

PERANCANGAN KETEL UAP untuk PT. HONGXING ALGAE INTERNATIONAL

Theo Adrian Nusalim¹⁾, Ekadewi Anggraini Handoyo²⁾

Program Studi Teknik Mesin Universitas Kristen Petra^{1,2)}

Jalan. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236, Indonesia^{1,2)}

Phone: 0062-31-8439040, Fax: 0062-31-8417658^{1,2)}

E-mail : m24410003@john.petra.ac.id¹⁾, ekadewi@peter.petra.ac.id²⁾

ABSTRAK

Rumput laut adalah salah satu hasil alam Indonesia yang sedang berkembang sekarang. Rumput laut biasa dikeringkan terlebih dahulu guna mengurangi bobot pengiriman dan agar tidak mudah rusak. Rumput laut dikeringkan dengan cara dijemur dibawah sinar matahari. Pengeringan secara tradisional ini memerlukan waktu yang lama untuk mendapatkan rumput laut yang kering dan siap dikirim. Oleh karenanya digunakan ketel uap agar mempercepat proses pengeringan dari rumput laut. Ketel uap yang digunakan adalah ketel uap piapa api, karena tekanan kerja hanya 7 bar (gauge). Ketel uap dirancang untuk menghasilkan uap jenuh sebanyak 500 kg/jam. Ketel berupa alat penukar kalor jenis shell and tube yang dilengkapi dengan cerobong, dengan menggunakan bahan bakar batubara. Dari hasil perancangan didapat kebutuhan bahan bakar sebanyak 82 kg/jam, jumlah pipa sebanyak 268 buah, dengan diameter 52,7 mm, panjang 6 m, dengan susunan pipa berjajar dan jarak antar pipa sebesar 121 mm. sehingga didapat diameter selimut sebesar 2,396m, dengan menggunakan isolasi berbahan rockwool setebal 27 cm.

Kata kunci: Rumput Laut, Ketel Uap, Pipa Api, Pengeringan.

1. Pendahuluan

Indonesia adalah negara kepulauan yang memiliki luas lautan yang lebih besar dari daratan. Berdasarkan fakta yang ada Indonesia merupakan Negara kepulauan terbesar di dunia yang terdiri dari 17.508 yang terbentang dari sabang samapai merauke, dengan garis pantai 81.000 km yang merupakan terbesar kedua setelah Kanada dan luas laut sekitar 5 juta km² (Mondoringin 2005) Dengan luas lautan yang begitu besar, maka potensi pemanfaatan sumber daya kelautan juga sangatlah besar. Sayangnya dengan potensi yang besar tersebut belum di manfaatkan secara optimal oleh masyarakat pesisir. Salah satu usaha yang memiliki potensi besar adalah rumput laut.

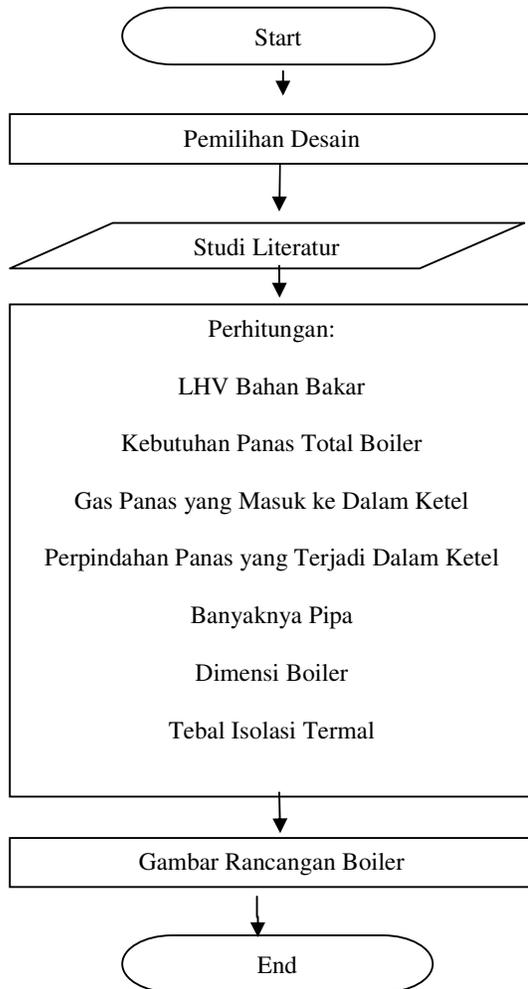
Indonesia merupakan negara terbesar kedua setelah Filipina untuk penghasil rumput laut. Produksi rumput laut di Indonesia terus meningkat dari tahun ke tahun, dimana pada tahun 2008 produksi Indonesia mencapai 2,2 juta ton, dan terakhir tahun 2013 mencapai 7,5 ton. Angka ini masih jauh dari nilai optimal penghasilan rumput laut di Indonesia dimana bisa mencapai 29 ton per tahunnya (KKP 2013).

