

Perancangan *Boiler* untuk Proses Sterilisasi pada *Baglog* Jamur Tiram

Ronald Akbar^{1,a)}, Agus Sukandi^{2,b)}, M. Kurniadi Rasyid^{1,c)}

¹Program Studi Teknik Mesin ITI,
Jl. Raya Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan-Banten, Indonesia, 15320

² Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta,
Jl. Prof. Dr. G.A Siwabessy, Kampus Baru UI Depok, 16424

^{a)} ronaldakbar28x1@gmail, ^{b)} agus.sukandi@mesin.pnj.ac.id, ^{c)} kurniadirasyid@gmail.com

Abstrak

Pada proses pembuatan *baglog* jamur tiram, *boiler* digunakan untuk proses *sterilisasi baglog* sebelum bibit jamur tiram ditanam. Perancangan *boiler* ini bertujuan untuk mengurangi permasalahan pada proses *sterilisasi*, yaitu ketidakstabilan temperatur yang menyebabkan organisme pengganggu bibit jamur tiram tidak semuanya mati. Sehingga dengan perancangan *boiler* ini diharapkan membantu untuk menghasilkan jamur tiram dengan kualitas yang baik dan mengurangi kegalalan panen. Tahapan yang dilakukan dalam perancangan ini adalah menghitung konstruksi *boiler* sesuai dengan standar ASME BPVC (*American Society of Mechanical Engineers Boiler and Pressure Vessel Code*), dengan menggunakan material SA 53 Grade B dan SA 285 Grade C. Kemudian dilanjutkan dengan proses analisis statis model *boiler* menggunakan *software* Pro Engineer Wildfire 4.0, yang hasilnya adalah berupa tegangan Von Mises dan *displacement*. Hasil analisa menyatakan bahwa tegangan Von Mises yang terjadi sebesar $2,056 \times 10^8 \text{ N/m}^2$, dibawah tegangan yang diizinkan yaitu sebesar $4,15 \times 10^8 \text{ N/m}^2$. Maka dengan hasil tersebut desain dapat dikatakan aman.

Kata kunci: ASME PBVC, *baglog*, *boiler*, perancangan

Abstract

In the process of making the baglog for oyster mushrooms, boilers are used for the baglog sterilization process before the seeds of the oyster mushrooms are planted. The design of the boiler aims to reduce the problems in the sterilization process, which is the temperature instability that causes the disturbing organisms are not die entirely. So in conjunction of this boiler design, the oyster mushrooms can be produced with good quality and the crop failure reduced. The steps in this design are calculating boiler construction according to the ASME BPVC (American Society of Mechanical Engineers Boilers and Pressure Vessel Codes) standard, using the material of SA 53 Grade B and SA 285 Grade C. Then the boiler's model is processed with static analysis using Pro Engineer Wildfire 4.0 software which yield Von Mises stress and displacement. The results analysis state that the Von Mises stress is $2.056 \times 10^8 \text{ N/m}^2$, or below the allowable stress of $4.15 \times 10^8 \text{ N/m}^2$. So with these results the design is considered to be safe.

Keywords: ASME PBVC, *baglog*, boiler, design,

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Industri *baglog* jamur tiram merupakan salah satu industri pertanian yang perlu dikembangkan dalam peralatan produksinya. Hal ini dikarenakan prospek pasarnya yang bagus dan memiliki potensi ekonomi yang tinggi dengan segmen pasar yang jelas. Pada segmen restoran dan hotel, kebutuhan akan jamur tiram cukup tinggi. Jadi dibutuhkan pasokan jamur tiram yang banyak dan cepat. Adanya industri *baglog* jamur tiram ini dapat memenuhi permintaan pasar tersebut karena proses penanamannya yang sederhana dengan hasil panen yang cukup banyak dan cepat.

