

## ANALISIS FEA PADA TUBE BOILER UNTUK MINYAK DAN GAS

### FEA ANALYSIS OF BOILER TUBE FOR OIL AND GAS

<sup>1</sup>Syaiful Arif, <sup>2</sup>Adin, <sup>3</sup>Alfian Adi Saputra, <sup>4</sup>Diki Ardiansyah, <sup>5</sup>Gilang Maulana

<sup>1,2,3,4,5</sup> Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Pamulang Serang Kota Serang  
Jl. Raya Jakarta Km 5 No.6, Kalodran, Kec. Walantaka, Kota Serang, Banten

email : <sup>1</sup>dosen10017@unpam.ac.id

#### ABSTRAK

Analisa Tube Untuk Penggunaan Minyak Dan Gas Terdapat *Boiler Type AL-LSB-6000*, didapatkan Suatu Kasus Yaitu Besarnya Tegangan Yang Terjadi Pada *Tube Boiler* Dikarenakan Material Yang Dipakai Mempunyai Spesifikasi Nilai Tegangan Yang Tinggi. Metode Yang Digunakan Pada Perencanaan Ini Diawali Dengan Observasi Lapangan Migas Cepu, Melakukan Proses Perencanaan Perhitungan Kekuatan Material Sebelumnya Sesuai ASME. Analisa perencanaan berupa perbandingan perhitungan manual maupun perhitungan simulasi pada *software* material SA 192 dengan material SA 53. Hasil yang didapat berupa rancangan hitung, desain *tube boiler*, analisa perhitungan pada SA 192 nilai tegangan 11,67 Mpa, pada simulasi *software* nilai tegangan 11,63 Mpa, sedangkan pada SA 53 nilai tegangan 9,09 Mpa, pada CAE nilai tegangan 9,14 Mpa. Material SA192 memiliki nilai tegangan lebih besar dibanding SA 53

**Kata Kunci :** *Tube Boiler, Tegangan, Numerik, FEA*

#### ABSTRACT

*Analysis of tubes for use in oil and gas, including boiler type AL-LSB-6000, found a case where the voltage that occurs in the boiler tube is large because the material used has a high voltage value specification. The method used in this planning begins with observations of the Cepu Oil and Gas field, carrying out the planning process for calculating material strength previously according to ASME. Planning analysis in the form of a comparison of manual calculations and simulation calculations in SA 192 material software with SA 53 material. The results obtained are in the form of design calculations, boiler tube design, calculation analysis in SA 192, the stress value is 11.67 Mpa, in the software simulation the stress value is 11.63 Mpa, while in SA 53 the stress value is 9.09 Mpa, in CAE the stress value is 9.14 Mpa. SA192 material has a greater stress value than SA 53*

**Keywords :** *boiler tube, voltage, numerical, FEA*

## I. PENDAHULUAN

Prestasi kerja atau tingkat unjuk kerja boiler yang didapatkan dari perbandingan antara energi yang dipindahkan ke atau diserap oleh fluida kerja di dalam ketel dengan masukan energi kimia dari bahan bakar merupakan penjabaran dari efisiensi boiler. Penelitian ini membahas pengaruh kandungan O<sub>2</sub> eksese pada gas buang dan pengaruh nilai kehilangan kalor (heat loss) terhadap efisiensi boiler. Kandungan O<sub>2</sub> pada flue gas yang terlalu banyak dapat mengakibatkan efisiensi menjadi turun. Penelitian dilaksanakan pada boiler dengan tipe water tube boiler milik PT Pertamina RU-VI Balongan, Indramayu dalam kondisi operasi dengan beban 188 MW dan kapasitas 115 ton/jam. Pengukuran dilakukan pada cerobong dengan memasang alat berupa thermocouple dan oxygen analyzer yang dihubungkan langsung dengan laboratorium proses engineering. Dengan demikian,

dapat disimpulkan bahwa boiler milik PT. Pertamina Refinery Unit VI Balongan-Indramayu masih dalam kondisi layak pakai dan dapat digunakan sebagai mana mestinya untuk memenuhi kebutuhan steam di dalam proses produksi. Penelitian yang dilakukan oleh (Waskitho Prabowo Hari, 2019) dengan karya ilmiah yang berjudul “Perancangan dan Validasi Vertical Fire Tube Boiler untuk Industri Tahu Menggunakan Software SOLIDWORKS”. Penelitian ini bertujuan untuk membuat rancangan boiler sesuai dengan kebutuhan industri tahu yang memiliki tingkat keamanan baik. Diharapkan dengan terciptanya rancangan boiler ini dapat menjamin keselamatan pekerja dan mampu meningkatkan kualitas serta kuantitas produksi pada industri kecil tahu terkait.