Kebutuhan dunia akan rumput laut terus mengalami peningkatan sejalan dengan bertambahnya penduduk dunia, sehingga produksi rumput laut diharapkan lebih banyak. Indonesia sebagai negara penghasil rumput laut hanya dapat mensuplai 18 % kebutuhan rumput laut dunia, angka ini jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan Filipina yang dapat mensuplai 62 % dari kebutuhan dunia akan rumput laut (KKP 2013)

Rumput laut merupakan sumber daya hayati yang memiliki nilai ekonomis tinggi dan berpotensi untuk dikembangkan. Rumput laut juga dapat diolah menjadi 500 jenis produk yang komersial, seperti agar-agar, pakan ternak, makanan, obat-obatan kosmetik, sampai minyak pelumas pengeboran.

Sebelum dikirim keluar, rumput laut menjalani beberapa proses, salah satunya dikeringkan. Manfaat dari pengeringan rumput laut sendiri bertujuan agar rumput laut tidak mudah rusak atau busuk pada saat pengiriman karena kandungan airnya masih tinggi, dan mengurangi berat pada saat pengiriman.

Salah satu industri yaitu PT. Hongxing Algae International masih menerapkan cara tradisional untuk proses pengeringan rumput laut yaitu dengan cara penjemuran di bawah sinar matahari yang memakan waktu pengeringan sangat lama. Oleh karena semakin tingginya permintaan pasar maka kuantitas produksi pun harus ditingkatkan. Untuk mewujudkan hal tersebut dibutuhkan sebuah system pengeringan, PT. Hongxing Algae International sudah memiliki chamber dan blower, sedangkan boiler yang dibutuhkan sebagai sumber panasnya belum ada. Untuk memenuhi permintaan konsumen dari PT. Hongxing Algae International maka dibutuhkan boiler yang dapat menghasilkan uap jenuh sebanyak 500 kilogram setiap jamnya dengan tekan uap sebesar 7 bar (gauge). Untuk sumber energinya digunakan batu bara.



2. Metodologi

Gambar 1. Flowchart Perancangan Ketel

- **Studi Literatur**

Studi literature dapat dilakukan dengan mengumpulkan segala data yang berhubungan dengan perncanaan mesin ini. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan infirmasi yang berguna untuk penunjang perencanaan mesin ini. Informasi dapat ditemukan melalui jurnal penelitian, buku-buku, maupun melalui internet.

- **Pemilihan Desain**

Dari tahap studi literature didapat data-data yang kemudian dapat diolah untuk menentukan desain yang tepat dalam proses pengeringan ini.

- **Perhitungan**

Pada tahap ini dilakukan perhitungan dari desain yang telah ditentukan. Tujuan perhitungan yaitu mendapatkan data desain yang lebih detail, yang selanjutnya akan digunakan dalam perencanaan.

- **Gambar Rancangan Boiler**

Setelah didapat hasil data yang parsti dari hasil perhitungan dilakukan perancangan mesin dengan menggambar sketsa mesin.

3. Hasil Perhitungan dan Pembahasan Bahan Bakar

Bahan bakar menggunakan batu bara yang diketahui analisa proksimatnya, menguunakan *software* EPRI (*Electric Power Research Institute*) sehingga didapat analisa *ulatimte* sebagai berikut (dalam persentase massa)

C	= 67,49%
H2	= 4,98%
N2	= 1,23%
S	= 3,25%
O2	= 4,85%
TM	= 14,71%
A	= 3,48%

Nilai Kalor Bawah

Dari data batu bara dapat dicari nilai kalor batu bara dengan menggunakan persamaan

$$LHV = 33915.C + 121423 \left[H_2 - \frac{O_2}{8} \right] + 10468.S - 2512 \left[H_2O + 9. \frac{O_2}{8} \right]$$

$$LHV = 33915.0,6749 + 121423 \left[0,0498 - \frac{0,0485}{8} \right] + 10468.0,0325 - 2512 \left[0,1471 + 9. \frac{0,0485}{8} \right]$$

Nilai kalor bawah batu bara= 6738,85 kkal/kgbb

Jumlah Kebutuhan Udara Stoikiometri

Banyaknya kebutuhan udara bila dihitung secara stoikiometri U_{og} (berat) U_{ov} (volume) adalah

$$U_{og} = 11,53C + 34,56 (H-O/8) + 4,32S$$

$$= 11,53.0,6749 + 34,56 (0,0498 - (0,0485/8)) + 4,32.0,0325$$

$$U_{ov} = U_{og} / \rho_{udara}$$

$$= 9,43/1,293$$

Dimana:

U_{og} = kebutuhan udara stoikiometr(kg_{udara}/ kg_{bb})

U_{ov} = kebutuhan udarastoikiometri(m³/kg_{bb})

U_g = kebutuhan udara (kg_{udara}/ kg_{bb})

U_v = kebutuhan udara (m³/kg_{bb})

$$U^{og} = 9,43 \text{ kg udara/kgbb}$$

$$U_{ov} = 7,3 \text{ m}^3/\text{kgbb}$$

Jumlah Kebutuhan Udara

Kebutuhan udara dengan diberi *excess air* 15%

U_g (berat) dan U_v (volume) adalah:
 $m = 1 + e = 1 + 0,15 = 1,15$
 $U_g = m \cdot U_{og} = 1,15 \cdot (9,43)$
 $U_v = m \cdot U_{ov} = 1,15 \cdot (7,3)$

Dimana:

U_g = kebutuhan udara (kg_{udara}/kg_{bb})
 U_v = kebutuhan udara (m³/kg_{bb})
 $U_g = 10,84$ kg/kg_{bb}
 $U_v = 8,395$ m³/kg_{bb}

Jumlah Gas Asap yang Dihasilkan

Banyaknya gas asap yang dihasilkan dengan *excess air* 15 % G_g (berat), G_{ov} (volum stoikiometri), dan G_v (volum) adalah:

$G_g = (m \cdot U_{og} + (1 - ash))$
 $= (1,15 \cdot 9,43 + (1 - 0,0348))$
 $G_{ov} = U_{ov} + 5,6(H_2 + O_2/8) + 1,24 \cdot H_2O + 0,8 \cdot N_2$
 $= 7,3 + 5,6(0,0498 + 0,0485/8) + 1,24 \cdot 0,1471 + 0,8 \cdot 0,0123$
 $G_v = m \cdot U_{ov} + G_{ov}$
 $= 1,15 \cdot 7,3 + 7,81$

Dimana:

G_{og} = banyak gas asapstoikiometri (kg/kg_{bb})
 G_g = banyak gas asap (kg/kg_{bb})
 G_{ov} = banyak gas asap stoikiometri (m³/kg_{bb})
 $G_g = 12,78$ kg/kg_{bb}
 $G_{ov} = 7,81$ m³/kg_{bb}
 $G_v = 16,2$ m³/kg_{bb}

Kebutuhan Panas Total Ketel

Air masuk kedalam ketel dalam kondisi suhu lingkungan yaitu $T = 30^\circ C$, $P = 8$ bar (absolut), sehingga entalpi $h_{30^\circ C, 8bar}$ dapat menggunakan persamaan berikut dengan menggunakan dengan menggunakan properti yang terdapat pada lampiran (1)

$h_{30^\circ C, 8bar} = h_f + v_f \cdot (P - P_{sat})$
 $= 125,79$ +
 $1,0043 \cdot 10^{-3} \cdot (8 - 0,04246) \cdot 100$
 $= 126,6$ kJ/kg = 30,3 kkal/kg

Uap jenuh yang keluar dari ketel pada tekanan $P = 8$ bar(absolut), $T_{sat} = 170,41^\circ C$. Mempunyai entalpi $h_g = 662,37$ kkal/kg. Jadi panas total yang diperlukan untuk merubah air yang masuk menjadi uap jenuh adalah

$Q_{total} = Q_{ketel}$
 $= m_u (h_{170,41^\circ C, 8bar} - h_{30^\circ C, 8bar})$
 $= 500 \cdot (662,37 - 30,3)$

Dimana:

Q = panas yang di butuhkan (kJ/jam)
 m = laju alir uap (kg/jam)
 Δh = perbedaan entalpi liquid dan vapor(kJ/kg)
 P = tekanan kerja ketel (bar)
 P_{sat} = tekanan saturasi suhu air masuk (bar)
 h_f = entalpi pada suhu air masuk (kJ/kg)
 v_f = volume spesifik suhu air masuk (m³/kg)
 Kebutuhan panas total ketel = 316025 kkal/jam

Kebutuhan Bahan Bakar

Untuk menghasilkan uap sebanyak 500 kg/jam diperlukan batu bara sebanyak B. Asumsi efisiensi ketel sebesar 70%.

$B = \frac{Q}{\eta_{ketel} \cdot LHV}$
 $B = \frac{316025}{0,7 \cdot 5515}$

Dimana:

B = Banyak bahan bakar (kg/jam)
 η_{ketel} = efisiensi ketel (%)
 Kebutuhan bahan bakar = 82 kg_{bb}/jam

Perpindahan Panas Total

Pipa api yang dipakai berukuran 2" (0,0527m) schedule 40 untuk mempermudah perawatan (seperti ketel komersil) dengan panjang 6 meter dimana memiliki diameter dalam 52,7 mm, diameter luar 60,5 mm dan tebal 3,9 mm dan konduktivitas $k_p = 39,12$ W/mK.



