

PERANCANGAN *BOILER* SEBAGAI PEMANAS *STORAGE TANK* DENGAN KAPASITAS *CRUIDE PALM OIL* 5000 TON PADA BENGKULU *BULKING STATION*

Adi Riski Setiawan¹, Trisma Jaya Saputra², Rany Puspita Dewi³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tidar

¹adiriskisetiawan35@gmail.com, ²trismajayasaputra@untidar.ac.id, ³ranypuspita@untidar.ac.id

ABSTRAK

Boiler atau ketel uap adalah peralatan utama pada Bengkulu *Bulking Station* yang digunakan untuk menghasilkan uap sebagai pemanas CPO (*Cruide Palm Oil*). Uap sendiri diperoleh dari fluida yang merupakan fase gas air dari dalam bejana atau tabung melalui pemanasan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang *boiler* jenis *horizontal fire tube boiler* dengan kapasitas 8000 kg/jam untuk menghasilkan uap jenuh dengan temperatur 100°C-179,4°C yang selanjutnya digunakan sebagai pemanas CPO dalam tangki timbun, sedangkan untuk terciptanya keamanan pada hasil perancangan *boiler* digunakan standar ASME (*American Society of Mechanical Engineers*) sebagai acuan dalam pembuatan desain. Pada proses desain *SolidWork* dan analisis *boiler* menggunakan ANSYS *Workbench*. Hasil penelitian didapatkan *boiler* dengan spesifikasi tekanan uap operasi 2 bar dan untuk tekanan internal perancangan 10 bar. Dimensi untuk badan *boiler* yaitu 1751 mm, panjang 6000 mm dan tebal 10,1 mm, kemudian untuk dimensi pipa api memiliki diameter 63,5 mm, panjang 5000 mm dan tebal 1,1 mm dengan jumlah pipa 213. Material yang digunakan yaitu pelat SA 516 *Grade 70* untuk badan *boiler*, SA 53 *Grade B* untuk pipa api. Hasil analisis menunjukkan data *equivalent stress* 79,716 MPa untuk *boiler* dan 11,554 MPa untuk pipa api, sedangkan *total deformation* sebesar 0,11809 mm untuk *boiler* dan 0,00164 mm untuk pipa api. Nilai *safety factor value* pada badan *boiler* sebesar 3,26 sedangkan standar minimum yaitu 1,21 sehingga dari data tersebut perancangan yang dilakukan dapat dikatakan aman.

Kata kunci: *Boiler, CPO, Firetube, ASME, Bulking Station*

ABSTRACT

Boilers or steam boilers are the main equipment at Bengkulu Bulking Station which is used to produce steam as a CPO (Cruide Palm Oil) heater. Steam itself is obtained from the fluid which is the gas phase of the air from the vessel or tube through heating. This study aims to design a horizontal fire tube boiler with a capacity of 8000 kg/hour to produce saturated steam with a temperature of 100oC-179.4oC which is then used as a CPO heater in the stockpile tank, while to create safety the boiler design results use the ASME standard (American Society of Mechanical Engineers) as a reference in making designs. In the SolidWork design process and boiler analysis using ANSYS Workbench. The results obtained are boilers with specifications for operating steam pressure of 2 bar and for internal design pressure of 10 bar. The dimensions for the boiler body are 1751 mm, 6000 mm long and 10.1 mm thick, then for the dimensions of the fire pipe it has a diameter of 63.5 mm, a length of 5000 mm and a thickness of 1.1 mm with a number of pipes 213. The material used is SA plate. 516 Grade 70 for boiler body, SA 53 Grade B for fire pipe. The results of the analysis show data that the equivalent stress is 79.716 MPa for the boiler and 11.554 MPa for the fire pipe, while the total deformation is 0.11809 mm for the boiler and 0.00164 mm for the fire pipe. The value of the safety factor value on the boiler body is 3.26 while the drinking standard is 1.21 so that from the data the design carried out can be said to be safe.

