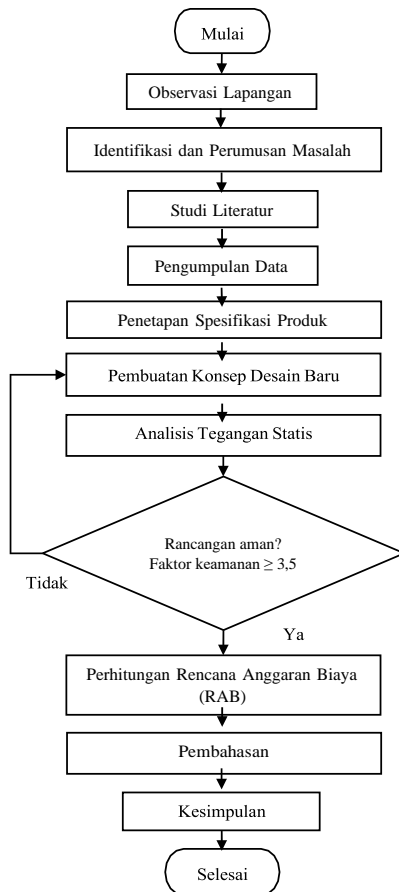
Dalam objek penelitian ini PT. X memproduksi sebanyak 14 buah *tube bundle* dengan 5 tipe yang berbeda. Selanjutnya dalam salah satu proses manufaktur pada *tube bundle* terdapat pengujian hidrostatik guna mengetahui kekuatan dan kebocorannya. Pengujian hidrostatik melibatkan pengisian bejana atau sistem pipa dengan cairan seperti halnya air untuk membantu mendeteksi kebocoran visual dengan tekanan uji yang telah ditentukan. Pada pengujian hidrostatik ini membutuhkan komponen tambahan yang disebut dengan *blind flange*. Setiap tipe *tube bundle* membutuhkan satu pasang *blind flange* yang akan ditempatkan di *fixed tube sheet* dan *floating tube sheet* dengan total membutuhkan sebanyak 5 pasang *blind flange*. Dengan jumlah tersebut membuat perusahaan kesulitan dalam melakukan penyimpanan dan perawatan produk *blind flange*. Perawatan produk yang buruk juga akan berdampak pada fisik produk, fungsi produk dan umur pakai produk.

^{1*} Penulis korespondensi

Penelitian ini bertujuan untuk merancang *blindflange multi-size* dengan desain yang lebih fungsional dengan kemudahan perawatan serta biaya manufaktur yang lebih ekonomis. Selanjutnya dilakukan simulasi tegangan statis pada desain *blindflange multi-size* untuk mengetahui ketahanan terhadap tekanan hidrostatik sebesar 567 Psi.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Diagram Alir



Gambar 1. Diagram Alir

2.2 Metode Elemen Hingga

exchanger jenis STHE. 5 Tipe tersebut yaitu E-14-003, E-14-006, E-14-009, E-14-010, dan E-14-011 dimana penamaan dari tipe tersebut berdasarkan dari *client datatube bundle*. Perbedaan dari kelima tipe *blind flange* tersebut yaitu terletak pada dimensinya. Pada produk *existing*, *blind plate* berupa *flat heads* dengan tambahan plat penegar. Pada *existing* produk menggunakan material A36. Adapun spesifikasi *blind flange* pada *existing* produk ditunjukkan pada Tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Spesifikasi *Existing Produk Blind Flange*

Komponen	Dimensi (mm)
<i>Untuk Fixed Tube Sheet</i>	
<i>Inner Diameter Blind Flange</i> Kode E-14-003	1000
<i>Inner Diameter Blind Flange</i> Kode E-14-006	1108
<i>Inner Diameter Blind Flange</i> Kode E-14-009	1108
<i>Inner Diameter Blind Flange</i> Kode E-14-010	1218
<i>Inner Diameter Blind Flange</i> Kode E-14-011	1350
<i>Tube Sheet</i> Kode E-14-003	91t x Ø1105
<i>Tube Sheet</i> Kode E-14-006	103t x Ø1215
<i>Tube Sheet</i> Kode E-14-009	103t x Ø1210
<i>Tube Sheet</i> Kode E-14-010	107t x Ø1315
<i>Tube Sheet</i> Kode E-14-011	117t x Ø1485
<i>Gasket</i> Kode E-14-011	3t x Ø1485
<i>Untuk Floating Tube Sheet</i>	
<i>Inner Diameter Blind Flange</i> Kode E-14-003	964
<i>Inner Diameter Blind Flange</i> Kode E-14-006	1064
<i>Inner Diameter Blind Flange</i> Kode E-14-009	1063
<i>Inner Diameter Blind Flange</i> Kode E-14-010	1164
<i>Inner Diameter Blind Flange</i> Kode E-14-011	1314
<i>Tube Sheet</i> Kode E-14-003	91t x Ø990
<i>Tube Sheet</i> Kode E-14-006	103t x Ø1090
<i>Tube Sheet</i> Kode E-14-009	103t x Ø1090
<i>Tube Sheet</i> Kode E-14-010	107t x Ø1190
<i>Tube Sheet</i> Kode E-14-011	117t x Ø1340
<i>Gasket</i> Kode E-14-011	3t x Ø1340