Namun terdapat masalah yang sering dihadapi oleh petani *baglog*, yaitu proses *sterilisasi* dari *baglog* yang tidak baik. *Baglog* adalah sebuah media tumbuh dari jamur tiram. Sebelum proses pemasukkan bibit jamur, *baglog* harus melewati proses *sterilisasi* berupa pemanasan dengan suhu tinggi yang bertujuan untuk mematikan berbagai patogen dan mikroba lain pada

media tumbuh tersebut. Biasanya para petani hanya menggunakan peralatan seadanya untuk melakukan proses *sterilisasi* ini, sebagai contoh adalah memodifikasi *drum* bekas untuk dijadikan alat pemanas. Hal tersebut kurang baik karena suhu pemanasan yang tidak teratur sehingga kualitas dari jamur tiram akan menurun atau lebih parahnya lagi adalah kegagalan panen.

Perkembangan ilmu teknologi saat ini dapat mendukung alat produksi pada industri *baglog* jamur tiram. Salah satunya teknologi dalam bidang konversi energi yang memunculkan banyak ide kreatif untuk memanfaatkannya dalam dunia industri. Berdasarkan hal tersebut dilakukan sebuah penelitian berupa perancangan suatu *boiler* atau ketel uap yang sesuai dengan standar yang ada sehingga dapat menaikkan hasil panen dan kualitas dari suatu industri *baglog* jamur tiram.

B. Rumusan Masalah

Permasalahan dalam industri *baglog* secara umum adalah pada proses *sterilisasi* atau pemanasan pada

baglog. Banyak hasil panen jamur tiram yang buruk kualitasnya bahkan terjadi kegagalan akibat proses *sterilisasi* yang kurang baik pada *baglog*. Sedangkan Permasalahan dalam industri *baglog* secara khusus adalah penggunaan alat pemanas pada proses *sterilisasi* yang kurang memadai, oleh karena itu dibutuhkan suatu alat pemanas berupa *boiler* yang sesuai dengan standar sehingga dapat dihasilkan jamur tiram dengan kualitas yang baik.

C. Tujuan Penulisan

Tujuan penulisan dari tugas akhir ini adalah:

- Merancang sebuah *boiler* untuk proses *sterilisasi* pada *baglog* jamur tiram sesuai dengan standar yang ada, yaitu standar ASME (*American Society of Mechanical Engineers*) *Boiler and Pressure Vessel Code* (BPVC).
- Mengurangi permasalahan pada industri *baglog* yaitu pada proses *sterilisasi*. Sehingga dapat dihasilkan jamur tiram dengan kualitas yang bagus sekaligus dapat mengurangi kerugian petani *baglog* akibat kegagalan panen.

II. LANDASAN TEORI

A. Baglog Jamur

Baglog adalah media siap panen yang terdiri dari campuran antara serbuk gergaji, bekatul serta gamping yang diaduk bersamaan dengan air dan dimasukkan kedalam plastik tahan panas *polypropylene* (PP) [1]. Bahan utama yang bisa digunakan dalam media tanam jamur tiram diantaranya adalah serbuk gergaji, jerami padi, sekam, sisa kertas, serta bahan lainnya seperti ampas tebu, ampas aren, dan sabut kelapa. Selain bahan-bahan tersebut biasanya masih ditambahkan bahan lain seperti bekatul, bungkil biji kapok, kotoran ayam, gypsum dan kapur [2]. Contoh dari *baglog* jamur tiram ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Baglog Jamur

B. Boiler

Boiler merupakan mesin kalor (*thermal engineering*) yang mentransfer energi-energi kimia yaitu energi otomis menjadi kerja (usaha) [3]. *Boiler* atau ketel uap adalah suatu alat berbentuk bejana tertutup yang terbuat dari baja yang berfungsi untuk mentransfer panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar ke air yang menjadi uap atau *steam* yang berguna. Uap ini digunakan untuk proses-proses industri, penggerak, pemanas, dan lain-lain [4].