Keywords: *Boiler, CPO, Firetube. ASME, Bulking Statio*

PENDAHULUAN

Boiler merupakan salah satu peralatan utama pada industri *Bulking Station* yang berfungsi merubah energi kimia dari bahan bakar padat menjadi energi panas melalui alat pembentukan uap (Syamsir, 1998). Uap yang keluar digunakan untuk memanaskan *Cruide Palm Oil* (CPO) dalam *storage tank* sebelum proses pengapalan. Kinerja *steam* atau uap panas merupakan sistem penampung kebutuhan uap yang kemudian mengontrolnya sesuai kebutuhan produksi, selain itu *steam* juga bisa diatur tekanannya sesuai dengan kebutuhan (Muzaki & Mursadin, 2019).

Untuk jenis *boiler* yang umum digunakan dalam industri *Bulking Station* merupakan jenis *horizontal fire tube boiler*. *Fire tube boiler* banyak digunakan pada industri pengolahan dari skala kecil hingga skala menengah (Raharjo dan Karwo, 2008). Standarisasi pada proses perancangan *boiler* sangatlah penting hal itu terkait dengan *safety* atau keselamatan pekerja dalam pengoperasian *boiler*. Maka pada saat perancangan *boiler* haruslah sesuai dengan standar keselamatan yang berlaku (Effendy, 2013).

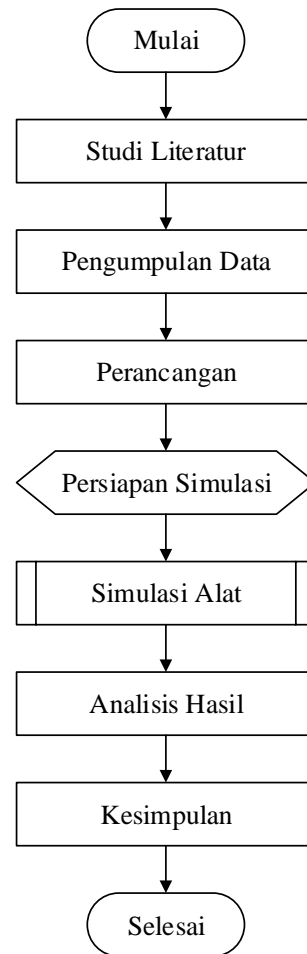
Penyesuaian proses perancangan dengan standar akan berpengaruh terhadap penggunaan material maupun bahan bakar yang akan digunakan. Untuk badan *boiler* material yang akan digunakan yaitu berjenis plat baja paduan rendah SA-516 GR 70. Hal ini karena jenis plat SA-516 GR 70 memiliki kandungan kimia dan karakteristik mekanik yang khas dan sesuai jika dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan *boiler* yang mana memiliki kelebihan tahan panas hingga 354.272°F. Selain itu proses analisis struktur juga menjadi poin penting dalam proses perancangan. Bagian terpenting dalam merancang atau membuat *boiler* adalah analisis dan desain. Analisis struktural yang menggunakan teknik elemen hingga dilakukan pada *boiler* menggunakan *software Ansys Workbench 16.2*.

Berdasarkan pembahasan di atas, penelitian yang akan dilakukan yaitu merancang *boiler* jenis *horizontal fire tube*

boiler sebagai pemanas CPO pada *storage tank* berkapasitas 5000 ton menggunakan standar *American Society of Mechanical Engineers (ASME) Section IV 2019*, sebagai pendukung produktivitas industri *bulking station* dalam pengolahan CPO.

METODE

Diagram alir yang digunakan dalam perancangan *boiler* sebagai pemanas *storage tank* ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir

Pada perancangan konstruksi *boiler* ini membutuhkan banyak data mengenai kondisi operasi *boiler* itu sendiri dan juga spesifikasi dari material yang digunakan. Untuk material yang digunakan untuk badan *boiler* yaitu SA 516 Gr. 70 dengan spesifikasi ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data properties material SA 516 Grade 70.