Untuk mengetahui kekuatan struktur dari *existing* produk perlu melakukan simulasi tegangan statis dengan memberikan beban berupa tekanan hidrostatik sebesar 567 psi. Simulasi dilakukan pada *existing* produk kode E-14-011. Langkah ini menggunakan bantuan *software* Autodesk Fusion 360.

a. Simulasi Tegangan Statis *Existing Produk* untuk *Fixed Tube Sheet*

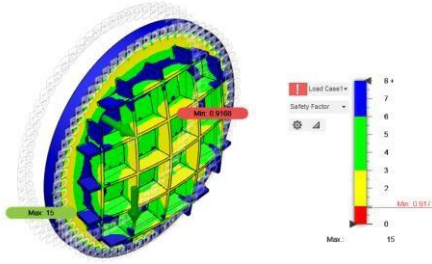
Pada hasil simulasi tegangan statis pada *existing* produk menunjukkan nilai minimum faktor

Metode Elemen Hingga (MEH) merupakan metode numerik yang digunakan dalam menyelesaikan masalah teknik dan matematis dari suatu gejala *physis* yang didapatkan dari persamaan diferensial maupun integral. Umumnya, masalah yang biasa diatasi dengan metode ini adalah pada analisa struktur (seperti tegangan, tekuk, getaran, dan lain-lain), perpindahan panas, aliran fluida, perpindahan massa, dan elektromagnetik.

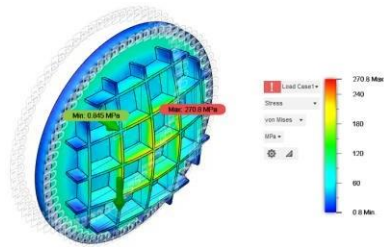
3. HASIL DAN DISKUSI

3.1. Kajian *Existing Produk*

Pada kajian produk *existing* meliputi produk *blind flange* dengan 5 tipe untuk *fixed tube sheet* dan *floating tube sheet* yang sudah diproduksi oleh PT. X sebagai alat bantu pada tes hidrostatik *tube bundle heat*



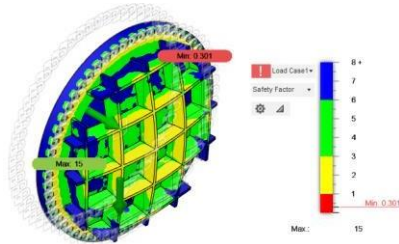
Gambar 2. Hasil Faktor Keamanan *Existing* Produk untuk *Fixed Tube Sheet*



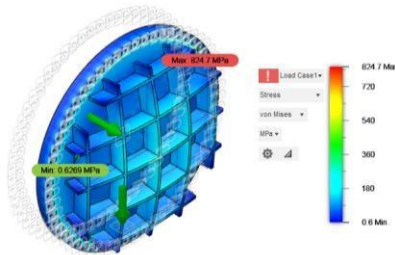
Gambar 3. Hasil Tegangan Von Misses Existing Produk untuk Fixed Tube Sheet

b. Simulasi Tegangan Statis Existing Produk untuk Floating Tube Sheet

Pada hasil simulasi tegangan statis pada existing produk menunjukkan nilai minimum faktor keamanannya sebesar 0,301 dan tegangan von misses nya sebesar 824,7 Mpa.



Gambar 4. Hasil Faktor Keamanan Existing Produk untuk Fixed Tube Sheet



Gambar 5. Hasil Tegangan Von Misses Existing Produk untuk Floating Tube Sheet

Sehingga pada Tabel 2 menunjukkan data kekuatan struktur existing produk yang akan dijadikan pembandingan dengan konsep baru sebagai berikut:

Tabel 2. Kekuatan Struktur Existing Produk

Keterangan	Jenis	Nilai	Batasan
Faktor Keamanan	Fixed Tube Sheet	0,9168	1,5
	Floating Tube Sheet	0,301	
Rata-rata faktor keamanan		0,609	
Tegangan Von Misses (Mpa)	Fixed Tube Sheet	270,8	165,47
	Floating Tube Sheet	824,7	
Rata-rata tegangan von misses		547,75	

Hasil simulasi tegangan statis pada existing produk menunjukkan bahwa produk masih dibawah faktor keamanan dan tegangan von misses nya diatas tegangan ijinnya.