Boiler pada dasarnya terdiri atas *drum* yang tertutup ujung dan pangkalnya dan dalam perkembangannya

dilengkapi dengan pipa api maupun pipa air. *Boiler* diklasifikasikan sebagai berikut:

a. Boiler pipa api (*fire tube boiler*)

Boiler jenis ini pada bagian *tubenya* dialiri dengan gas pembakaran dan bagian lainnya yaitu *shell* dialiri air yang akan diuapkan. *Tube-tubenya* langsung didinginkan oleh air yang melindunginya. Jumlah *pass* dari *boiler* tergantung dari jumlah laluan horizontal dari gas pembakaran diantara *furnace* dan pipa-pipa api. Laluan gas pembakaran pada *furnace* dihitung sebagai *pass* pertama. *Boiler* jenis ini banyak dipakai untuk industri pengolahan mulai skala kecil sampai skala menengah [5].

b. Boiler pipa air (*water tube boiler*)

Boiler jenis ini banyak dipakai untuk kebutuhan uap skala besar. Prinsip kerja dari boiler pipa air berkebalikan dengan pipa api, gas pembakaran dari *furnace* dilewatkan ke pipa-pipa yang berisi air yang akan diuapkan.

C. Teori Kekuatan Material

Dalam merancang suatu struktur, ditetapkan prosedur pemilihan suatu material yang sesuai dengan kondisi aplikasinya. Kekuatan bahan bukan kriteria satu-satunya yang harus dipertimbangkan dalam perancangan struktur. Berlawanan dengan mekanika, kekuatan bahan berkaitan dengan hubungan antara gaya luar yang bekerja dan pengaruhnya terhadap gaya dalam benda [6].

D. Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga atau dapat disebut dengan *Finite Element Metode* (FEM) atau *Finite Element Analysis* (FEA), adalah dasar pemikiran dari suatu bangunan bentuk-bentuk kompleks dengan blok-blok sederhana atau membagi objek yang kompleks ke dalam bagian-bagian kecil yang teratur. Karena sifat-sifat setiap elemen dievaluasi secara terpisah, maka adalah suatu keuntungan yang pasti bila kita dapat memasukkan sifat-sifat bahan yang berbeda untuk setiap elemen [7].

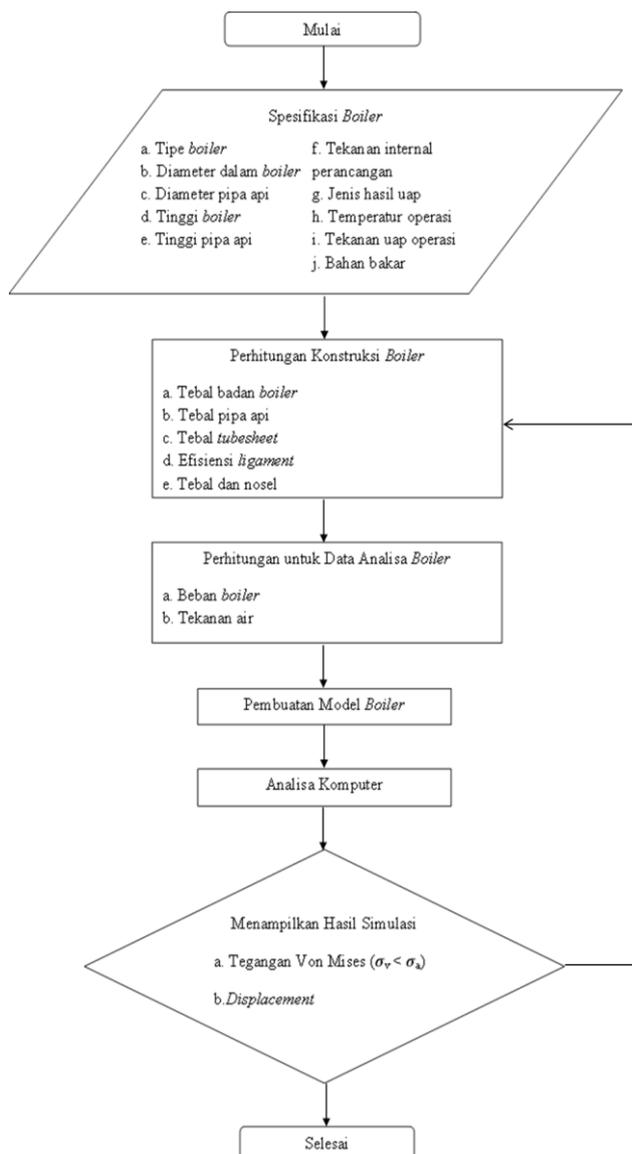
E. Analisis Komputer Menggunakan Pro Engineer Wildfire 4.0