Gambar 2. Aliran Gas Dalam Pipa Api

Asumsi properti gas asap = properti udara

$T_m = (800 + 200)/2 = 500^\circ C = 773K$
 $P_r = 0,69822$
 $v = 71,9 \cdot 10^{-6}$ m/det
 $k = 53,55 \cdot 10^{-3}$

Kecepatan gas asap mengalir dalam pipa adalah:
 $V = \frac{G_g \cdot B}{A \cdot \eta}$
 $V = \frac{0,25 \cdot 3,14 \cdot 0,0527^2 \cdot \pi}{609309,54 \cdot \frac{m}{jam} \cdot \frac{169,25}{n} \cdot m/s}$

$V = \frac{609309,54 \cdot \frac{m}{jam} \cdot \frac{169,25}{n} \cdot m/s}{n}$

Bilangan *Reynolds* aliran tersebut adalah:

$Re = \frac{V \cdot d_i}{\mu}$
 $Re = \frac{169,25 \cdot 0,0527}{71,9 \cdot 10^{-6} \cdot n}$
 $= 124053,89/n$

Dimana:

ρ = massa jenis fluida (kg/m³)
 V = kecepatan fluida (m/det)
 d_i = diameter dalam saluran (m)
 μ = viskositas absolut (Ndet/m²)

Dalam perhitungan ini aliran dalam pipa diharapkan berupa aliran laminar, dengan kondisi heat flux yang konstan sehingga bilangan $Nu = 4,36$.

Koefisien konveksi gas asap yang mengalir dalam pipa adalah:

$$h_i = Nu \cdot \frac{k}{d_i}$$

$$h_i = 4,36 \cdot \frac{53,55 \cdot 10^{-3}}{0,0527}$$

$$= 4,43 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Dimana:

- Nu = Nusselt number
 k = konduktivitas termal pipa (W/m²⁰K)
 d_i = diameter dalam (m)

Air mengalami proses pendidihan. Beda T, ΔT_e = T_s-T_{sat} = 773K-443,41K= 329,59K. Karena ΔT_e = 329,59, maka proses pendidihan termasuk *film pool boiling*. Untuk perhitungan h_{konv} dalam air yang mengalami *film pool boiling* konstanta C menggunakan 0,62 karena pipa. Panjang pipa yang digunakan yaitu 6 meter.

Koefisien konveksi proses pendidihan adalah:

$$h_{konv} = C \cdot \left[\frac{g \cdot k_v^3 \cdot \rho_v (\rho_l - \rho_v) \cdot (h_{fg} + 0,8 \cdot C_{pv} (T_s - T_{sat}))}{\mu_v \cdot d_o \cdot (T_s - T_{sat})} \right]^{0,25}$$

$$= 0,62 \cdot \left[\frac{9,8 \cdot (32,17 \cdot 10^{-2})^3 \cdot 4,16(896,86 - 4,16) \cdot (2047,5 \cdot 10^3 + 0,8 \cdot 2,4941 \cdot 10^3 (773 - 443,41))}{14,6 \cdot 10^{-6} \cdot 0,0605 \cdot (773 - 443,41)} \right]^{0,25}$$

$$= 0,62 \cdot \left[\frac{3277670974}{2,91 \cdot 10^{-7}} \right]^{0,25}$$

$$= 1135,82 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Dimana:

- h = koefisien konveksi (W/m²K)
 k_v = konduktivitas termal (W/mK)
 d_o = diameter (m)
 C = konstanta
 0,62 silinder
 0,66 bola
 g = percepatan gravitasi (m/s²)
 ρ_l = massa jenis saturated liquid (kg/m³)
 ρ_v = massa jenis saturated vapor (kg/m³)
 T_s = temperatur permukaan (K)
 T_{sat} = temperature saturasi (K)
 h_{fg} = kalor laten (J/kg)
 c_{pv} = specific heat (J/kgK)
 μ_v = viskositas uap (Ndet/m²)

Koefisien radiasi dari permukaan pipa api dengan suhu T_s ke air pada suhu T_s adalah:

$$h_{rad} = \frac{\epsilon \cdot \sigma \cdot (T_s^3 + T_{sat}^3)}{T_s - T_{sat}}$$

$$h_{rad} = \frac{0,21 \cdot 67 \cdot 10^{-8} \cdot (773^3 + 443,41^3)}{773 - 443,41}$$

$$= 135,92 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Dimana:

- ε = emisivitas benda
 σ = konstanta Boltzmann

Koefisien Konveksi total adalah:

$$h_o = h_{konv} + 0,75 \cdot h_{rad}$$

$$= 1135,82 + 0,75 \cdot 135,92$$

$$= 1237,76 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Koefisien perpindahan panas total dalam ketel adalah:

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{r_i}{k} \ln \left(\frac{r_o}{r_i} \right) + \left(\frac{r_i}{r_o} \right) \frac{1}{h_o}}$$

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{4,43} + \frac{0,02635}{39,12} \ln \left(\frac{0,03025}{0,02635} \right) + \left(\frac{0,02635}{0,03025} \right) \frac{1}{1237,76}}$$

$$= 4,34 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Beda temperature LMTD dalam ketel adalah:

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{h,i} - T_{c,o}) - (T_{h,o} - T_{c,i})}{\ln \left(\frac{T_{h,i} - T_{c,o}}{T_{h,o} - T_{c,i}} \right)}$$

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(800 - 174,41) - (200 - 30)}{\ln \left(\frac{800 - 174,41}{200 - 30} \right)}$$

$$= 349,67^\circ\text{C}$$

Besar perpindahan kalor dalam ketel adalah:

$$Q = U_i \cdot A_i \cdot \Delta T_{LMTD}$$

$$= 4,34 \times 2 \cdot \pi \cdot 0,02635 \cdot 6 \times 349,67$$

$$= 1506,74 = 1,50674 \text{ kJ/det} = 0,328 \text{ kkal/det}$$

Dimana:

- U_i = koef perpindahan kalor (W/m²K)
 h_i = koef konveksi dalam pipa (W/m²K)
 r_i = jari-jari dalam pipa (m)
 r_o = jari-jari luar pipa (m)
 k = koef konduksi pipa (W/mK)
 h_o = koef konveksi luar pipa (W/m²K)
 T_{h,i} = temperature gas masuk (K)
 T_{h,o} = temperature gas keluar (K)
 T_{c,i} = temperature fluida masuk (K)
 T_{c,o} = temperature fluida keluar (K)

Jumlah Pipa

Jumlah pipa yang dibutuhkan dicari dari:

$$Q_{ketel} = n \times Q_{1\text{pipa}}$$

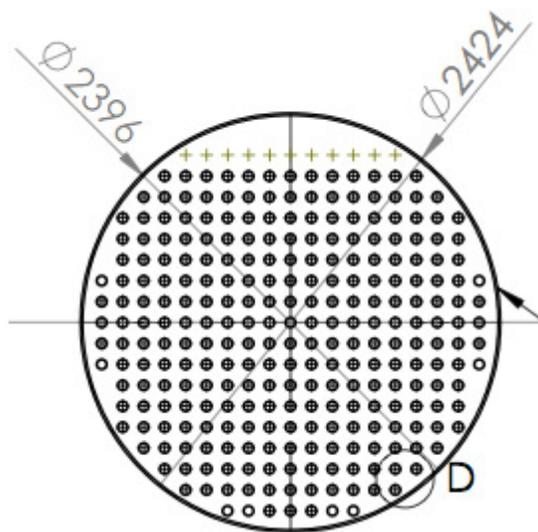
$$87,78 = n \times 0,328$$

$$n \approx 268 \text{ pipa}$$

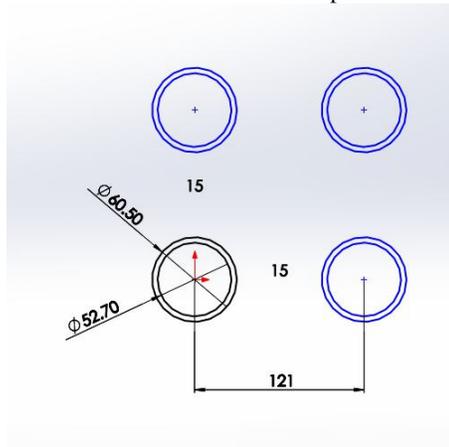
Pada perhitungan di atas, digunakan asumsi aliran laminar, maka bilangan Reynolds perlu diperiksa kembali

Re = 124053,89/268= 462,89 ≤ 2300 sehingga penggunaan aliran laminar bisa diterima.

Posisi pipa diatur aligned (berjajar) dengan jarak horizontal dan jarak vertical adalah 2 d.



Gambar 3. Susunan Pipa



Gambar 4. Ukuran Pipa

Perencanaan Tebal Dinding Ketel

Pada perencanaan dalam ketel, direncanakan diameter dalam ketel adalah 2,18 m. bahan yang digunakan yaitu baja carbon AISI 1010 dengan $S_{yp} = 31.03 \cdot 10^7 \text{ Pa}$, dan menggunakan factor keamanan sebesar 1,5. Diameter dari selimut didapat dari hasil gambar dengan jumlah pipa dari hasil perhitungan dengan susunan berjajar.