Material	Properties Value	Sumber
Modulus young	$1,93 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$	ASME Section II 2010: 738
Poisson Ratio	0,30	ASME Section II 2010: 744
Density	7750 Kg/m^3	ASME Section II 2010: 744
Thermal Expansion	$1,24 \times 10^{-5} \text{ K Deg}$	ASME Section II 2010: 708
Yield Strength	$1,83 \times 10^8 \text{ N/m}^2$	ASME Section II 2010: 536

Data tersebut digunakan untuk mendukung perhitungan pada penelitian. Kemudian untuk pipa api digunakan material SA 53 Gr. B dengan spesifikasi ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Data properties material SA 53 Grade B

Material	Properties Value	Sumber
Modulus young	$1,93 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$	ASME Section II 2010: 738
Poisson Ratio	0,30	ASME Section II 2010: 744
Density	7750 Kg/m^3	ASME Section II 2010: 744
Thermal Expansion	$1,24 \times 10^{-5} \text{ K Deg}$	ASME Section II 2010: 708
Yield Strength	$2,14 \times 10^8 \text{ N/m}^2$	ASME Section II 2010: 536

Kemudian data kondisi operasi boiler digunakan sebagai acuan dalam menentukan dimensi pada boiler yang sesuai dengan standar ASME, untuk kondisi data operasi ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Kondisi operasi boiler

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Tipe boiler	Horizontal fire tube boiler
2	Diameter boiler	1751,2 mm
3	Jenis uap	Uap jenuh
4	Tekanan perancangan	10 bar
5	Bahan bakar	LNG
6	Temperatur Operasi	$100^\circ\text{C}-179^\circ\text{C}$
6	Kapasitas boiler	8403 kg/jam

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan konstruksi boiler

1. Badan boiler

$$t_{db} = \frac{P \times R_{ib}}{S \times E - 0,6 P}$$

$$t_{db} = \frac{145 \times 865}{13996 \times 0,85 - 0,6 \times 145}$$

$$t_{db} = \frac{125425}{11896,6 \times 87} = 10,6 \text{ mm}$$

Sehingga, dengan Maximum Allowable Working Pressure MAWP 145 lb/in² ketebalan plat yang digunakan sebesar 10,6 mm atau 0,417 in, dan

didiperoleh diameter luar boiler sebesar 1751,2 mm.

2. Pipa api (fire tube)

Menentukan L/Do dan Do/t dapat dihitung dengan Persamaan berikut
 $L/Do = 196,5/8 = 24,56$
 Diasumsikan $Do/t=60$

Dari Tabel ASME Section II Part D 2010 Tabel G dan ASME Section II Part D 2010 Tabel CS-2 didapatkan:

D_o/t	L/D_o	Faktor A	t (°C)	Faktor A	Faktor B (Mpa)	Faktor B (lb/in ²)
60	10,000	$3,22 \times 10^{-4}$	150	$1,6 \times 10^{-4}$	15,63	2266,93
60	14,430	$3,1 \times 10^{-4}$	150	$3,1 \times 10^{-4}$	30,29	4393,19
60	25,000	$3,07 \times 10^{-4}$	150	$7,83 \times 10^{-4}$	77,90	11298,44

Dari Tabel 4.1 nilai P dapat digunakan dengan syarat $P > P_1$, didapatkan nilai sebesar 188,30 lb/in² > 145 lb/in²

Dapat dihitung dengan persamaan:
 $L/Do = 60$
 $P = B/(Do/t) = 11298,44/60 = 188,3 \text{ lb/in}^2$
 Sehingga, $Do/t = 60$ dapat digunakan. diperoleh ketebalan 1,05 mm, maka digunakan ketebalan tube 1,1 mm.

3. Tubesheet

$$t_t = \sqrt{\left(\frac{P}{CS}\right) \times (p^2 - \frac{\pi D_{op}^2}{4})}$$

$$t_t = \sqrt{\left(\frac{145}{0,43 \times 11000}\right) \times (3,93^2 - \frac{3,14 \times 2,5^2}{4})}$$

$$t_t = \sqrt{\left(\frac{145}{4730}\right) \times (15,44 - 4,906)}$$

$$= 0,5681 \text{ in (14,4 mm)}$$

4. Pipa nozzle

$$t_{pn} = \frac{P \times R_{in}}{SE - P} + 0,04$$

$$t_{pn} = \frac{145 \times 0,5}{0,85 \times 11000 - 0,6 \times 145} + 0,04$$

$$t_{pn} = \frac{72,5}{9263} + 0,04 = 0,047 \text{ mm}$$

5. Head

$$t_h = \frac{p \times D_{in}}{2SE - 0,2P}$$

$$t_h = \frac{145 \times 68,9}{2 \times 13996,4 \times 0,85 - 0,2 \times 145}$$

$$= 0,420 \text{ in (10,66 mm)}$$

6. Furnace

Menentukan $L_f/D_{of} = 5000/11,81 = 16,66$ in, Diasumsikan $D_{of}/t_f = 40$

Dari Tabel ASME Section II Part D 2010 Tabel G dan ASME Section II Part D 2010 Tabel CS-2 didapatkan:

D_o/t	L/D_o	Faktor A	t (°C)	Faktor A	Faktor B (Mpa)	Faktor B (lb/in ²)
40	8,000	$7,31 \times 10^{-4}$	150	$3,56 \times 10^{-4}$	32,19	4668,76
40	14,430	$6,97 \times 10^{-4}$	150	$6,97 \times 10^{-4}$	63,04	9143,18
40	16,000	$6,92 \times 10^{-4}$	150	$9,0 \times 10^{-4}$	81,40	11806,07

Dapat dihitung dengan persamaan:

$$P_f = \frac{11806,07}{40} = 295,15 \text{ lb/in}$$

Didapat nilai $P > P_1$ yaitu 295,15 lb/in² > 145 lb/in², sehingga $D_o/t = 40$ dapat digunakan, karena nilai P lebih besar.

$$\frac{D_{of}}{t_f} = 40$$

$$t_f = \frac{300}{40} = 7,5 \text{ mm}$$

7. Dimensi panjang pipa

Menghitung dimensi panjang pipa dapat digunakan Persamaan:

$$L_p = \frac{Q_{boiler}}{U \cdot \pi \cdot D_{ip} \cdot \Delta T_{im}}$$

$$L_p = \frac{4429000}{43,478 \times 3,14 \times 0,06 \times 506,34} = 1065,6 \text{ m}$$

8. Jumlah pipa

Menghitung jumlah pipa yang dibutuhkan digunakan Persamaan:

$$n_p = \frac{L_p}{L_s}$$

$$n_p = \frac{1065,6}{5} = 213,5$$

9. Luas permukaan dinding pipa terkena air
Menghitung luas permukaan dinding pipa api digunakan Persamaan:

$$A_{pdba} = \pi \times D_{idb} \times T i_{dba}$$

$$A_{pdba} = 3,14 \times 1,729 \times 6 = 27,14 \text{ m}^2$$

10. Luas permukaan dinding boiler terkena uap

Menghitung luas permukaan dinding boiler terkena uap digunakan persamaan:

$$A_{pdba} = \pi \times D_{idb} \times T i_{dbu}$$

$$A_{pdba} = 3,14 \times 1,729 \times 6 = 32,57 \text{ m}^2$$

11. Luas permukaan pipa terkena air

Menghitung luas permukaan pipa terkena air digunakan Persamaan:

$$A_{pdba} = \pi \times D_{op} \times T i_{pa} \times n_p$$

$$A_{pdba} = 3,14 \times 0,06 \times 5 \times 213 = 210,67 \text{ m}^2$$

12. Luas permukaan pipa terkena uap

Menghitung Luas permukaan pipa terkena uap digunakan Persamaan:

$$A_{pdba} = \pi \times D_{op} \times T i_{pu} \times n_p$$

$$A_{pdba} = 3,14 \times 0,063 \times 5 \times 213 = 210,67 \text{ m}^2$$

13. Volume dinding boiler

Menghitung volume dinding boiler digunakan Persamaan:

$$V_{db} = \frac{\pi}{4} \times D_{idb}^2 \times T i_{db}$$

$$V_{db} = \frac{3,14}{4} \times 1,729^2 \times 6 = 14 \text{ m}^3$$

14. Volume dinding boiler terkena air

Menghitung volume dinding boiler terkena air digunakan Persamaan:

$$V_{dba} = \frac{\pi}{4} \times D_{idb}^2 \times T i_{dba}$$

$$V_{dba} = \frac{3,14}{4} \times 1,729^2 \times 5 = 11,7 \text{ m}^3$$

15. Volume dinding boiler terkena uap

Menghitung volume dinding boiler terkena uap digunakan Persamaan:

$$V_{dbu} = \frac{\pi}{4} \times D_{idb}^2 \times T i_{dbu}$$

$$V_{dbu} = \frac{3,14}{4} \times 1,729^2 \times 6 = 14 \text{ m}^3$$

16. Volume total pipa

Menghitung volume dinding boiler terkena air digunakan Persamaan:

$$V_p = \frac{\pi}{4} \times D_{op}^2 \times T i_p \times n_p$$

$$V_p = \frac{3,14}{4} \times 0,063^2 \times 5 \times 213$$

$$= 3,318 \text{ m}^3$$

17. Volume total pipa tekena air
Menghitung volume total pipa terkena air digunakan Persamaan:

$$V_{pa} = \frac{\pi}{4} \times D_{op}^2 \times Ti_{pa} \times n_p$$

$$V_{pa} = \frac{3,14}{4} \times 0,063^2 \times 5 \times 213$$

$$= 3,318 \text{ m}^3$$

18. Volume total pipa tekena uap
Menghitung volume total pipa terkena uap digunakan Persamaan.

$$V_{pu} = \frac{\pi}{4} \times D_{op}^2 \times Ti_{pu} \times n_p$$

$$V_{pu} = \frac{3,14}{4} \times 0,063^2 \times 5 \times 213$$

$$= 3,318 \text{ m}^3$$

19. Beban air
Untuk mengetahui beban air pada desain boiler digunakan Persamaan:

$$W_{air} = V_{air} \times \rho_{air} \times g$$

$$W_{air} = 8,4 \times 1000 \times 9,8$$

$$= 82.320 \text{ N}$$

20. Beban uap
Untuk mengetahui beban uap pada desain boiler digunakan Persamaan:

$$W_{uap} = V_{uap} \times \rho_{uap} \times g$$

$$W_{uap} = 14 \times 119 \times 9,8$$

$$= 16326,8 \text{ N}$$

21. Tekanan uap
Untuk mengetahui tekanan uap pada desain boiler digunakan Persamaan:

$$P_{uap} = \frac{W_{uap}}{A_{ptu}}$$

$$P_{uap} = \frac{16326,8}{32,57}$$

$$= 501,28 \text{ N/m}^2$$

22. Tekanan air
Untuk mengetahui tekanan air pada desain boiler digunakan Persamaan:

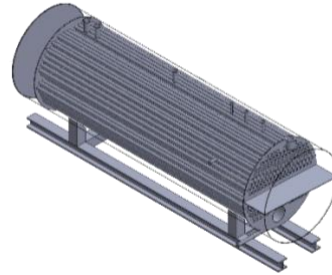
$$P_{air} = \frac{W_{air}}{A_{pta}}$$

$$P_{air} = \frac{82320}{27,14}$$

$$= 3033,16 \text{ N/m}^2$$

Konstruksi Boiler

Hasil perancangan konstruksi boiler ditunjukkan pada Gambar 2.

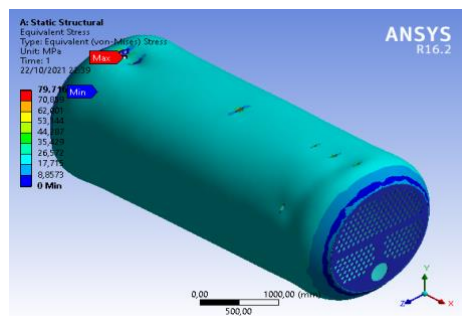


Gambar 2. Horizontal fire tube boiler

Struktur	Volume (m ³)	Surface (m ²)
Boiler	14,0	59,71

Pembahasan

Hasil perancangan dimensi boiler selanjutnya dianalisis menggunakan software ANSYS untuk mengetahui nilai stress dan deformasi pada desain, untuk beban statis akan diinput berdasarkan nilai tekanan air dalam boiler. fluida yang disimpan dalam boiler berupa air dengan kerapatan 997 kg/m³, serta nilai tekanan air yang sudah dihitung pada Persamaan 2.40 yaitu sebesar 3033,16 N/m². Untuk simulasi yang sudah dilakukan ditunjukkan pada Gambar 3.