Kemajuan dalam bidang komputer saat ini sangat membantu dalam proses penyelesaian analisis, khususnya analisis kekuatan struktur. Saat ini banyak tersedia berbagai jenis perangkat lunak (*software*) yang digunakan untuk analisa struktur, salah satunya adalah Pro Engineer Wildfire 4.0 yang merupakan produk keluaran dari Parametric Technology Corporation (PTC). Pro Engineer merupakan pelopor perangkat lunak desain 3 dimensi yang memakai sistem parametrik. Penggunaan *software* ini dapat dipakai untuk menganalisis komponen baik itu kekuatan struktur dalam beban statis, analisis frekuensi bebas sampai simulasi perancangan dapat dilakukan.

III. METODE PENELITIAN

Perancangan tugas akhir atau skripsi ini menggunakan tiga metode, yaitu metode studi literatur, perhitungan secara manual, dan simulasi *software*. Metode studi literatur dilakukan dengan mencari dan mempelajari referensi dari buku literatur, jurnal, skripsi, dan *website* di internet yang terkait dan diperlukan dalam perancangan tugas akhir ini. Kemudian metode perhitungan secara manual diterapkan dengan menggunakan rumus-rumus

serta standar yang telah ada dan sesuai dengan standar ASME PBVC (*American Society Mechanical Engineers Boiler and Pressure Vessel Code*). Langkah terakhir adalah dengan melakukan simulasi yang dilakukan dengan menggunakan salah satu perangkat lunak (*software*) pada komputer yaitu Pro Engineer Wildfire 4.0. Metode ini dilakukan untuk melihat dan mengamati beban-beban (*load*) yang terjadi pada setiap bagian dari boiler dan sebagai pembuktian dari perhitungan yang dilakukan secara manual sebelumnya. Hasil akhir dari tugas akhir ini berupa data-data dari hasil perhitungan secara manual dan data-data hasil simulasi. Pelaksanaan tugas akhir ini mengikuti diagram alir perancangan yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Perancangan

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Spesifikasi boiler yang dirancang mempunyai data-data sebagai berikut:

- a. Tipe Boiler : Vertical Firetube Boiler

- b. Diameter Dalam Badan Boiler : 750 mm
- c. Diameter Pipa Api : 70 mm (Jumlah pipa 21 buah)
- d. Tinggi Boiler : 1600 mm
- e. Tinggi Pipa Api : 1200 mm
- f. Tekanan Internal Perancangan : 6 Bar
- g. Jenis Hasil Uap : Uap Jenuh
- h. Temperatur Operasi : 100 °C – 150 °C
- i. Tekanan Uap Operasi : 4 Bar
- j. Bahan Bakar : LPG (*Liquified Petroleum Gas*)

A. Desain Boiler

- Standar Perancangan : ASME Section IV
- Material : SA – 285 Grade C
- Spesifikasi Material :

- a. Maximum Allowable Stress Value (S) : 11 Ksi = 11000 lb/in² (ASME Section IV 2007)
- b. Joint Coefficient (E) : 85 % (ASME Section IV 2007)

Maka tebal minimum plat boiler yang diizinkan adalah:

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} \tag{1}$$

dimana:

- t = Tebal dinding silinder yang dibutuhkan (*inchi*).
- P = Tekanan perancangan (*design pressure*) tidak kurang dari 30 psi (200 Kpa).
- R = Radius dalam silinder (*inchi*).
- S = Kekuatan stress maksimum material (*maximum allowable stress*) (psi).
- E = Efisiensi sambungan pada silinder.

maka:

$$t = \frac{97,0226 \frac{lb}{in^2} \cdot 14,7637in}{11000 \frac{lb}{in^2} \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 97,0226 \frac{lb}{in^2}} = 0,1381 in = 3,5077 mm$$

B. Desain Pipa Api (Firetube)

- Standar Perancangan : ASME Section IV
- Material : SA – 53 Grade B
- Spesifikasi Material :

- a. Maximum Allowable Stress Value (S) : 12 Ksi = 12000 lb/in² (ASME Section IV 2007)
- b. Yield Strength : 35 Ksi (ASME Section IV 2007)
- Joint Coefficient (E) : 85 % (ASME Section IV 2007)

