

MODIFIKASI WATER TUBE BOILER UNTUK MENGURANGI DEPOSIT PADA PIPA SUPERHEATER

Bryant Evan¹⁾, Ekadewi Anggraini Handoyo²⁾

Program Studi Teknik Mesin Universitas Kristen Petra (10 pt)^{1,2)}

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

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

E-mail : m24412001@john.petra.ac.id¹⁾, ekadewi@peter.petra.ac.id²⁾

ABSTRAK

Pipa superheater merupakan sebuah bagian dari boiler yang berfungsi sebagai tempat pemanasan lanjut dari saturated steam menjadi superheated steam. Boiler yang diproduksi PT Mitra Adyaniaga ini memiliki permasalahan yaitu di dalam pipa superheaternya terdapat deposit sehingga pipa mengalami kebuntuan dan retak akibat overheating. Penelitian ini bertujuan untuk menemukan penyebab terbentuknya deposit di dalam pipa superheater dan memodifikasi steam drum sesuai hasil analisa. Dari studi literatur yang dilakukan, diketahui bahwa terbentuknya deposit ini disebabkan karena air ikut terbawa bersama uap menuju pipa superheater. Fenomena ini disebut carryover. Carryover disebabkan oleh 3 hal yaitu kondisi kimiawi air, desain internal drum, dan pengoperasian boiler. Desain internal steam drum PT Mitra Adyaniaga terdapat beberapa kekurangan sehingga dilakukan beberapa modifikasi, antara lain dengan memberikan baffle separator mulai dari main bank tubes baris ke-2, memilih demister dengan tipe HE-3M, mengganti diameter lubang pipa feed water menjadi 2 cm, , mengganti pitch lubang pipa feed water menjadi 300 mm, dan mengubah arah lubang pipa feed water sebesar 30° terhadap garis horisontal.

Kata kunci: Boiler, superheater, carryover, separator, deposit.

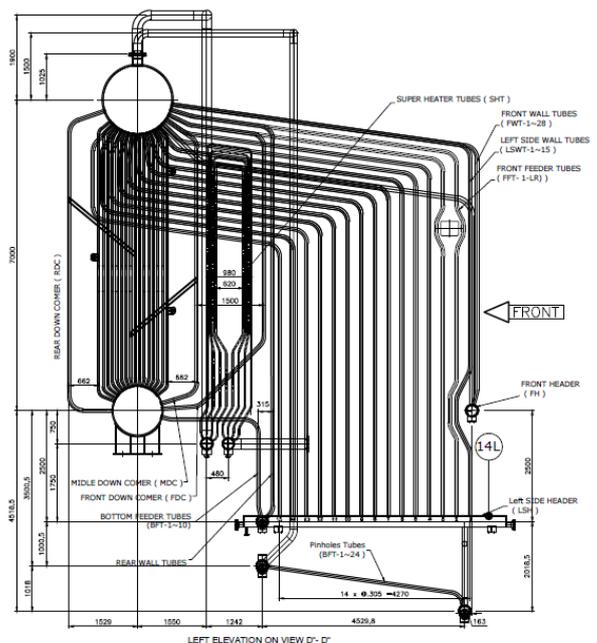
1. Pendahuluan

Pipa superheater merupakan sebuah bagian dari boiler yang berfungsi sebagai tempat pemanasan lanjut dari saturated steam menjadi superheated steam (Permana & Witantyo, 2014). Pembentukan deposit pada pipa superheater ini akan menghambat laju perpindahan panas sehingga pipa akan mengalami kerusakan karena overheating dan mengurangi efisiensi turbin. Setiap kontaminan padat, cair, atau gas yang meninggalkan drum boiler bersama dengan uap disebut carryover. Secara umum carryover disebabkan oleh dua faktor yaitu mekanis dan kimiawi. Faktor mekanis meliputi desain dan pengoperasian boiler, sedangkan faktor kimiawi meliputi kualitas air yang digunakan (Chem-Aqua, 2011).

Carryover memberi berbagai dampak yang buruk antara lain kerusakan pada pipa superheater karena temperatur logamnya melebihi batas maksimal dan terdapat korosi akibat pembentukan deposit, kerusakan pada sudu turbin karena erosi, dan mengurangi efisiensi boiler (Parkinson, 2014).