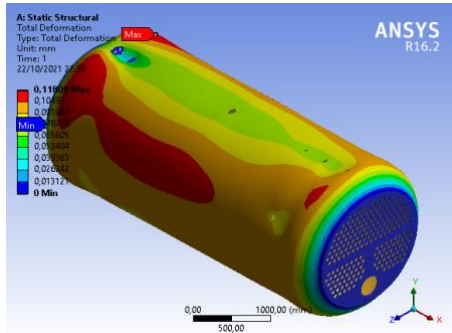


Gambar 3. Hasil simulasi *equifalant stress* pada boiler

Stress maksimal yang terjadi pada katup water level control disebabkan karena lubang katup dengan besar tekanan 3033,16 N/m² menyebabkan dinding boiler mengalami stress maksimal 79,716 MPa, tegangan ini masih dibawah tegangan yang diijinkan pada ASME yaitu 96,5 MPa, sehingga nilai stress

pada perancangan ini sudah memenuhi standar.

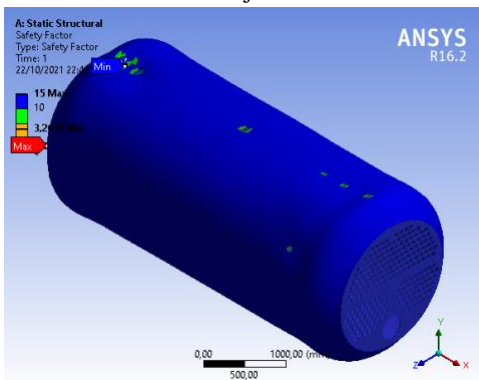
Selain itu hasil dari simulasi dinding boiler akibat beban statis juga diperoleh deformasi total yang berfungsi untuk mengetahui apakah material yang digunakan mampu menahan beban yang diberikan oleh fluida di dalam boiler.



Gambar 4. Hasil simulasi *total deformation* pada boiler

Deformasi total yang terjadi pada permukaan boiler akibat beban statis berdasarkan hasil simulasi ditunjukkan pada bagian permukaan berwarna merah, yaitu sebesar 0,11809 mm, sedangkan bagian permukaan boiler yang berwarna biru merupakan bagian yang paling sedikit mengalami deformasi.

Kemudian untuk mengetahui dan memvalidasi tingkat keamanan pada dinding boiler, perlu diketahui nilai *safety factor* atau faktor keamanan ditunjukkan Gambar 5.

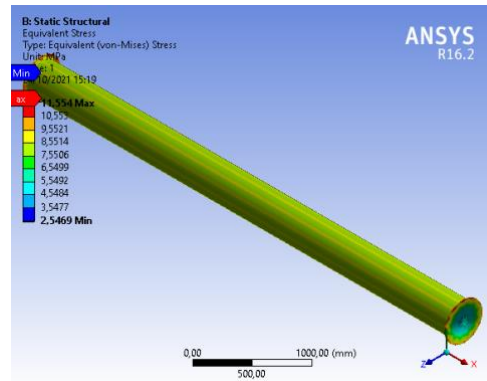


Gambar 5 Hasil simulasi *safety factor* pada boiler

Nilai faktor keamanan untuk beban statis mengacu pada standar yaitu 1,21, nilai tersebut didapatkan dari persamaan $SF = \frac{S}{\sigma}$

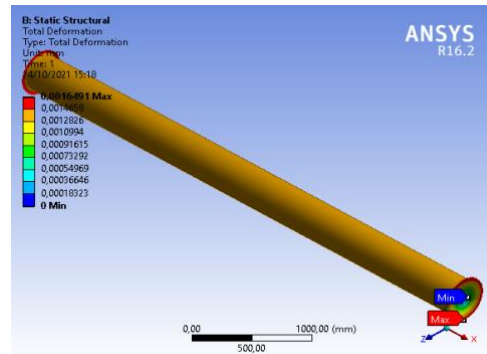
Sedangkan untuk nilai factor keamanan dinding boiler melalui hasil simulasi didapatkan nilai faktor keamanan sebesar 3,26 dan maksimal 15. Hal tersebut menunjukkan bahwa dinding boiler dapat dikatakan aman karena masih diatas nilai faktor keamanan yang diijinkan sesuai standar *ASME Section IV 2019* yaitu sebesar 1,21.