Perbandingan panjang dan diameter pipa api didapatkan dengan menggunakan rumus :

$$\frac{L}{D^0} \tag{2}$$

dimana:

- L = Panjang pipa api = 1200 mm = 47,244 in
- D⁰ = Diameter pipa api = 70 mm = 2,7559 in
- t = Ketebalan Boiler

maka:

$$\frac{47,244 \text{ in}}{2,7559 \text{ in}} = 17,1428$$

Untuk menentukan ketebalan pipa api ini, dilakukan metode *trial and error* yang proses perhitungannya adalah sebagai berikut:

Asumsi $D^o/t = 50$. Dari tabel G dan D ASME Section II Part D 2010 didapatkan data seperti pada Tabel 1 berikut ini:

Tabel 1. Pencarian Tekanan dengan $D^o/t = 50$

D^o/t	L/D_o	Faktor A	t(°C)	Faktor A	Faktor B (Mpa)	Faktor B (lb/in ²)
50	12,000	$4,49 \times 10^{-4}$	150	$2,84 \times 10^{-4}$	27,90	4046,55
50	14,430	$4,46 \times 10^{-4}$	150	$4,46 \times 10^{-4}$	43,81	6354,10
50	16,000	$4,44 \times 10^{-4}$	150	$8,0 \times 10^{-4}$	78,60	11109,89

Dari Tabel 1 digunakan untuk mencari nilai tekanan (P), dengan syarat $P > P_1$, dengan P_1 sebesar 87,0226 lb/in². Digunakan rumus:

$$P = \frac{B}{D^o/t} \quad (3)$$

dimana:

P = Tekanan (lb/in²)

B = Faktor B (lb/in²)

maka:

$$\frac{11109,89 \text{ lb/in}^2}{50} = 222,1978 \text{ lb/in}^2$$

Nilai ketebalan dari pipa api adalah:

$$\frac{D^o}{t} = 50 \quad (4)$$

$$t = \frac{D^o}{50} = \frac{70 \text{ mm}}{50} = 1,4 \text{ mm}$$

C. Desain Tubesheet

Tubesheet adalah tempat untuk menopang pipa – pipa api pada *boiler*. *Tubesheet* merupakan bagian yang mendapatkan tekanan yang paling besar.

Standar Perancangan : ASME Section IV

Material : SA – 285 Grade C

Spesifikasi Material :

a. *Maximum Allowable Stress Value* (S) : 11 Ksi = 11000 lb/in² (ASME Section IV 2007)

b. *Joint Coefficient* (E) : 85 % (ASME Section IV 2007)

Dengan jarak maksimal antar pipa api adalah 120 mm (4,7244 in), maka tebal minimum plat *boiler* yang diizinkan adalah:

$$t = \sqrt{\left(\frac{p}{S}\right) + \left(p^2 - \frac{\pi D^2}{4}\right)} \quad (5)$$

dimana:

t = Tebal dibutuhkan (*inchi*).

p = Maksimal jarak antar pipa api (*inchi*).

C = 2,7 untuk pipa api pengelasan ketebalan kurang dari 11 mm (7/16 *inchi*).

C = 2,8 untuk pipa api pengelasan ketebalan kurang dari 11 mm (7/16 *inchi*).

maka:

$$t = \sqrt{\left(\frac{87,0226 \text{ lb/in}^2}{2,7 \cdot 11000 \text{ lb/in}^2}\right) + \left(4,7244^2 \text{ in}^2 - \frac{\pi \cdot 2,7559^2 \text{ in}^2}{4}\right)}$$

t = 0,2321 in = 5,8953 mm, dibulatkan menjadi 6 mm (0,2362 in).

D. Efisiensi Ligament

Ligament adalah jarak plat antar lubang pipa api pada *tubesheet*. *Ligament* menggunakan pola jarak yang sama pada setiap baris. Berikut merupakan proses perhitungan efisiensi dari *ligament*.

$$E = \frac{p-d}{p} \quad (6)$$

Dimana :

E = Efisiensi *ligament*.

p = Jarak antar lubang (*inchi*).

d = Diameter lubang pipa api (*inchi*).