Rancangan boiler dibuat melalui beberapa tahapan: 1) Perhitungan kebutuhan industri tahu, 2) Perhitungan perpindahan panas dan konstruksi boiler berdasarkan standart ASME, 3) Penggunaan software SOLIDWORKS untuk mendesain dan menganalisis keamanan dari boiler. Boiler adalah salah satu peralatan utama dari PLTU yang berfungsi untuk merubah air menjadi uap superheat yang bertemperatur dan bertekanan tinggi. Proses memproduksi uap ini disebut Pembuat Uap (Steam Raising). Unit atau alat yang digunakan untuk membuat uap disebut Boiler atau lebih tepat Pembangkit Uap (Steam Generator). Klasifikasi Boiler secara umum dibagi dua yaitu, boiler pipa api dan boiler pipa air. Jenis boiler pipa api banyak digunakan oleh industri yang memerlukan tekanan uap yang relatif rendah, misalnya pabrik-pabrik gula. Sedangkan jenis pipa air digunakan oleh industri atau pembangkit listrik yang memerlukan tekanan uap yang tinggi, misalnya pada pusat-pusat listrik tenaga uap. Boiler atau ketel uap adalah suatu alat berbentuk bejana tertutup yang digunakan untuk memproduksi steam/uap. Steam diperoleh dengan memanaskan air yang berada di dalam bejana dengan bahan bakar. Boiler mengubah energi kimia menjadi bentuk energi yang lain untuk menghasilkan kerja. Adapun cara melakukan perancangan ulang yaitu dengan mengetahui data-data yang telah didapat pada saat melakukan penelitian di PPSDM Migas Cepu, dan mendesign ulang tube boiler type AL-LSB-6000 ini dengan menggunakan software FEA. Berdasarkan analisa pada saat pengambilan data di PPSDM Migas Cepu didapatkan suatu kasus yaitu tingginya nilai dari tegangan pada tube boiler dikarenakan spesifikasi material memiliki nilai tinggi terhadap tegangan, maka dari itu penulis bermaksud melakukan perencanaan ulang tube boiler type AL-LSB-6000 pada PPSDM Migas Cepu

## II. METODE PELAKSANAAN

### 2.1 Metode Pelaksanaan

Dalam perancangan Penelitian ini penulis menggunakan 3 metode, yaitu studi literatur, perhitungan secara manual, dan simulasi *FEA*. Metode studi literatur dilakukan dengan mencari dan mempelajari referensi dari buku literatur, jurnal, dan skripsi yang akan diperlakukan dalam Penelitian ini. Kemudian metode perhitungan secara numerik diterapkan dengan menggunakan rumus-rumus serta standar yang telah ada dan berlaku dari referensi yang telah didapat dan dipelajari terlebih dahulu. Langkah akhir yaitu dengan melakukan simulasi yang dilakukan dengan menggunakan salah satu *software* yaitu Ansys 17.0. Metode ini dilakukan untuk melihat dengan mengamati tekanan dan tegangan yang terjadi pada dinding-dinding *tube boiler* dan beban-beban terbesar yang terjadi pada setiap konstruksi *tube boiler* dan mengetahui defleksi yang terjadi pada struktur *tube boiler*, serta perencanaan *tube boiler type AL-LSB-6000* sebagai pembuktian dari perhitungan yang dilakukan secara numerik. Hasil dari tugas akhir ini berupa data-data dari hasil perhitungan secara manual, data-data hasil simulasi, dan gambar desain konstruksi *tube boiler type AL-LSB-6000* secara keseluruhan yang digambar dengan menggunakan *FEA*.