Analisis beban statis pada konstruksi pipa api dilakukan untuk mengetahui nilai tekanan yang terjadi pada struktur permukaan luar pipa api akibat fluida yang disimpan dalam boiler berupa air dengan kerapatan 997 kg/m³, serta nilai tekanan air yang sudah dihitung pada Persamaan 2.40 yaitu sebesar 3033,16 N/m².



Gambar 6. Hasil simulasi *equivalent stress* pada pipa api

Pada permukaan pipa api diperoleh nilai stress maksimal (*equivalent stress*) sebesar 11,554 MPa yang terletak pada bagian ujung pipa api dimana terdapat bagian sambungan, tegangan tersebut masih dibawah dari tegangan yang diijinkan pada ASME yaitu 82,73 MPa.



Gambar 7 Hasil simulasi *total deformation* pada pipa api

Deformasi total yang terjadi pada pipa api akibat beban statis berdasarkan hasil simulasi ditunjukkan pada bagian permukaan berwarna merah, yaitu sebesar 0,00164 mm.

SIMPULAN

Boiler hasil perancangan melalui perhitungan yang dilakukan secara manual dengan mengacu pada standar ASME (*American Society of Mechanical Engineering*) Section IV 2019 yang kemudian dilakukan pemodelan gambar 3D menggunakan *software Solidwork* serta analisis statis menggunakan metode elemen hingga menggunakan *software ANSYS Workbench* diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- a. Hasil perancangan konstruksi *boiler* jenis horizontal *firetube* dengan kondisi operasi sebagai berikut:
 - 1) Jenis uap = Uap Jenuh
 - 2) Tekanan perancangan = 10 bar
 - 3) Temperatur operasi = 100°C – 179°C
 - 4) Tekanan operasi = 2 bar
 - 5) Bahan bakar = LNG
 - 6) Kapasitas *boiler* = 8403 kg/jam
- b. Hasil perhitungan berdasarkan standar ASME mengenai konstruksi boiler didapatkan data sebagai berikut:
 - 1). Badan *boiler* = Ø 1751 mm, panjang 6000 mm, tebal 10,1 mm, bahan Plat SA 516 Grade 70
 - 2). Pipa api (*fire tube*) = Ø 63,5 mm, panjang 5000 mm, tebal 1,1 mm, bahan SA 53 Grade B
 - 3). *Tubesheet* = Ø 1729 mm, tebal 14,4 mm bahan SA 285 Grade C
 - 4). *Pipa nozzle* = Ø 150 mm, tebal 1,2 mm, tinggi 220 mm bahan SA 53 Grade B
 - 5). *Head* = Ø 1750 mm, tebal 10,66 mm bahan SA 516 Grade 70
 - 6). *Furnace* = Ø 300 mm, tebal 7,5 mm, panjang 500 mm bahan SA 53 Grade B
- c. Hasil analisis yang dilakukan menggunakan ANSYS Workbench mengenai konstruksi boiler dan pipa api didapatkan data sebagai berikut:
 - 1) *Equivalent stress* permukaan boiler = 79,716 MPa

- 2) *Total deformation* permukaan boiler = 0,11809 mm
- 3) *Equivalent stress* maksimal pipa api = 11,554 MPa
- 4) Total deformasi permukaan pipa api = 0,00164 mm
- 5) *Safety factor value* = 3,2616 mm