Maka :

$$E = \frac{4,2744 \text{ in} - 2,7559 \text{ in}}{4,2744 \text{ in}} = 0,4166 = 41,66 \%$$

E. Desain Nosel

Pipa nosel berfungsi sebagai penopang instrumen *boiler* seperti *safety valve*, *pressure gauge*, *thermometer*, *water level gauge*, *main steam valve* dan *blowdown*.

Standar Perancangan : ASME Section IV

Material : SA – 53 Grade B

Spesifikasi Material :

a. *Maximum Allowable Stress Value* (S) : 12 Ksi = 12000 lb/in² (ASME Section IV 2007)

b. *Yield Strength* : 35 Ksi (ASME Section IV 2007)

c. *Joint Coefficient* (E) : 85 % (ASME Section IV 2007)

Rumus yang digunakan untuk mencari ketebalan pada nosel adalah :

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + 0,04 \quad (7)$$

dimana:

t = Tebal dinding silinder yang dibutuhkan (*inchi*).

P = Tekanan perancangan (*design pressure*) tidak kurang dari 30 psi (200 Kpa).

R = Radius dalam silinder (*inchi*).

S = Kekuatan *stress* maksimum material (*maximum allowable stress*) (psi).

E = Efisiensi sambungan pada silinder.

a. Pipa Nosel *Safety Valve*, *pressure gauge*, *thermometer*, dan *water pressure gauge*

Pipa nosel menggunakan pipa *carbon steel* berdiameter 1 in. Maka tebal pipa nosel yang dibutuhkan adalah:

$$t = \frac{87,0226 \frac{lb}{in^2} \cdot 0,5 \text{ in}}{12000 \frac{lb}{in^2} \cdot 0,95 - 0,6 \cdot 87,0226 \frac{lb}{in^2}} + 0,04 = 0,0442 \text{ in} = 1,0668 \text{ mm}$$

b. Pipa Nosel *main steam* dan *blowdown*

Pipa nosel menggunakan pipa *carbon steel* berdiameter 2 in. Maka tebal pipa nosel yang dibutuhkan adalah:

$$t = \frac{87,0226 \frac{lb}{in^2} \cdot 1 \text{ in}}{12000 \frac{lb}{in^2} \cdot 0,95 - 0,6 \cdot 87,0226 \frac{lb}{in^2}} + 0,04 = 0,0485 \text{ in} = 1,2319 \text{ mm}$$

E. Perhitungan Beban

Beberapa variabel yang dibutuhkan untuk mendapatkan beban pada *boiler* adalah sebagai berikut:

Volume Badan *Boiler* = $V_{\text{badan boiler}} = L_b \cdot t_{ba}$
 = $\pi \cdot r_b^2 \cdot t_{ba}$
 = $\pi \cdot 0,375^2 \text{ m}^2 \cdot 1,15 \text{ m}$
 = $0,508 \text{ m}^3$

Volume Pipa Api = $V_{\text{pipa api}} = L_t \cdot t_a$
 = $\pi \cdot r_t^2 \cdot t_a$
 = $\pi \cdot 0,035^2 \text{ m}^2 \cdot 0,75 \text{ m}$
 = $0,0028 \text{ m}^3$

Volume Pipa Api Total = $V_{\text{pipa api total}} = V_{\text{pipa api}} \cdot \text{Jumlah pipa api}$
 = $0,0028 \text{ m}^3 \cdot 21 = 0,0588 \text{ m}^3$

Volume Dapur = $V_{\text{Dapur}} = L_d \cdot t_d$
 = $\pi \cdot r_d^2 \cdot t_d$
 = $\pi \cdot 0,0335^2 \text{ m}^2 \cdot 0,4 \text{ m}$
 = $0,141 \text{ m}^3$

Volume air = $V_{\text{air}} = V_{\text{badan boiler}} - (V_{\text{pipa api total}} + V_{\text{Dapur}})$
 = $0,508 \text{ m}^3 - (0,0588 \text{ m}^3 + 0,141 \text{ m}^3) = 0,3082 \text{ m}^3$

Maka beban pada *boiler* dapat ditentukan dengan menggunakan rumus :