### 2.1 Teknik Analisis Data

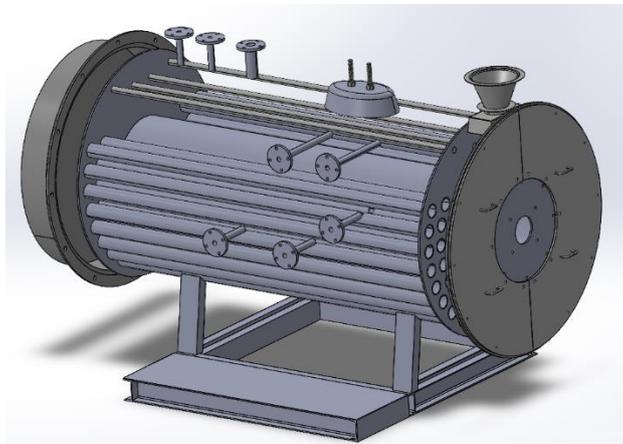
Sebagaimana bentuk penelitian perancangan ini maka teknik analisis data yang digunakan adalah analisis, artinya angka yang ditunjukkan sebagai hasil pengukuran dan hasil pengujian komponen dipaparkan dan dideskriptifkan secara jelas dan digunakan sebagai bahan dasar untuk membuat rancangan, Data yang dianalisis adalah data dari analisis statis desain *boiler* dengan menggunakan *FEA*, yang berupa *displacment dan stress*. Bentuk hasil analisis data ini akan menunjukkan kelemahan dan kelebihan dari rancangan yang telah dilakukan. Analisis data yang dilakukan akan mendapatkan rancangan bangun *tube boiler type AL-LSB-6000* yang sesuai dengan standar perancangan ASME dan juga kebutuhan di utilitas kilang, sehingga menjadikan rancangan tersebut dapat diwujudkan dalam bentuk fisik atau siap diproduksi. Teknik analisis data yang digunakan adalah analisis deskriptif, yaitu angka-angka yang ditunjukkan pada hasil analisis statis desain *tube boiler type AL-LSB-6000* dipaparkan dan dideskripsikan.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Spesifikasi Boiler

Desain boiler yang telah didapatkan merupakan hasil dari pengumpulan data dari literatur, survei lapangan dan perhitungan- perhitungan yang telah dilakukan, terlihat pada gambar 1. dengan menggunakan solidwork, Spesifikasi perancangan bangun boiler didapatkan data sebagai berikut:

Tipe boiler	: Fire tube boiler
Diameter dalam badan boiler	: 1950 mm
Diameter luar pipa api	: 63,5 mm (jumlah pipa 58 batang)
Tebal pipa api	: 3,2 mm
Panjang pipa api	: 4500 mm
Tekanan perancangan	: $12 \text{ kg/cm}^2 = 12 \text{ bar}$
Jenis uap	: Uap jenuh
Tekanan operasi	: $10 \text{ kg/cm}^2 = 10 \text{ bar}$
Bahan bakar	: Residu
Material tubes	: SA 192



**Gambar 1. Steam Boiler**

#### A. Simulasi Tube boiler

Perhitungan Tube Boiler menggunakan Finite Element Analysis 0. Kegunaan dari perhitungan sebagai data pembanding dengan hasil data yang didapat dengan hasil perhitungan teori, karena didapatkan perbedaan antara kedua hasil tersebut maka simulasi ditujukan sebagai referensi tambahan untuk mendukung hasil dari perhitungan teori. Adapun langkah dalam pengerjaan simulasi dengan menggunakan Finite Element Analysis adalah sebagai berikut :

Langkah simulasi dengan Finite Element Analysis

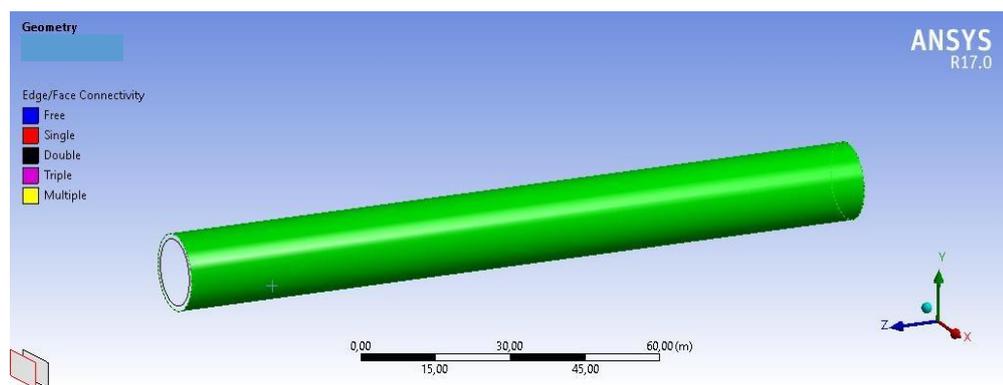
## B.Langkah pertama yaitu mendesign tube boiler SA 192