Kemungkinan Ketel Terbelah

Tebal selimut ketel agar tidak terbelah adalah:

$$r \geq \frac{d_i \cdot P}{2 \cdot \sigma_t \cdot \left(\frac{1 + d}{L}\right)}$$

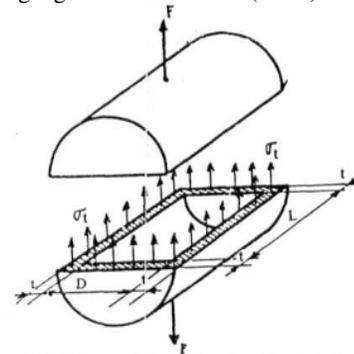
$$r \geq \frac{2,396 \cdot 8 \cdot 10^5}{2 \cdot \frac{(0,58) \cdot 31,03 \cdot 10^7}{1,5} \cdot \left(\frac{1 + 2,396}{6}\right)}$$

$$t_b \geq 0,014 \text{ m}$$

Dimana:

- L = panjang ketel (m)
- d_i = diameter dalam ketel (m)

σ_t = tegangan tarik (N/m²)



Gambar 5. Penampang Ketel Terbelah

Kemungkinan Putus

Tebal selimut ketel agar tidak putus adalah:

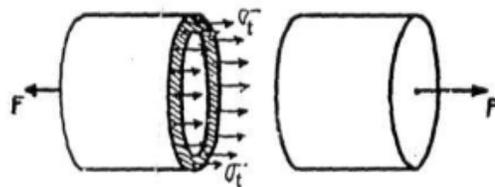
$$r \geq \frac{d_i \cdot P}{4 \sigma}$$

$$r \geq \frac{2,396 \cdot 8 \cdot 10^5}{4 \cdot \frac{0,58 \cdot 31,03 \cdot 10^7}{1,5}}$$

$$t_b \geq 4 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Dimana:

- A = Luas penampang (m)
- F = gaya yang terjadi (N)
- d_i = diameter dalam (m)
- P = tekanan kerja ketel (N)
- σ = gaya tarik yang diijinkan (N/m²)



Gambar 6. Penampang Ketel Putus

Untuk memenuhi keduanya makadigunakan plat dengan tebal 14 mm untuk dinding ketel.

Perhitungan Tebal Isolasi Termal Kritis

Untuk mencari tebal isolasi kritis maka diperlukan property pada udara sekitar guna mencari koefisien konveksi h_o . untuk suhu dinding diasumsikan sama dengan suhu saturasi $T_s = 443,41 \text{ K}$, sedang suhu udara luar $T_\infty = 303 \text{ K}$.

$$T_m = (443,41 - 303) / 2 = 310,5 \text{ K}$$

$$v = 23,47 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{det}$$

$$\alpha = 33,8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{det}$$

$$k = 31,8 \cdot 10^{-3} \text{ W/mK}$$

$$Pr = 0,695$$

Bilangan Rayleigh untuk konveksi bebas udara di luar ketel adalah:

$$Ra_D = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_\infty) \cdot d_o^3}{\alpha \cdot \nu}$$

$$Ra_D = \frac{9,8 \cdot \frac{1}{443,41} \cdot (443,41 - 303) \cdot 2.208^3}{33,8 \cdot 10^{-6} \cdot 23,47 \cdot 10^{-8}}$$

$$Ra_D = 4,21 \cdot 10^{10}$$

$$Nu_{d_o} = 0,6 \left[1 + \frac{0,387 \cdot Ra_D^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{Pr} \right)^{1/4} \right]^{4/3}} \right]^{1/4}$$

$$Nu_{d_o} = 0,6 \left[1 + \frac{0,387 \cdot (4,21 \cdot 10^{10})^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{0,695} \right)^{1/4} \right]^{4/3}} \right]^{1/4}$$

$$Nu = 364$$

- Dimana:
- g = percepatan gravitasi (m/det²)
 - $\beta = 1/T_s$
 - T_s = temperature permukaan (K)
 - T_∞ = temperature saturasi (K)
 - d_o = diameter luar (m)
 - α = difisivitas termal (m²/det)
 - ν = viskositas kinematik (m²/det)