PT Mitra Adyaniaga adalah perusahaan yang bergerak dalam bidang manufaktur boiler. Pada saat ini terdapat keluhan dari salah satu pelanggannya yaitu PT GPH. Keluhannya yaitu watertube boiler tipe-D dengan kapasitas 25 ton/jam, desain tekanan 24 kgf/cm² (2,35 MPa) (gauge), dan temperatur superheater 260°C yang diproduksi oleh PT Mitra Adyaniaga ini terdapat deposit pada pipa superheaternya. Gambar diagram boiler dan letak pipa superheater dapat dilihat pada Gambar 1. Hal tersebut mengakibatkan pipa superheater mengalami penyempitan hingga kebuntuan. Selain itu pipa superheater juga retak akibat overheating (Gambar 1.2).

Deposit ini kemungkinan diakibatkan oleh carryover. Untuk memberikan hasil produk dan layanan yang terbaik untuk menjaga kepuasan pelanggan, perusahaan ini ingin menemukan penyebab terjadinya deposit di dalam pipa superheater tersebut.



Gambar 1. Diagram boiler tipe-D
Sumber : PT Mitra Adyaniaga (2013)

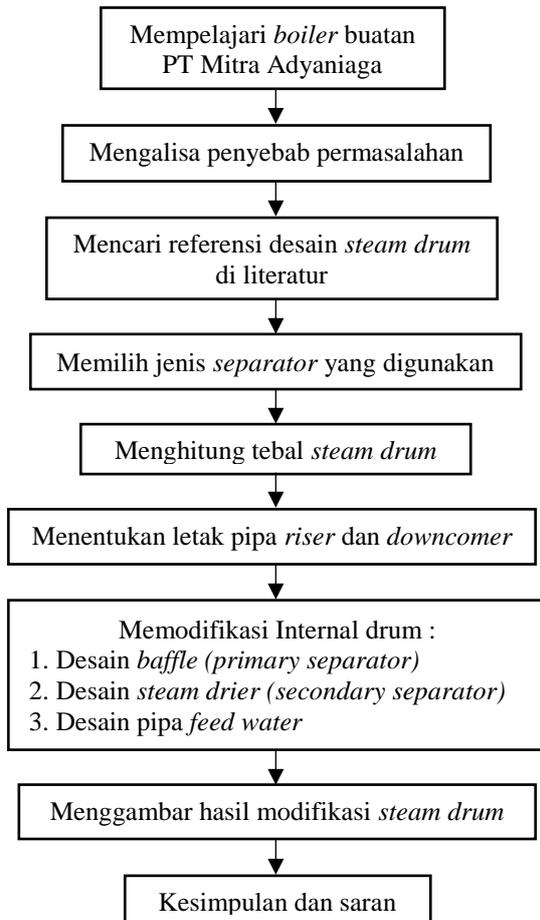


Gambar 1. Kerusakan pipa *superheater* akibat *overheating*

Sumber : PT Mitra Adyaniaga (2015)

Tujuan penelitian ini yaitu untuk menemukan penyebab utama pembentukan deposit pada bagian dalam pipa *superheater* dan juga menganalisa *steam drum* dan memodifikasi sesuai hasil analisa, meliputi: desain *baffle*, *steam drier*, dan pipa *feed water*. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi perusahaan sebagai referensi dalam mendesain *steam drum* dan memberi informasi mengenai penyebab pembentukan deposit di dalam pipa *superheater*.

2. Metodologi Penelitian



Gambar 3. Diagram alir metodologi penelitian

3. Pembahasan

3.1. Boiler PT Mitra Adyaniaga

Boiler buatan PT Mitra Adyaniaga yang mengalami masalah yaitu *watertube boiler* tipe-D dengan spesifikasi sebagai berikut :

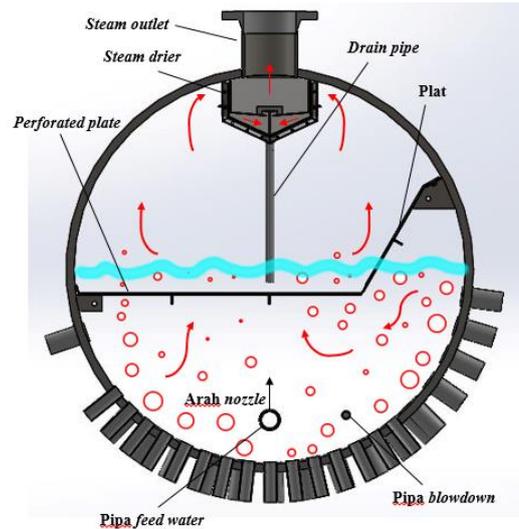
Design pressure = 24 kg/cm² (2,35 MPa)