Memasukkan data-data yang telah ada seperti berikut:

- Diameter luar : 63,5 mm
- Tebal : 3,2 mm
- Panjang : 4500 mm
- Temperatur : 184 C
- Tekanan : 12 bar

### 3.2 Mengatur geometry

Pada dalam hal ini nama dari bagian benda atau objek yang akan disimulasikan diganti sesuai yang kita kehendaki. Benda atau objek terlebih dahulu digambarkan pada solidworks, kemudian diimport ke Finite Element Analysis, faktor kehilangan-kehilangan panas yang terjadi merupakan penyebab terjadinya penurunan, karena bahan bakar tidak seluruhnya diserap untuk pembentukan uap dan pemanasan, namun sebagian terbuang sebagai kehilangan-kehilangan panas/ heat loss. Boiler harus dioperasikan dengan jumlah udara yang lebih dari kebutuhan udara teoritis guna menjamin pembakaran sempurna. Besarnya udara lebih harus tepat karena sebenarnya udara lebih itu akan membawa sejumlah panas keluar cerobong. Tingkat optimal udara lebih untuk efisiensi maksimal terjadi apabila jumlah kehilangan yang diakibatkan pembakaran tidak sempurna dan kehilangan yang disebabkan oleh panas dalam gas buang.. Pada bagian ini ditentukan juga mana bagian yang bertindak sebagai fluida dan solid dapat dilihat pada gambar 2.

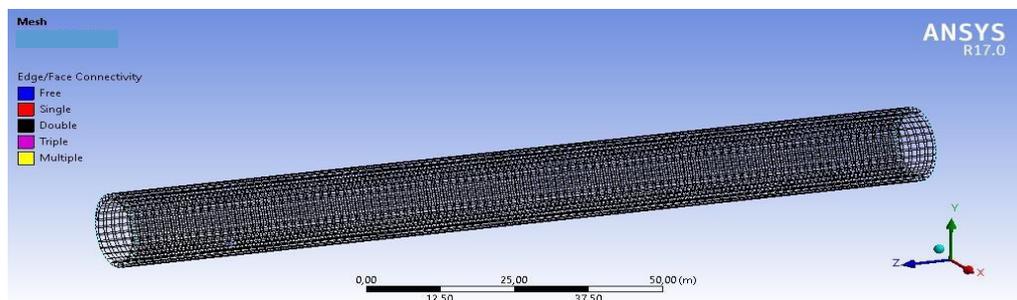


Gambar 2. Mengatur geometry

#### A. Mengatur mesh

Bidang sebagai referensi kita dalam menganalisa teknik yang umum digunakan untuk membentuk sebuah mesh, sebagai contoh IsoMesh, Paver Mesh,