Massa Air = $m_{\text{air}} = V_{\text{air}} \cdot \rho_{\text{air}}$ (8)
 = $0,3082 \text{ m}^3 \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 = 308,2 \text{ kg} = 3082 \text{ N}$

F. Perhitungan Tekanan Air

Beberapa variabel yang dibutuhkan untuk mendapatkan tekanan kerja pada *boiler* adalah sebagai berikut :

Luas Dinding Badan *Boiler* = $\pi \cdot D_b \cdot t_b$
 = $\pi \cdot 0,75 \text{ m} \cdot 1,6 \text{ m}$
 = $3,7699 \text{ m}^2$

Luas Pipa Api Total = Luas Pipa Api . Jumlah Pipa Api

= $\pi \cdot D_t \cdot t_t \cdot 21$
 = $\pi \cdot 0,07 \text{ m} \cdot 1,2 \text{ m} \cdot 21$
 = $5,5417 \text{ m}^2$

Luas Dapur = $\pi \cdot D_d \cdot t_d$
 = $\pi \cdot 0,65 \text{ m} \cdot 0,4 \text{ m}$
 = $0,8419 \text{ m}^2$

Total Luas Permukaan = Luas Dinding Badan *Boiler* + Luas Pipa Api Total + Luas Dapur
 = $3,7699 \text{ m}^2 + 5,5417 \text{ m}^2 + 0,8419 \text{ m}^2 = 10,1535 \text{ m}^2$

Maka tekanan kerja pada *boiler* dapat ditentukan dengan menggunakan rumus :

Tekanan Kerja = $\frac{M_{\text{air}}}{\text{Total luas permukaan}}$ (9)
 Tekanan Kerja = $\frac{3082 \text{ N}}{10,1535 \text{ m}^2} = 303,5406 \text{ N/m}^2$

F. Analisis Statis Model Boiler

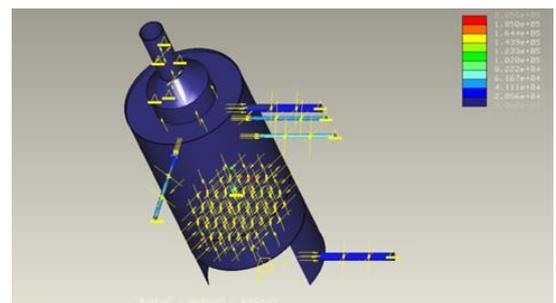
Analisis statis pada model *boiler* ini dilakukan dengan simulasi *Application Mechanica Analysis* pada Pro Engineer Wildfire 4.0. Tabel 2 menunjukkan data-data yang akan diberikan pada model *boiler*:

Tabel 2. Load Desain Boiler

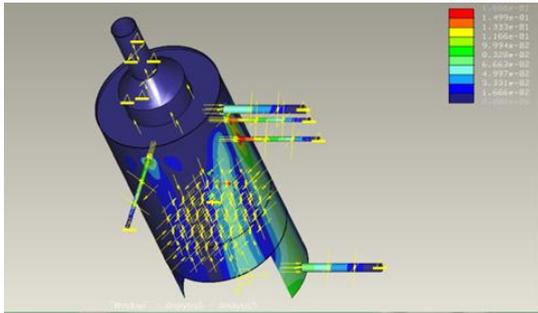
No	Load	Besar Load	Bagian
1.	Beban	3082 N	<i>Tubesheet</i> bagian bawah
2.	Tekanan	303,5406 N/m ²	Permukaan <i>Firetube</i> dan permukaan dalam dinding <i>boiler</i>
3.	Temperatur	393 K	Semua bagian <i>boiler</i>

Temperatur yang bekerja pada boiler adalah temperatur pembakaran yaitu 150 °C (423 K). Pada analisis *software* Pro Engineer Wildfire 4.0, temperatur disesuaikan dengan temperatur ruang yaitu diasumsikan temperatur ruang adalah 30 °C. Maka temperatur yang diberikan pada boiler adalah 120 °C (393 K).