Selanjutnya pada proses manufaktur produk existing blind flange meliputi biaya material, bahanhabis pakai, dan biaya jasa fabrikasi. Total biaya

manufaktur dari produk *existing* akan digunakan sebagai pembandingan dengan rencana anggaran biaya pada konsep desain baru. Untuk biaya produksi yang telah dikeluarkan untuk memproduksi *existing* produk perbuah dapat dirincikan pada Tabel 3 sebagai berikut:

Tabel 3. Biaya Manufaktur *Existing* Produk

Kode	Biaya Manufaktur
<i>For Fixed Tube Sheet</i>	
E-14-003	Rp.49.855.727
E-14-006	Rp.55.573.631
E-14-009	Rp.59.724.499
E-14-010	Rp.57.586.999
E-14-011	Rp.75.305.838
<i>For Floating Tube Sheet</i>	
E-14-003	Rp.46.866.860
E-14-006	Rp.63.240.169
E-14-009	Rp.63.240.169
E-14-010	Rp.55.474.631
E-14-011	Rp.62.971.334
Total	Rp.589.839.857

Sehingga biaya produksi yang telah dikeluarkan untuk memproduksi *existing* produk dengan total sebanyak 10 buah *blind flange* sebesar Rp.589.839.857.

3.2. Spesifikasi Awal Produk

Berdasarkan spesifikasi produk *existing* serta kebutuhan perusahaan maka dapat ditarik kesimpulan mengenai spesifikasi target produk *blind flange multi-size* yang ditunjukkan pada Tabel 4 sebagai berikut:

Tabel 4. Spesifikasi Awal *Blind Flange Multi-size*

No.	Deskripsi	Dimensi (mm)
1.	<i>Max. Inner Diameter Flange (for Fixed Tube Sheet)</i>	1350
2.	<i>Min. Inner Diameter Flange (for Fixed Tube Sheet)</i>	1000
3.	<i>Max. Inner Diameter Flange (for Floating Tube Sheet)</i>	1313
4.	<i>Min. Inner Diameter Flange (for Floating Tube Sheet)</i>	964

3.3. Pembuatan Konsep Desain Baru

Pada konsep ini, produk *blind flange multi-size* didesain dengan *blind plate* berbentuk *ellipsoidal head*. Untuk material *ellipsoidal head* menggunakan material SA-516 Grade 70. Pada desain ini, *ellipsoidal head* akan digabungkan dengan *flange multi-size*. Sedangkan untuk material *flange multi-size* menggunakan material SA-182 Grade F5A. Bentuk *ellipsoidal head* memiliki kelebihan yaitu kekuatan struktur yang lebih unggul dibandingkan desain *blind flange* dengan permukaan *blind plate* yang rata. Hal ini disebabkan oleh permukaan melengkung membuat bidang proyeksi mengecil sehingga lebih kuat menahan tekanan dibandingkan dengan permukaan rata yang bersentuhan secara tegak lurus dengan tekanan.



Gambar 6. Konsep Desain Baru

3.4. Perhitungan Gasket

a. Perhitungan Gasket untuk Fixed Tube Sheet

Untuk menghitung *radial distance from gasketload reaction to the bolt circle*, h_G melalui persamaan berikut:

$$G = 0,5 (d_o + d_i) \tag{1}$$

$$= 2,25 \times 1,25$$

$$= 2,81 \text{ in}$$

Sehingga untuk mengetahui jarak aktual antar baut, B_s didapatkan bisa menentukan jumlah baut terlebih dahulu yaitu sebanyak 60 baut dengan persamaan sebagai berikut:

$$B_s = \sin\left(\frac{180}{N}\right) \times BCD \tag{5}$$

$$= \sin\left(\frac{180}{60}\right) \times 60,24$$

$$C = 57,83 \text{ in}$$

$$= 60,24 \text{ in}$$

$$= 3,15 \text{ in}$$

Dalam menentukan *minimum required bolt load for the operating conditions*, W_{m1} dan *minimum required bolt load for gasket seating*, W_{m2} melalui persamaan berikut:

$$W_{m1} = H + H_p \quad (6)$$

$$= \pi G^2 P + 2\pi b G m P$$

$$= \frac{3,14}{4} \times 57,83^2 \times 376,92 + 2 \times 3,14 \times 0,315 \times$$

$$57,83 \times 3,75 \times 376,92$$

$$= 1151219,16 \text{ lb}$$

$$h_G = \frac{(C-G)}{2} \quad (2)$$

$$= \frac{(60,24 - 57,83)}{2}$$

$$= \frac{2,41}{2}$$

$$= 1,205 \text{ in}$$

b. Perhitungan Gasket untuk *Floating Tube Sheet*

Untuk menghitung *radial distance from gasket load reaction to the bolt circle*, h_G melalui persamaan berikut:

$$G = 0,5 (d_o + d_i)$$

$$= 0,5 (52,76 + 51,73)$$

$$= 52,245 \text{ in}$$

$$C = 60,24 \text{ in}$$

$$h_G = \frac{(C-G)}{2}$$

$$= \frac{(60,24 - 52,245)}{2}$$

$$= 1,04 \text{ in}$$

$$W_{m2} = \pi b G y \quad (7)$$

$$= 3,14 \times 0,315 \times 57,83 \times 7600$$

$$= 434717,36 \text{ lb}$$

b. Perhitungan Baut untuk *Floating Tube Sheet*

Untuk ukuran baut pada rancangan desain *blind flange multi-size* ditetapkan sebesar 1,125 in. Dengan dimensi *bolt circle diameter* sesuai *existing* produk sebesar 1380 mm. Untuk mendapatkan nilai jarak maksimal baut, $B_{s \text{ max}}$ didapatkan melalui persamaan berikut:

$$B_{s \text{ max}} = 2 a + \frac{m}{6t}$$

$$= 2 \times 1,125 + \frac{6 \times 4,37}{3,75 + 0,5}$$

$$= 8,42 \text{ in}$$

3.5. Perhitungan Baut

Untuk merancang jumlah baut yang sesuai yaitu dengan tidak melebihi *maximum bolt spacing* dan tidak kurang dari *minimum bolt spacing*. Ideal nya jumlah baut merupakan kelipatan 4 dan semakin banyak jumlah baut maka akan menghasilkan kekuatan sambungan yang terbaik.

Selanjutnya untuk mendapatkan nilai jarak minimum baut, $B_{s\ min}$ didapatkan melalui persamaan berikut:

$$\begin{aligned} B_{s\ min} &= 2,25 \times a \\ &= 2,25 \times 1,125 \\ &= 2,53\ in \end{aligned}$$

Sehingga untuk mengetahui jarak aktual antar baut, B_s didapatkan bisa menentukan jumlah baut terlebih dahulu yaitu sebanyak 60 baut dengan persamaan sebagai berikut:

$$B_s = \sin\left(\frac{180}{N}\right) \times BCD$$

a. Perhitungan Baut untuk *Fixed Tube Sheet*

Untuk ukuran baut pada rancangan desain *blind flange multi-size* ditetapkan sebesar 1,25 in. Dengan dimensi *bolt circle diameter* sesuai *existing* produk sebesar 1530 mm. Untuk mendapatkan nilai jarak maksimal baut, $B_{s\ max}$ didapatkan melalui persamaan berikut:

$$\begin{aligned} B_{s\ max} &= 2a + \frac{6t}{m+0,5} \quad (3) \\ &= 2 \times 1,25 + \frac{6 \times 4,81}{3,75 + 0,5} \\ &= 9,29\ in \end{aligned}$$

Selanjutnya untuk mendapatkan nilai jarak minimum baut, $B_{s\ min}$ didapatkan melalui persamaan berikut:

$$B_{s\ min} = 2,25 \times a \quad (4)$$

$$\begin{aligned} &= \sin\left(\frac{180}{60}\right) \times 54,33 \\ &= 2,84\ in \end{aligned}$$

Dalam menentukan *minimum required bolt load for the operating conditions*, W_{m1} dan *minimum required bolt load for gasket seating*, W_{m2} melalui persamaan berikut:

$$\begin{aligned} W_{m1} &= H + H_p \\ &= \frac{\pi}{4} G^2 P + 2\pi b G m P \\ &= \frac{3,14}{4} \times 52,245^2 \times 376,92 + 2 \times 3,14 \times 0,26 \times \\ &52,245 \times 3,75 \times 376,92 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{m2} &= 928199,87\ lb \\ &= \pi b G y \\ &= 3,14 \times 0,26 \times 52,245 \times 7600 \\ &= 324161,42\ lb \end{aligned}$$

3.6. Perhitungan *Blind Flange*

a. Perhitungan *Blind Flange* untuk *Fixed Tube Sheet*

Untuk menghitung nilai *thickness required of blind flange* didapatkan melalui ASME *Section VIII Division 1*, UG-34, *Equation (2)* menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$t_f = d \sqrt{\frac{CP}{\sigma} + \frac{1.9Wh_g}{\sigma}} + CA \quad (8)$$

3.8. Simulasi Tegangan Statis

Pada simulasi tegangan statis konsep desain baru menggunakan bantuan *software* Autodesk Fusion 360. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan struktur pada konsep desain dari tekanan hidrostatik saat pengujian hidrostatik sebesar 567 Psi. Rancangan desain dikatakan aman apabila faktor keamanannya $\geq 3,5$.