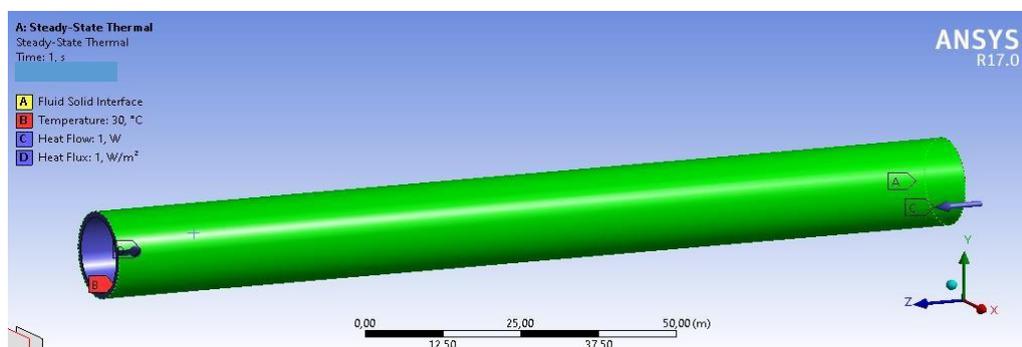
Auto TetMesh, serta 1 dan 2D meshing, dan masih banyak lagi. Pada artikel ini akan dibahas contoh pada software Patran untuk solving pada solver MSC Nastran. Hal penting yang perlu dipahami adalah, semakin baik definisi orientasi dari mesh (semakin rapi), maka kualitas hasil juga cenderung semakin baik, dan proses komputasi akan lebih efisien. Di sisi lain semakin dominan meshing dengan bentuk tetrahedron, maka cenderung menghasilkan elemen yang lebih banyak yang akan meningkatkan waktu komputasi, namun cenderung lebih mudah menghasilkan kualitas mesh yang baik pada geometri yang kompleks dalam hal ini diatur nama dari bagian yang akan dianalisa dalam hal ini diatur nama dari bagian yang akan dianalisa dalam hal ini parameter yang dimasukkan yaitu isolasi, air panas masuk dan keluar serta



air dingin masuk dan keluar, dapat dilihat pada gambar 3.

Gambar 3. Mengatur *mesh*

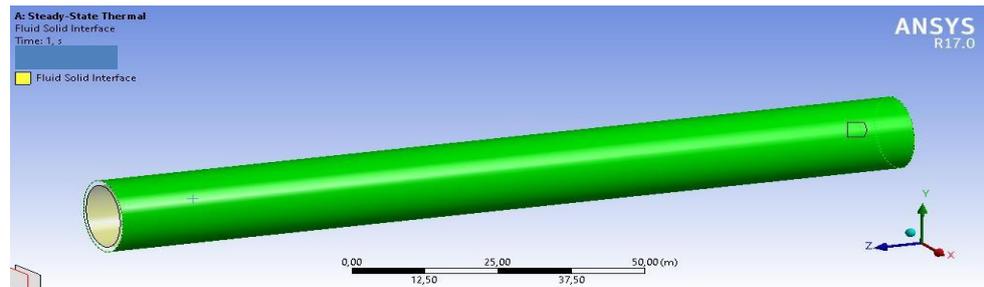
Setelah geometry dan mesh diatur langkah selanjutnya adalah mengatur setup. Pendekatan ini menggunakan pembuatan elemen pada daerah dengan ukuran yang reguler dengan pembagian yang sederhana, misalkan untuk kubus sederhana, atau geometri yang kompleks sekalipun namun pembagian garisnya dilakukan dengan sederhana seperti pada contoh gambar disamping. Akan tetapi terlebih dahulu kita *check quality*, dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Hasil pengecekan dan *display mesh*

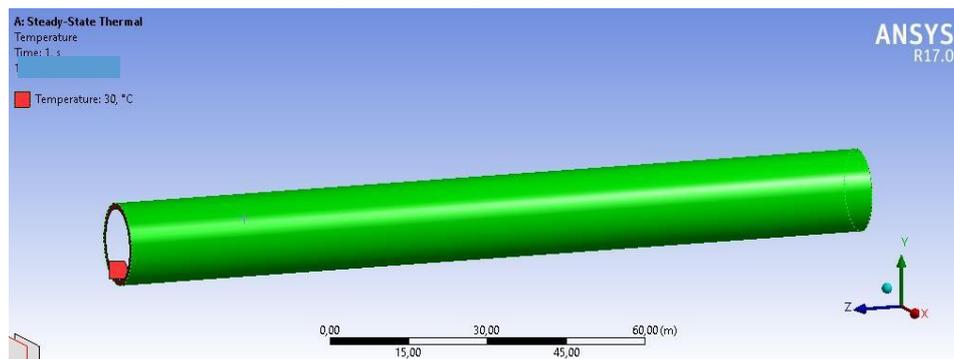
Kemudian mengatur metode perhitungan yang akan dikerjakan. Mesh ini merupakan teknik meshing permukaan secara otomatis dengan daerah

permukaan yang bebas (tidak harus sederhana seperti IsoMesh), termasuk trimmed surfaces, composite surfaces, dan surface irregular. Tidak seperti IsoMesh, paver membuat mesh dengan pertama kali membagi surface menjadi beberapa titik, dan kemudian digunakan untuk membangun elemen interior. Pada model diatur energi pada posisi on seperti gambar di bawah ini, dapat dilihat pada gambar 5.