Koefisien konveksi bebas diluar ketel adalah:

$$h_o = \frac{Nu \cdot k}{d}$$

$$h_o = \frac{364 \cdot 31,8 \cdot 10^{-3}}{2,208}$$

$$h_o = 5,24 \text{ W/m}^2\text{K}$$

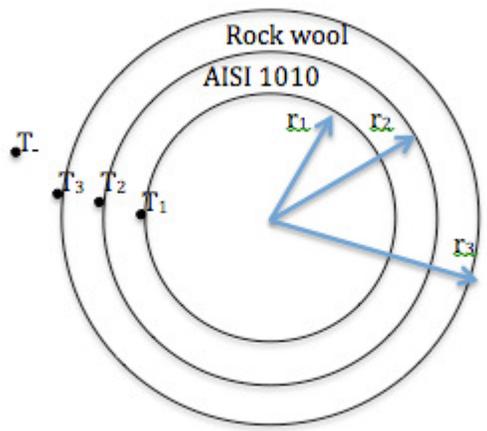
- Dimana:
- h_o = koef konveksi luar (W/m²K)
 - d_o = diameter luar (m)
 - k = kond. bahan (W/mK)
 - Pr = bilangan Prandtl

koefisien konduksi dari *rock wool* adalah 0,045 W/mK

$$r_c = k_i/h_o = 0,045/5,24 = 8,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Dimana:

- k_i = konduktivitas insulator (W/mK)
 - h_o = koefisien konveksi udara luar (W/m²K)
- Karena jari-jari luar ketel $r_o = 1,212 \text{ m}$ sedangkan jari-jari kritis yang didapat adalah $8,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}$. Maka penggunaan isolator tidak diwajibkan, isolator bisa digunakan ataupun tidak. Untuk keamanan pengguna diharapkan temperature dinding terluar 40°C maka tebal isolasi dicari dengan



Gambar 7. Penampang Isolasi

$$\frac{T_1 - T_\infty}{\frac{\ln(r_2/r_1)}{k_{ulac}} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{k_{iso}} + \frac{1}{k_o \cdot r_3}} = \frac{T_2 - T_\infty}{\frac{1}{h_{o,r_2}}}$$

$$\frac{\ln(1,212/1,198)}{39,12} + \frac{\ln(r_3/1,212)}{0,045} + \frac{1}{5,45 \cdot r_3} = \frac{1}{5,45 \cdot r_3}$$

$$\frac{14,041}{5,45 \cdot r_3} + 2,97 \cdot 10^{-4} + \frac{\ln(r_3/1,212)}{0,045} = \frac{1}{5,45 \cdot r_3}$$

$$r_3 = 1,489 \text{ m}$$

maka tebal dinding terluar mempunyai jari-jari sebesar 1,489 m, sehingga tebal isolasi yang dibutuhkan sebesar 27,7 cm.

Perencanaan Cerobong Asap

Pada perencanaan ketel uap kali ini, tinggi cerobong asap yang direncanakan yaitu 6 meter.

- $H = 6 \text{ m} = 19,69 \text{ ft}$
- $P_{ATM} = 1 \text{ atm} = 29,92 \text{ inHg}$
- $\rho_{udara, 30^\circ\text{C}} = 1,16 \text{ kg/m}^3 = 0,0724 \text{ lb/ft}^3$
- $\rho_{asap(udara 200^\circ\text{C})} = 0,78 \text{ kg/m}^3 = 0,046 \text{ lb/ft}^3$
- $T_a = 30^\circ\text{C} = 546^\circ\text{R}$
- $T_g = 200^\circ\text{C} = 852^\circ\text{R}$

Kecepatan gas buang pada cerobong adalah:

$$V = 1800 \left(H_{ce} \cdot P_{atm} \left(\frac{1}{T_a} - \frac{\rho_{gas}}{\rho_{udara} \cdot T_g} \right) \right)^{0,5}$$

$$V = 1800 \left(19,69 \cdot (29,92) \left(\frac{1}{546} - \frac{0,046}{0,0724 \cdot 852} \right) \right)^{0,5}$$

$$V = 1208 \text{ ft/min} = 6,14 \text{ m/s}$$

Luas penampang cerbong adalah:

$$A = \frac{G_p \cdot B}{V}$$

$$0,25 \cdot \pi \cdot d_{ce}^2 \cdot 6,14 = 16,2 \cdot \frac{82}{3530}$$

$$d_{ce} = 0,28 \text{ m}$$

Dimana:

- H_{ce} = tinggi cerobong asap (ft)
- P_{atm} = tekanan ATM (inHg)
- T_a = suhu atmosfer ($^\circ\text{R}$)