- a. Simulasi Tegangan Statis *Blind Flange Multi-size*

$$= 57,83$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,3 (376,92)}{22700 (0,85)}\right)^2 + \left(\frac{1,9 (1151219,16)(1,205)}{22700 (0,85)(57,83^3)}\right)^2} + 0,126$$

$$= 4,81 \text{ in}$$

$$= 122,17 \text{ mm} \approx 123 \text{ mm}$$

- b. Perhitungan *Blind Flange* untuk *Fixed Tube Sheet*

Untuk menghitung nilai *thickness required of blind flange* menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$t_f = d \sqrt{\left(\frac{C P}{SE}\right)^2 + \left(\frac{1,9 W t G}{SE a^3}\right)^2} + CA$$

$$= 52,245$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,3 (376,92)}{22700 (0,85)}\right)^2 + \left(\frac{1,9 (928199,87)(1,04)}{22700 (0,85) (52,245^3)}\right)^2} + 0,126$$

$$= 4,37 \text{ in}$$

$$= 110,99 \text{ mm} \approx 111 \text{ mm}$$

3.7. Perhitungan Ellipsoidal Head

- a. Perhitungan *Ellipsoidal Head* untuk *Fixed Tube Sheet*

Untuk mendapatkan nilai *minimum thickness requirements* pada *ellipsoidal head* didapatkan dari persamaan berikut:

$$t = \frac{PD}{2SE - 0,2P} \tag{9}$$

$$= \frac{376,92 \times 39,37}{2 \times 14800 \times 0,85 - 0,2 \times 376,92}$$

$$= 0,59 \text{ in}$$

$$= 14,98 \text{ mm} \approx 15 \text{ mm}$$

- b. Perhitungan *Ellipsoidal Head* untuk *Floating Tube Sheet*

Untuk mendapatkan nilai *minimum thickness requirements* pada *ellipsoidal head* didapatkan dari persamaan berikut:

$$t = \frac{PD}{2SE - 0,2P}$$

$$= \frac{376,92 \times 37,95}{2 \times 14800 \times 0,85 - 0,2 \times 376,92}$$

$$= 0,57 \text{ in}$$

$$= 14,43 \text{ mm} \approx 15 \text{ mm}$$

Keterangan:

Dalam setiap hasil akhir perhitungan akan dikonversikan kedalam Satuan Internasional (SI) untuk memudahkan dalam membuat *Detail Engineering Desain* (DED) dan proses manufaktur.

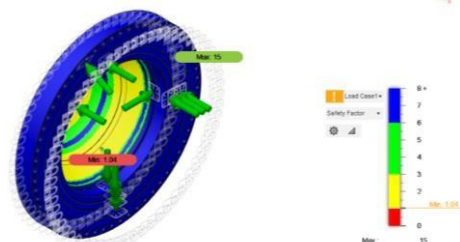
size untuk *Fixed Tube Sheet*

Hasil simulasi tegangan statis dengan *thickness requirements* pada *ellipsoidal head* sebesar 15 mm

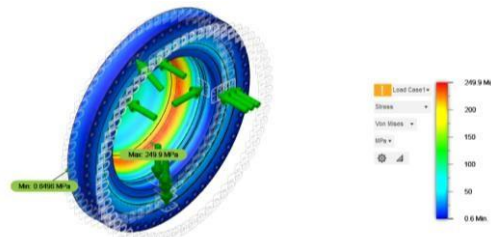
mendapatkan nilai minimum faktor keamanan pada

flange multi-size sebesar 3,497 dan pada *ellipsoidal head* sebesar 1,04. Sedangkan untuk maksimum tegangan *von misses* pada *flange multi-size* sebesar 128,7 Mpa dan pada *ellipsoidal head* sebesar 249,9

Mpa. Dikarenakan syarat desain minimum faktor keamanan sebesar 3,5, maka perlu adanya modifikasi desain dengan menambah ketebalan *ellipsoidal head*.

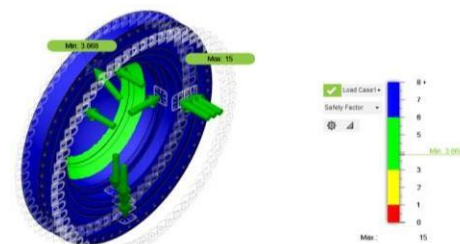


Gambar 7. Hasil Faktor Keamanan *Blind Flange Multi-size* untuk *Fixed Tube Sheet*



Gambar 8. Hasil Tegangan Von Misses *Blind Flange Multi-size* untuk *Fixed Tube Sheet*

Setelah dilakukan modifikasi desain dengan ketebalan *ellipsoidal head* menjadi 40 mm menghasilkan minimum faktor keamanan sebesar 3,868 dan tegangan von misses nya sebesar 115,2 Mpa.