Temperatur = 225°C

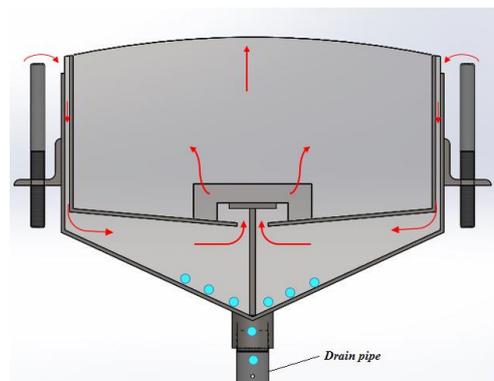
Steam Output = 25 ton/jam

Superheater = ± 260°C

Proses pemisahan air dan uap dalam *steam drum* yaitu, gelembung uap yang dihasilkan dari seluruh pipa akan bergerak ke atas melalui *perforated plate*. *Perforated plate* ini diharapkan dapat menahan fluktuasi air sehingga level air tidak terlalu tinggi. Setelah berhasil keluar dari permukaan air, uap akan bergerak ke atas menuju *steam drier*. Uap akan melewati celah sempit pada *steam drier* kemudian menuju *steam outlet*. Butiran air yang terbentuk akibat pemisahan air dan uap dalam *steam drier* ini akan turun ke bawah melalui *drain pipe* menuju ke air drum. Aliran uap dan air pada *steam drum* dan *steam drier* dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4. Arah aliran uap ditunjukkan oleh tanda panah berwarna merah dan air diberi warna biru.



Gambar 3. Aliran uap dalam *steam drum*



Gambar 4. Aliran uap dan air dalam *steam drier*

3.2. Analisa Penyebab Masalah

Permasalahan yang terjadi pada *boiler* ini sehingga pipa *superheater*-nya mengalami kebuntuan karena

deposit, menandakan adanya air di dalam pipa *superheater*. Peristiwa terbawanya air ke dalam uap ini disebut dengan *carryover*.

Carryover ini disebabkan oleh 2 faktor yaitu faktor mekanis dan faktor kimiawi. Jadi kemungkinan penyebab masalah ini yaitu :

- Kimiawi air

Kondisi kimiawi *feed water* dan air *boiler* yang tidak tepat menyebabkan banyaknya pengotor dalam air, seperti padatan tersuspensi, padatan terlarut, minyak, dan zat-zat organik lainnya. Hal ini membuat fluktuasi air di dalam drum meningkat. Fenomena ini disebut *foaming*. *Foaming* terjadi karena terbentuknya lapisan pengotor pada permukaan air sehingga akan menghambat jalan keluar dari gelembung uap. Ketika uap berhasil keluar dari lapisan ini maka uap akan membawa pengotor bersamanya.

- Desain *steam drum*

Pengaturan dan desain internal drum yang tidak tepat dapat menyebabkan *carryover*. Kekurangan desain internal *steam drum* buatan PT Mitra Adyaniaga yaitu :

- Olakan air yang disebabkan oleh *riser* dan *downcomer* cukup besar sehingga level air cukup tinggi. Olakan air ini dapat dikurangi dengan memberikan *baffle* sehingga gelembung uap yang dihasilkan dapat diarahkan.
- Kecepatan air dari lubang pipa *feed water* > 1,2 m/s sehingga olakan air di dalam drum cukup besar dan *pitch* lubang pada pipa *feed water* tidak sesuai di dasar teori.
- Aliran uap kurang berliku-liku sebelum memasuki drier sehingga separasi air dan uap kurang baik
- Desain *steam drier* kurang efektif dalam memisahkan air dari uap. Celah sempit yang dilalui uap di *steam drier* justru menyebabkan *pressure drop* sehingga uap berkondensasi.

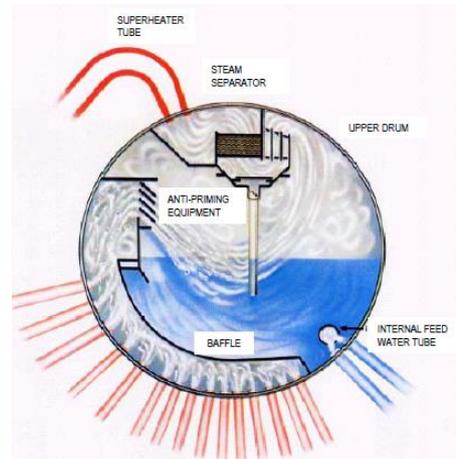
- Pengoperasian *boiler*

Pengoperasian boiler yang tidak tepat juga menyebabkan *carryover*. Hal yang perlu diperhatikan oleh PT GPH saat mengoperasikan boiler yaitu :