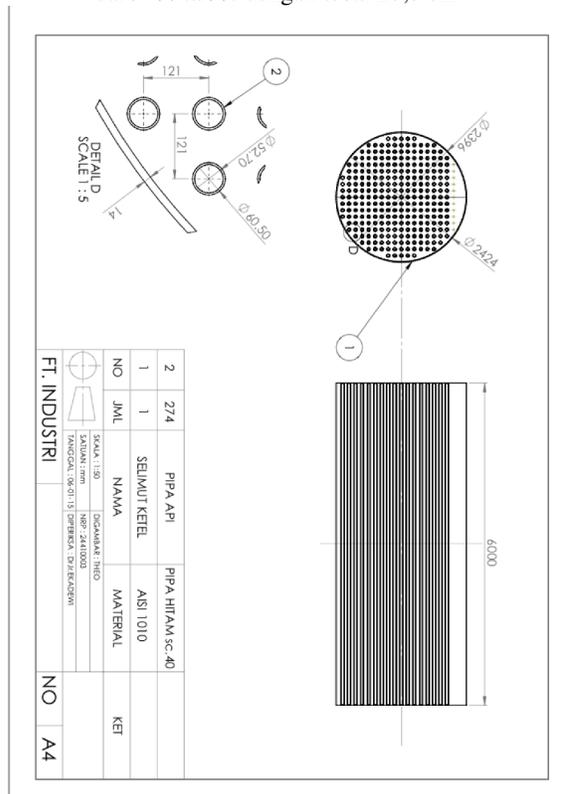
- T_g = suhu asap ($^{\circ}R$)
 ρ_{udara} = berat jenis udara (lbm/ft^3)
 ρ_{gas} = berat jenis asap (lbm/ft^3)
 G_v = jumlah gas asap yang dihasilkan ($m^3/kgbb$)
 B = banyak bahan bakar (kg/jam)
 V = kecepatan gas di cerobong (m/det)
 d_{ce} = diameter cerobong (m)

Cerobong asap yang digunakan setinggi 6 meter dengan diameter 28cm.

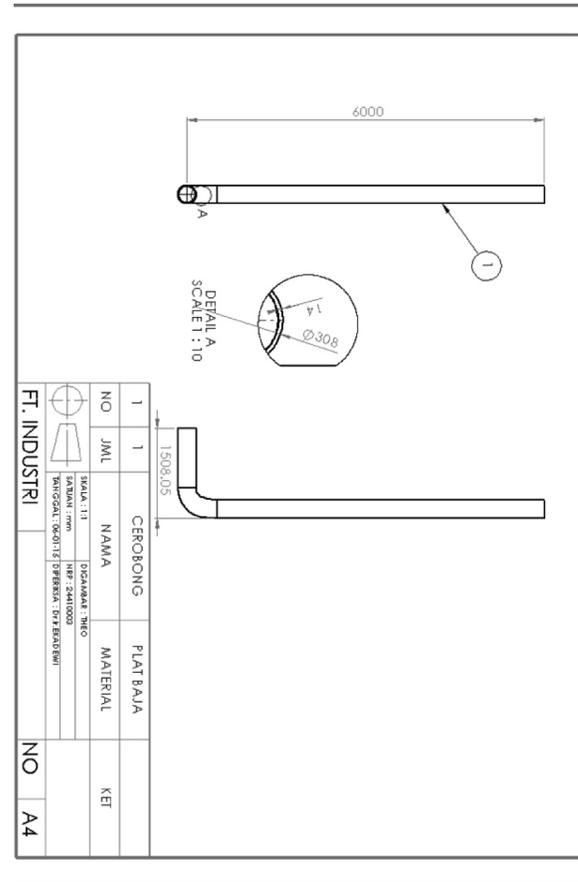
4. Kesimpulan

Dari perhitungan yang telah dilakukan untuk perencanaan ketel uap pipa api untuk PT. Hongxing Algae maka didapat beberapa kesimpulan, antara lain:

- Untuk menghasilkan uap sebanyak 500 kg per jam dengan tekanan 8 bar absolut maka dibutuhkan batu bara sebanyak 82 kg per jam.
- Diameter pipa api yang digunakan dalam perencanaan ini yaitu pipa api berbahan karbon hitam schedule 40 dengan ukuran 2 inch dengan panjang 6 meter dan sebanyak 268 buah dengan susunan berjajar, dengan jarak antar pipa 121 mm
- Selimut terbuat dari plat AISI 1010 dengan tebal 14mm dan diameter dalam selimut sebesar 2,396 m.
- Pada luar selimut ketel, diberi isolasi termal dari *rockwool* dengan tebal 27,7 cm



Gambar 8. Ukuran Ketel Uap



Gambar 9. Dimensi Cerobong

5. Daftar Pustaka

1. Bergman, Theodore L and Incopera. (2000). *Fundamentals of heat and mass transfer*; John Wiley and Sons.
2. Cengel, Yunus A. (2002). *Heat Transfer*. USA: McGraw-Hill.
3. Djokosetyardjo, M.J. (1993). *Ketel Uap*, Jakarta: P.T. Pradnya Paramita
4. Oliver, K.G. (1987). *Industrial Boiler Management*. New York.
5. Sato, G. Takeshi. (1994). *Menggambar Mesin Menurut Standart ISO*, Jakarta: P.T. Pradnya Paramita.
6. Kementria Kelautan dan Perikanan. (2013). www.kkp.go.id.
7. Tirtoatmojo, R. (1995). *Teknik Pembakaran dan Bahan Bakar*. Surabaya: Universitas Petra