Hasil proses analisis statis model *boiler* yang ditampilkan adalah tegangan Von Mises dan *displacement*. Gambar 3 dan Gambar 4 merupakan hasil dari analisis tersebut:



Gambar 3. Hasil Von mises Stress pada Model Boiler



Gambar 4. Hasil *Displacement* pada Model Boiler

Setelah dilakukan analisis menggunakan *software* Pro Engineer Wildfire 4.0, maka dapat diketahui bahwa hasil analisis pada boiler ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Analisis Boiler

Karakteristik	Hasil Analisis
Tegangan Von Mises Maksimal	$2,056 \times 10^8 \text{ kg/mm} \cdot \text{sec}^2 = 2,056 \times 10^8 \text{ N/m}^2$
Tegangan Von Mises Minimal	$9,960 \times 10^3 \text{ kg/mm} \cdot \text{sec}^2 = 9,960 \text{ N/m}^2$
<i>Displacement</i> Maksimal	$1,666 \times 10^{-1} \text{ mm}$
<i>Displacement</i> Minimal	0 mm

V. KESIMPULAN

- Berdasar perhitungan konstruksi boiler, didapatkan data sebagai berikut:
 - Badan boiler:
 - Ø: 750 mm,
 - Tinggi: 1600 mm,
 - Tebal: 3,5077 mm
 - Bahan: plat SA – 285 Grade C
 - Pipa api:
 - Ø: 70 mm,
 - Tinggi: 1200 mm
 - Tebal: 1,4 mm
 - Bahan pipa: SA – 53 Grade B
 - Tubesheet:
 - Ø: 750 mm
 - Tebal: 6 mm
 - Jarak maksimal antar pipa api: 120 mm
 - Bahan: plat SA – 285 Grade C
 - Efisiensi ligament: 41,66 %
 - Pipa nosel *safety valve*, *pressure gauge*, *thermometer*, dan *water pressure gauge*:
 - Ø: 25,4 mm
 - Tebal: 1,0668 mm
 - Bahan: plat SA – 53 Grade B
 - Pipa nosel *main steam* dan *blowdown*:
 - Ø: 50,8 mm
 - Tebal: 1,2319 mm
 - Bahan: plat SA – 53 Grade B
- Dari hasil analisa statis model boiler secara keseluruhan dengan *software* Pro Engineer Wildfire 4.0, didapatkan data sebagai berikut:
 - Tegangan Von Mises maksimal: $2,056 \times 10^8 \text{ N/m}^2$

- Tegangan Von Mises minimal: $9,960 \text{ N/m}^2$
- Displacement* maksimal: $1,666 \times 10^{-1} \text{ mm}$
- Displacement* minimal: 0 mm

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada yayasan Teijin yang telah memberikan dana untuk melakukan penelitian ini.

REFERENSI

- Maharani, Peningkatan Efisiensi Produksi Baglog Melalui Percepatan Waktu Siklus Produksi di Usaha Lancar Abadi Pendekatan *Critical Path Method*, *E-Jurnal Agribisnis dan Agrowisata*, vol.5, no.1, 2016, pp. 1 – 10.
- Suriawiria. U, *Pengantar untuk Mengenal dan Menanam Jamur*, Bandung, 1986.
- Roswati, Perancangan Boiler dengan Memanfaatkan Sampah Kering untuk Bahan Bakar PLTU Mini 3 kW STT-PLN, *Jurnal Power Plant*, vol.5, no.1, 2017, pp. 1 – 10.
- Yusuf. Y dan Budi. S, Analisa Perbandingan Pemakaian Bahan Bakar Solar Fuel Oil (SFO) dan Liquefied Natural Gas (LNG) Terhadap Kinerja Boiler di Unit Cold Rolling Mill (CRM) Di PT X, *Jurnal Teknik*, vol.12, no.3, 2016, pp. 439 – 446.
- Raharjo. W.D dan Karnowo, *Mesin Konversi Energi*, Semarang, 2008.
- Jhonas. P, Perancangan Boiler Pipa Api untuk Perebusan Bubur Kedelai pada Industri Tahu Kapasitas Uap Jenuh 160 Kg/Jam, *Jurnal Teknik Mesin*, vol.2, no.1, 2016, pp. 1 – 8.
- Desai. C.S, *Dasar-Dasar Metode Elemen Hingga*, Jakarta, 1996.