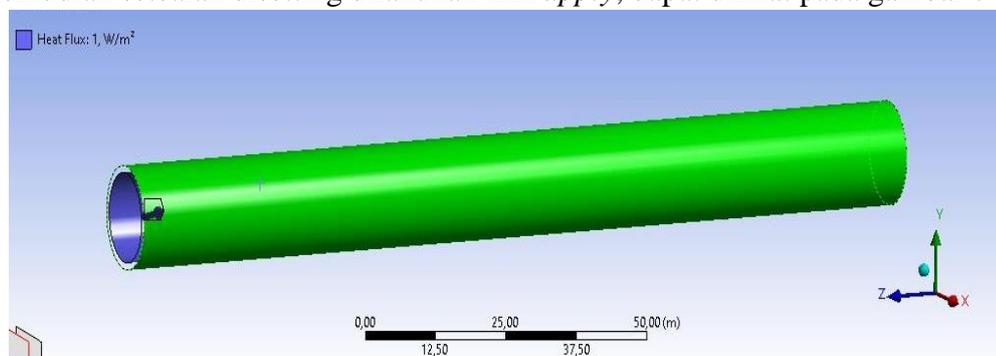
Gambar 5. Mengatur *set up*

Setelah itu diatur *temperature* sesuai dengan kondisi fluida (aliran laminar, turbulen, atau transisi), dapat dilihat pada gambar 6.



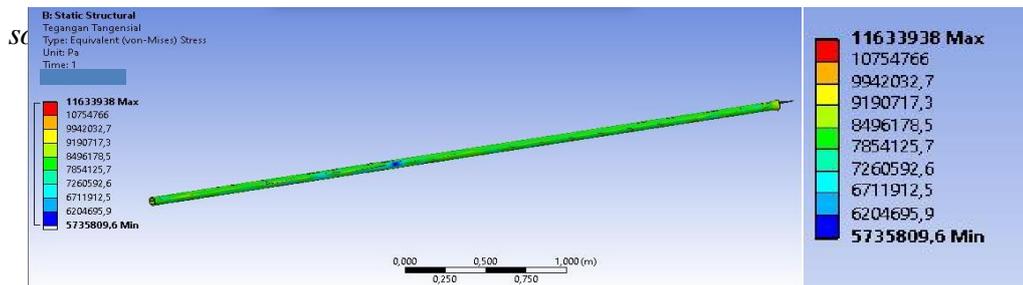
Gambar 6. Mengatur *viscous*

Selanjutnya diatur *heat flux* sesuai dengan kondisi yang telah ditentukan, kemudian setelah disetting dilakukan klik *apply*, dapat dilihat pada gambar 7



Gambar 7. Mengatur *setup heat flux*

ada bagian *stress* didapatkan nilai pada tegangan pipa saat air mengalir setelah itu diatur berapa suhu masuk beserta kecepatan fluida masuk ke dalam



Gambar 8. *stress*

Nilai yang di dapatkan pada 11633938 pascal atau 11,63 Mpa yang didapatkan pada perhitungan simulasi FEA sedangkan pada perhitungan manual di dapatkan 11675797,49 Pascal atau 11.67 Mpa, maka dapatkan kesimpulan nilai perhitungan manual dengan simulasi FEA hampir mendekati.