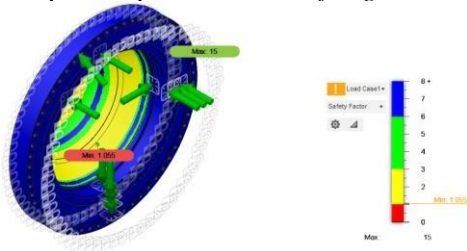
Gambar 9. Hasil Faktor Keamanan Modifikasi *Blind Flange Multi-size* untuk *Fixed Tube Sheet*



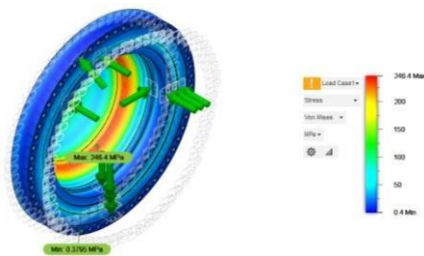
Gambar 10. Hasil Tegangan Von Misses Modifikasi BlindFlange Multi-size untuk Fixed Tube Sheet

b. Simulasi Tegangan Statis Blind Flange Multi- size untuk Floating Tube Sheet

Hasil simulasi tegangan statis dengan *thickness requirements* pada *ellipsoidal head* sebesar 15 mm mendapatkan nilai minimum faktor keamanan pada *flange multi-size* sebesar 3,123 dan pada *ellipsoidal head* sebesar 1,055. Sedangkan untuk maksimum tegangan *von misses* pada *flange multi-size* sebesar 144,1 Mpa dan pada *ellipsoidal head* sebesar 246,4Mpa. Dikarenakan syarat desain minimum faktor keamanan sebesar 3,5 maka perlu adanya modifikasi desain dengan menambah ketebalan pada *ellipsoidal head* dan *flange multi-size*.



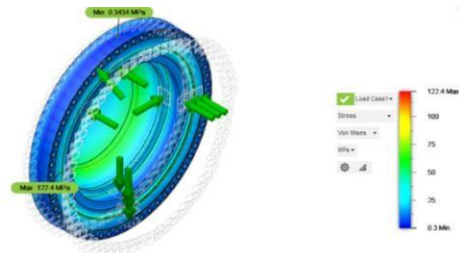
Gambar 11. Hasil Faktor Keamanan Blind Flange Multi-size untuk Floating Tube Sheet



Gambar 12. Hasil Tegangan Von Misses Blind Flange Multi-size untuk Fixed Tube Sheet

Setelah dilakukan modifikasi desain dengan menambah ketebalan pada *flange multi-size* dan *ellipsoidal head*. Sehingga ketebalan *flange multi-size* ditambah sebesar 15 mm dan mendapatkan hasil minimum faktor keamanan sebesar 3,676. Sedangkan untuk *ellipsoidal head* ditambah ketebalannya hingga mencapai 40 mm dan menghasilkan minimum faktor keamanan sebesar 3,676 serta tegangan *von misses* sebesar 122,4 Mpa.

Gambar 13. Hasil Faktor Keamanan Modifikasi *BlindFlange Multi-size* untuk *Floating Tube Sheet*



Gambar 14. Hasil Tegangan *Von Mises* Modifikasi *BlindFlange Multi-size* untuk *Fixed Tube Sheet*

Selanjutnya pada Tabel 5 menunjukkan data kekuatan struktur pada rancangan konsep baru yang akan dijadikan pembandingan dengan *existing* produk sebagai berikut:

Tabel 5. Data Kekuatan Struktural Konsep Baru

Keterangan	Jenis	Nilai	Batasan
Faktor Keamanan	<i>Fixed Tube Sheet</i>	3,868	3,5
	<i>Floating Tube Sheet</i>	3,676	
Rata-rata faktor keamanan		3,772	
Tegangan <i>Von Mises</i> (Mpa)	<i>Fixed Tube Sheet</i>	115,2	128,57
	<i>Floating Tube Sheet</i>	122,4	
Rata-rata tegangan <i>von mises</i>		118,8	

Hasil simulasi tegangan statis pada konsep baru menunjukkan bahwa produk sudah diatas faktor keamanan dan tegangan *von mises* nya dibawah tegangan ijinnya yang berarti rancangan sudah aman.