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Adoni, M. S., Anandas, S., & Jadhav, S. D. (2018). *Analysis and Adaptation of Cost Effective Boiler*. Carbon, 1000(87), 48-55.
- [2] Ardiyanto-Effendy, D. (2013). RANCANG BANGUN BOILER PADA INDUSTRI TAHU UNTUK PROSES PEMANASAN SISTEM UAP DENGAN MENGGUNAKAN CATIA V5. *Journal of Mechanical Engineering Learning*, 2(2), 115-124.
- [3] Effendy, D. A. (2013). Rancang Bangun Boiler untuk Proses Pemanasan Sistem Uap pada Industri Tahu dengan Menggunakan CATIA V5 (*Doctoral dissertation*, Universitas Negeri Semarang).
- [4] Fatoni, R. (2013). Rekomendasi Standar Sistem Keselamatan untuk Steam Boiler di Pabrik Tahu (Simposium Nasional Teknologi Terapan), 5(1), 27-34.
- [5] Hakim, L., & Subekti, P. (2015). Rancang Bangun Ketel Uap mini dengan Pendekatan Standar SNI Berbahanbakar Cangkang Sawit untuk Kebutuhan Pabrik Tahu Kapasitas 200 kg kedelai/hari. *Jurnal Aptek*, 7(1), 45-52..
- [6] Jetter, R. I., & Jawad, M. H. (2009). *Design and analysis of ASME boiler and pressure vessel components in the creep range*. ASME press.
- [7] Komarov, I. I., Rostova, D. M., & Vegera, A. N. (2017, October). *Improvement of fire-tube boilers calculation methods by the numerical modeling of combustion processes and heat transfer in the combustion chamber*. In *Proc. International Conference on Problems of Thermal Physics and Power Engineering*.
- [8] Kondayya, D. (2016). *Structural and Thermal analysis of a Boiler Using Finite Element Analysis*. *International Journal of Mechanical Engineering (IJME)*, 4(2), 1-5.
- [9] Muzaki, I., & Mursadin, A. (2019). ANALISIS EFISIENSI BOILER DENGAN METODE INPUT-OUTPUT DI PT. JAPFA

COMFEED INDONESIA Tbk. UNIT BANJARMASIN. *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, 4(1), 37-46.

INDUSTRI TAHU MENGGUNAKAN SOFTWARE SOLIDWORKS (Doctoral dissertation).

[10] Htet, Myat Thu. 2018. "Design and Performance for 14kW Downdraft Open Core Gasifier." *International Journal of Scientific and Research Publications (IJSRP)* 8(7):290294.<https://doi.org/10.29322/ijsrp.8.7.2018.p7946>.

[11] Nugroho, A. P. A. (2015). Analisa Kehilangan Energi Pada Fire Tube Boiler Kapasitas 10 Ton. *Jurnal Teknik Mesin*, 4(2), 38-43.

[12] PRASAD, C. S. N. (2017). Design and Thermal Analysis of Steam Boiler Used in Power Plants. *international Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*, 3, 5888-5897.

[13] Purba, J. (2015). Perancangan Boiler Pipa Api untuk Perebusan Bubur Kedelai pada Industri Tahu Kapasitas Uap Jenuh 160 Kg/Jam. *Jurnal Prodi Teknik Universitas Pasir Pengairan Tahun 2013*.

[14] RYANDA, A. A., & Darmawi, D. (2018). ANALISIS EFISIENSI PAKET BOILER 34-6007-U PADA PABRIK P-IB PT. PUPUK SRIWIDJAJA PALEMBANG (Doctoral dissertation, Sriwijaya University).

[15] Sharma, A., dan A. C. Tiwari. 2017. Design of The Horizontal Fire Tube Boiler for The Commercial Cooking of Indian Food. *Journal of Mechanical Engineering and Technology* 5(1): 1-13.

[16] Singer, F. L., & Pytel, A. (1995). Ilmu Kekuatan Bahan (Teori Kokoh Strength Of Material). Alih Bahasa Darwin Sebayang, edisi II, *Jurnal Erlangga*, Jakarta.

[17] Suandi, A., Supardi, N. I., & Puspawan, A. (2016). Analisa Pengolahan Kelapa Sawit dengan Kapasitas Olah 30 ton/jam Di PT. BIO Nusantara Teknologi. *Teknosia*, 2(17), 12-19.

[18] Sudarman, S., Suwahyo, S., & Sunyoto, S. (2015). PENERAPAN KETEL UAP (STEAM BOILER) PADA INDUSTRI PENGOLAHAN TAHU UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI DAN KUALITAS PRODUK. *Saintekno: Jurnal Sains dan Teknologi*, 13(1), 71-78.

[19] Waskitho, P. H. (2019). PERANCANGAN DAN VALIDASI VERTICAL FIRE TUBE BOILER UNTUK