### 3.3 Perhitungan Gaya Tekan Pada Tube

Pada perhitungan gaya tekan bisa dihitung dengan perbandingan antara material SA 192 dengan material SA 53 sebagai berikut. Gaya tekan ke atas pada tube SA 192, dengan rumus berikut

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

$$F = P \cdot A$$

$$= 12 \text{ Kg/cm}^2 \times \pi d(r + t)$$

$$= 12 \text{ Kg/cm}^2 \times 3,14 \cdot 6,03\text{cm} (3,17 \text{ cm} + 150 \text{ cm})$$

$$= 12 \text{ Kg/cm}^2 \times 3054,05 \text{ cm}^2$$

$$= 36648,67 \text{ kg}$$

$$= 366486,72 \text{ N}$$

A. Gaya tekan ke bawah pada tube SA 192

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

$$F = P \cdot A$$

$$= 12 \text{ Kg/cm}^2 \times \pi d(r + t)$$

$$= 12 \text{ Kg/cm}^2 \times 3,14 \cdot 6,03\text{cm} (3,17 \text{ cm} + 150 \text{ cm})$$

$$= 12 \text{ Kg/cm}^2 \times 3054,05 \text{ cm}^2$$

$$= 36648,67 \text{ kg}$$

$$= 366486,72 N$$

Berdasarkan perhitungan pada perhitungan manual yang mengacu pada standar ASME (American Society of Mechanical Engineering) yang selanjutnya dilakukan simulasi menggunakan software ANSYS 17.0 didapatkan hasil sebagai berikut: Perhitungan manual

- A. Hasil perhitungan manual tegangan tube SA 192  $119,06 \text{ kg/cm}^2 = 11,67 \text{ Mpa}$
- B. Hasil perhitungan manual tegangan tube SA 53  $92,76 \text{ kg/cm}^2 = 9,09 \text{ Mpa}$
- C. Gaya tekan ke atas pada tube SA 192  $= 366486,72 N$
- D. Gaya tekan ke bawah pada tube SA 192  $= 366486,72 N$
- E. Gaya tekan ke atas pada tube SA 53  $= 347665,99 N$
- F. Gaya tekan ke bawah pada tube SA 53  $= 347665,99 N$
- G. Perhitungan simulasi ANSYS 17.0
- H. Hasil perhitungan tegangan tube SA 192  $= 11,63 \text{ Mpa}$
- I. Hasil perhitungan tegangan tube SA 53  $= 9,14 \text{ Mpa}$

Hubungan tekanan superheater dengan efisiensi boiler tidak konstan naik maupun turun namun pada , efisiensi boiler naik cukup signifikan , namun setelah tekananya naik , efisiensi mengalami penurunan. Hubungan temperatur feed water dengan efisiensi boiler , pada suhu  $129,5$  mencapai efisiensi paling tinggi , namun setelah suhunya semakin meningkat , efisiensi boiler turun cukup konstan , namun penurunannya tidak terlalu signifikan dan Hubungan variasi jumlah uap yang dihasilkan dengan efisiensi boiler relatif konstan naik , semakin besar jumlah uap yang dihasilkan , maka semakin besar efisiensi boiler. Dapat dianalisa bahwa tegangan yang terjadi di material tube SA 192 lebih besar dibanding dengan tegangan yang terjadi di material SA 53. Gaya tekan tube SA192 lebih besar dibanding dengan gaya tekan yang dihasilkan SA53, jadi penulis menyarankan untuk mengganti material SA 192 menjadi material SA53.

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

##### A. Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan pada perhitungan manual yang mengacu pada standar ASME (American Society of Mechanical Engineering) yang selanjutnya dilakukan simulasi menggunakan software ANSYS 17.0 maka Perhitungan material SA 192

- A. Hasil perhitungan manual tegangan tube SA 192  $119,06 \text{ kg/cm}^2 = 11,67 \text{ Mpa}$

- B. Hasil perhitungan simulasi tegangan tube SA 192 = 11,63 Mpa
- C. Hasil perhitungan manual tegangan tube SA 53  $92,76 \text{ kg/cm}^2 = 9,09 \text{ Mpa}$
- D. Hasil perhitungan simulasi tegangan tube SA 53 = 9,14 Mpa

Dapat disimpulkan bahwa tegangan yang terjadi di material tube SA 192 lebih besar dibanding dengan tegangan yang terjadi di material SA 53. Gaya tekan tube SA 192 lebih besar dibanding dengan gaya tekan yang dihasilkan SA 53, jadi penulis menyarankan untuk mengganti material SA 192 menjadi material SA 53.

## **B. SARAN**

Sebaiknya material diganti dengan material SA 53 dikarenakan material SA 53 lebih baik menerima tegangan dan gaya tekan dibandingkan dengan material SA 192 dan Perencanaan tube boiler ini masih dapat dikembangkan kembali.

## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Terimakasih saya Ucapkan Kepada Program Studi Teknik Mesin Universitas Pamulang kampus Serang, rekan-rekan mahasiswa yang telah membantu dan serta Tim peneliti dari Teknik Mesin dan Semua Pihak yang sudah berperan aktif dan sudah berkontribusi dan mendukung baik scara moral ataupun material

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Ben-Mansour, Rached, Mohamed A. Habib, Medhat A. Nemitallah, Mohammed Rajhi, and Kabir A. Suara. "Characteristics of oxyfuel and air-fuel combustion in an industrial water tube boiler." *Heat transfer engineering* 35, no. 16-17 (2014): 1394-1404.
- Dai Robbi, S., Mahendra, R. W., & Triyono, A. (2024). Analisis Gagalnya Pembakaran Pada Boiler di Kapal MT Gas Kalimantan. *Innovative: Journal Of Social Science Research*, 4(3), 6331-6346.
- Elangkovan, S. G. (2019). *Study of Mitigation of Superheater Tube Failure & Maintenance of an Industrial Boiler* (Doctoral dissertation, University of Malaya (Malaysia)).
- Febriyanti, E., Suhadi, A., & Sari, L. N. (2020). Fatigue and corrosion phenomenon on failure of water wall tube boiler. *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri*, 14(1), 29-38.
- Himarosa, Rela Adi, Satriawan Dini Hariyanto, Wisnu Hozaiifa Hasan, and Muhammad Akhsin Muflikhun. "Failure analysis of platen superheater tube, water wall tube, and sealpot plate: A case study from electricity power plant in indonesia." *Engineering Failure Analysis* 135 (2022): 106108.
- Juliyanti, Alda, and Fitriani Fitriani. "Analisa Perbandingan Penggunaan Bahan Bakar (Fiber & Shell) Dan Air Pada Boiler Advance 30 Ton Pt. Citra Sawit Lestari." *Elektrika Borneo* 9, no. 2 (2023).
- Purba, J. (2019). *Jurnal Perancangan Boiler Pipa Api Untuk Perebusan Bubur Kedelai Pada Industri Tahu Kapasitas Uap Jenuh 160 Kg/Jam*. 1–8.

- Sathish, T., V. Mohanavel, Asif Afzal, M. Arunkumar, M. Ravichandran, Sher Afghan Khan, Parvathy Rajendran, and Mohammad Asif. "Advancement of steam generation process in water tube boiler using Taguchi design of experiments." *Case Studies in Thermal Engineering* 27 (2021): 101247.
- Shrivastav, Sankalp, and Ibrahim Hussain. "Design of bagasse dryer to recover energy of water tube boiler in a sugar factory." *International Journal of Science and Research* 2.8 (2013): 356-358.
- Singer F.L dan A. Pytel. 1985. Kekuatan Bahan (Teori Kokoh – Strength of Materials). Jakarta : Erlangga
- Shofiudin, M., & Al-janan, D. H. (2019). *Water Tube Boiler Industri Kecil Tahu*. 189–210.
- Shahab, Aliyah, and Sulton Amna. "Efficiency Analysis Of Fire Tube Boiler Type At Refinery Utility Unit Center For Oil And Gas Human Resources Developme." *Jurnal Cakrawala Ilmiah* 2, no. 7 (2023): 3109-3118.
- Tognoli, Marco, Behzad Najafi, and Fabio Rinaldi. "Dynamic modelling and optimal sizing of industrial fire-tube boilers for various demand profiles." *Applied Thermal Engineering* 132 (2018): 341-351.
- Widyatama Monelis, Pramono dan Dony Hidayat Al-Janah. 2013. *Perancangan Rear Part Mobil Listrik Menggunakan Software 3D Siemens NX8*. Automotive Science and Education Journal, Volume 2 No. 1. Hal: 1-9
- Wening Kusuma, P. T. W., & Rachbini, D. J. (2019). Simulasi Kebijakan Penambahan Areal Tanam dan Peningkatan Produktivitas dalam Mendukung Tercapainya Swasembada Jagung. *AgriTECH*, 39(3), 188.