3.9. Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Pada tahap ini melakukan analisis mengenai anggaran biaya yang diperlukan dalam melakukan produksi pada masing-masing konsep desain. Dalam perhitungan RAB meliputi biaya material dan jasa fabrikasi baik *blind flange multi-size* untuk *fixed tube sheet* maupun *floating tube sheet*. Untuk biaya manufaktur *blind flange multi-size* untuk *fixed tube sheet* yaitu dapat dirincikan pada Tabel 6 sebagai berikut:

Tabel 6. RAB *Blind Flange Multi-size* untuk *Fixed TubeSheet*

No.	Jenis Biaya	Harga
1.	Biaya Material	Rp.204.556.417
2.	Biaya Habis Pakai	Rp.34.845.000
3.	Biaya Jasa	Rp.23.160.000
Total Biaya		Rp.262.561.417

Selanjutnya biaya manufaktur *blind flange multi-size* untuk *floating tube sheet* yaitu dapat dirincikan pada Tabel 7 sebagai berikut:

Tabel 7. RAB *Blind Flange Multi-size* untuk *Floating Tube Sheet*

No.	Jenis Biaya	Harga
1.	Biaya Material	Rp.175.909.150
2.	Biaya Habis Pakai	Rp.26.880.190
3.	Biaya Jasa	Rp.23.160.000
Total Biaya		Rp.225.949.340

Sehingga untuk mendapatkan total biaya yang dibutuhkan untuk fabrikasi pada *blind flange multi-size* konsep desain baru yaitu dengan melakukan penjumlahan pada RAB untuk *fixed tube sheet* dan RAB untuk *floating tube sheet* dengan hasil sebagai berikut: Total RAB konsep desain baru = **Rp.488.510.757**

3.10. Pembahasan

Spesifikasi akhir dari perancangan *blind flange multi-size* meliputi *blind flange multi-size* untuk *fixed tube sheet* dan *blind flange multi-size* untuk *floating tube sheet*. Berikut spesifikasi akhir dari *blind flange multi-size* seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 8 dan 9.

Tabel 8. Spesifikasi Akhir *Blind Flange Multi-size* untuk *Fixed Tube Sheet*

No.	Komponen	Dimensi (mm)	Material
1.	<i>Ellipsoidal Head</i>	40t x Ø1000	SA 516 Gr. 70
2.	<i>Blind Flange Multi-size</i>	155t x Ø1594	SA 182 Gr. F5A
3.	<i>Gasket Kode E-14-003</i>	3t x Ø1105	DOUBLE METAL JACKET SOFT IRON GRAPHITE FILLER
4.	<i>Gasket Kode E-14-006</i>	3t x Ø1215	DOUBLE METAL JACKET SOFT IRON GRAPHITE FILLER
5.	<i>Gasket Kode E-14-009</i>	3t x Ø1210	DOUBLE METAL JACKET SOFT IRON GRAPHITE FILLER
6.	<i>Gasket Kode E-14-010</i>	3t x Ø1315	DOUBLE METAL JACKET SOFT IRON GRAPHITE FILLER
7.	<i>Gasket Kode E-14-011</i>	3t x Ø1485	DOUBLE METAL JACKET SOFT IRON GRAPHITE FILLER
8.	<i>Split Ring Kode E-14-003</i>	50t x Ø1595	SA 182 Gr. F5A
9.	<i>Split Ring Kode E-14-006</i>	50t x Ø1595	SA 182 Gr. F5A
10.	<i>Split Ring Kode E-14-009</i>	50t x Ø1595	SA 182 Gr. F5A
11.	<i>Split Ring Kode E-14-010</i>	50t x Ø1595	SA 182 Gr. F5A
12.	<i>Split Ring Kode E-14-011</i>	50t x Ø1595	SA 182 Gr. F5A
13.	<i>Backing Ring Kode E-14-003</i>	20t x Ø1595	SA 182 Gr. F5A
14.	<i>Backing Ring Kode E-14-006</i>	20t x Ø1595	SA 182 Gr. F5A
15.	<i>Backing Ring Kode E-14-009</i>	20t x Ø1595	SA 182 Gr. F5A
16.	<i>Backing Ring Kode E-14-010</i>	20t x Ø1595	SA 182 Gr. F5A
17.	<i>Backing Ring Kode E-14-011</i>	20t x Ø1595	SA 182 Gr. F5A

Selanjutnya untuk spesifikasi akhir dari *blind flange multi-size* untuk *floating tube sheet* yaitu pada Tabel 9 sebagai berikut:

Tabel 9. Spesifikasi Akhir *Blind Flange Multi-size* untuk *Floating Tube Sheet*

No.	Komponen	Dimensi (mm)	Material
1.	<i>Ellipsoidal Head</i>	40t x Ø964	SA 516 Gr. 70
2.	<i>Blind Flange Multi-size</i>	156t x Ø1434	SA 182 Gr. F5A
3.	<i>Gasket</i> Kode E-14-003	3t x Ø990	DOUBLE METAL JACKET SOFT IRON GRAPHITE FILLER
4.	<i>Gasket</i> Kode E-14-006 dan 009	3t x Ø1090	DOUBLE METAL JACKET SOFT IRON GRAPHITE FILLER
5.	<i>Gasket</i> Kode E-14-010	3t x Ø1190	DOUBLE METAL JACKET SOFT IRON GRAPHITE FILLER
6.	<i>Gasket</i> Kode E-14-011	3t x Ø1340	DOUBLE METAL JACKET SOFT IRON GRAPHITE FILLER
7.	<i>Split Ring</i> Kode E-14-003	45t x Ø1434	SA 182 Gr. F5A
9.	<i>Split Ring</i> Kode E-14-006 dan 009	45t x Ø1434	SA 182 Gr. F5A
10.	<i>Split Ring</i> Kode E-14-010	45t x Ø1434	SA 182 Gr. F5A
11.	<i>Split Ring</i> Kode E-14-011	45t x Ø1434	SA 182 Gr. F5A
12.	<i>Backing Ring</i> Kode E-14-003	20t x Ø1434	SA 182 Gr. F5A
14.	<i>Backing Ring</i> Kode E-14-006 dan 009	20t x Ø1434	SA 182 Gr. F5A
15.	<i>Backing Ring</i> Kode E-14-010	20t x Ø1434	SA 182 Gr. F5A
16.	<i>Backing Ring</i> Kode E-14-011	20t x Ø1434	SA 182 Gr. F5A

Kemudian perbandingan dari *existing* produk dengan rancangan *blind flange multi-size* ditunjukkan pada Tabel 10 sebagai berikut:

Tabel 10. Perbandingan *Existing* Produk dan Konsep Baru

Keterangan	<i>Existing</i> Produk	Konsep Baru
Min. Faktor Keamanan	0,609	3,772
Tegangan Von Misses (Mpa)	547,75	118,8
Biaya Manufaktur	Rp.589.839.857	Rp.488.510.757

Sehingga pada rancangan konsep baru lebih unggul dari segi kekuatan struktur dan biaya manufaktur yang ekonomis daripada *existing* produk.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian dengan judul Perancangan *Blind Flange Multi-size* pada *Tube Bundle HeatExchanger* sebagai Alat Bantu Tes Hidrostatik ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Perancangan *blind flange multi-size* dilakukan dengan permodelan 3D menggunakan *software* Autodesk Fusion 360. Perancangan dilakukan sesuai standar ASME *Section VIII Division 1*. Untuk pemilihan dimensi disesuaikan dengan *existing* produk dan *tube sheet* yang ada. Dalam perancangan *blind flange multi-size* ini menggunakan jenis *head* berupa *ellipsoidal head*. Perancangan ini dapat difungsikan untuk 5 jenis *tube sheet* dengan perbedaan dimensi sesuai dimensi *tube sheet* pada objek penelitian.

2. Dalam analisis tegangan statis pada perancangan ini menggunakan bantuan *software* Autodesk Fusion 360 dengan syarat minimum faktor keamanan diatas 3,5 dan mampu menahan tekanan hidrostatik sebesar 567 psi. Pada analisis kekuatan struktur pada *blind flange multi-size* untuk *fixed tube sheet* menghasilkan nilai faktor keamanan sebesar 3,868 dan maksimum tegangan *von mises* sebesar 115,2 Mpa. Selanjutnya untuk analisis kekuatan struktur pada *blind flange multi-size* untuk *fixed tube sheet* menghasilkan nilai faktor keamanan sebesar 3,676 dan maksimum tegangan *von mises* sebesar 122,4 Mpa.
3. Pada konsep desain baru membutuhkan Rencana Anggaran Biaya (RAB) sebesar Rp.488.510.757 yang telah menghemat sebanyak 17,18% dari biaya *existing* produk.

DAFTAR PUSTAKA

- Megyesy, E. (2008). **Pressure Vessel Handbook**. Fourteenth Edition. Tulsa, Oklahoma, Pressure Vessel Publishing, Inc.
- Nawaf, T.H., M.M, Munir., Dhika, A.P., Perancangan Pengembangan Rail Mover sebagai Alat Bantu Penggantian Rel Kereta Api. **Conference on Design and Manufacture Engineering and its Application**. Vol.5, pp.40-6.
- Satrijo, D., Widodo, A., Prahasto, T., Kurdi, O. (2022). Analysis of Bolted Joint Using Finite Element Method. **International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development**. Vol. 12, pp.13- 23.
- The American Society of Mechanical Engineers. (2019). **ASME Section VIII Division 1: Rules for Construction Pressure Vessels**. New York, American Society of Mechanical Engineers.

The American Society of Mechanical Engineers. (2021). **ASME Section II Part A: Ferrous Material Specifications**. New York, American Society of Mechanical Engineers.

Thulukkanam, K. (2013). **Heat Exchanger Design Handbook**. Second Edition. Abingdon, United Kingdom, Taylor & Francis.

Waters E.O, Westrom D.B, Rossheim D.B, dan Williams F.S.G. (1937). Formulas for Stresses in Bolted Flanged Connections, **Trans ASME**, Vol.59, pp.161-7.