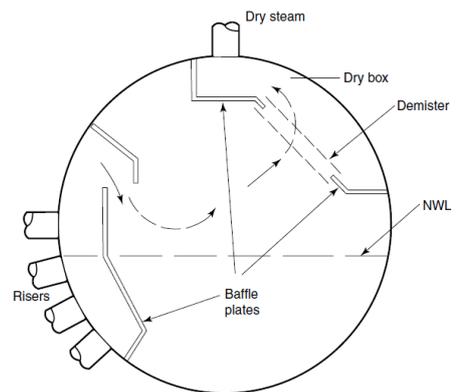
- Tidak mengoperasikan boiler pada tekanan yang jauh lebih rendah dari *design pressure* karena akan menyebabkan peningkatan *specific volume* dari uap sehingga kecepatan uap akan bertambah. Peningkatan kecepatan uap ini akan mengakibatkan butiran air terbawa kembali ke uap.
- Tidak meningkatkan kapasitas boiler secara mendadak karena tekanan dalam drum akan turun sehingga air akan berekspansi. Fenomena ini disebut *priming*. Ketika kapasitas boiler meningkat, gelembung uap yang dihasilkan akan semakin banyak dan menyebabkan gejala air yang tinggi sehingga terjadi *carryover*. Kapasitas boiler hanya boleh ditingkatkan sebesar 10% dari kapasitas yang seharusnya.
- Tidak mengoperasikan boiler pada *high water level* karena jarak antara permukaan air dan *steam drier* kurang memadai sehingga proses pemisahan air kurang baik.

3.3. Desain *Steam Drum* di Literatur

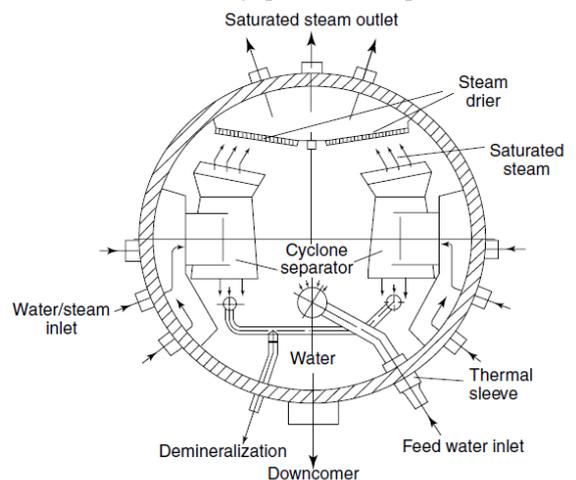
Desain *steam drum* di literatur dapat dilihat pada Gambar 5, 6, dan 7.



Gambar 5. Desain *steam drum* 1.
Sumber : Yoshimine.Co.,Ltd (n.d., p. 5)



Gambar 6. Desain *steam drum* 2
Sumber : Rayaprolu (2009, p. 271)



Gambar 7. Desain *steam drum* 3
Sumber : Rayaprolu (2009, p. 273)

3.4. Pemilihan Jenis Separator

Tabel 1. *Concept Scoring Primary Separator*

Concept Scoring					
Selection Criteria	Baffle Separator (Reference)			Cyclone Separator	
	Weight	Rating	Weighted Score	Rating	Weighted Score
1. Pemisahan uap dari air	30%	3	0,9	5	1,5
2. Instalasi mudah	20%	3	0,6	1	0,2
3. Pressure drop rendah	20%	3	0,6	2	0,4
4. Harga lebih murah	30%	3	0,9	2	0,6
	Total Score	3		2,7	
	Rank	1		2	
	Continue?	Develop		No	

Jadi jenis *primary separator* yang akan digunakan pada *steam drum* adalah *baffle separator*.

Tabel 2. *Concept Scoring Secondary Separator*

Concept Scoring					
Selection Criteria	Demister (Reference)			Chevron	
	Weight	Rating	Weighted Score	Rating	Weighted Score
1. Pemisahan uap dari air	30%	3	0,9	3	0,9
2. Instalasi mudah	20%	3	0,6	2	0,4
3. Pressure drop rendah	20%	3	0,6	5	1
4. Harga lebih murah	30%	3	0,9	2	0,6
	Total Score	3		2,9	
	Rank	1		2	
	Continue?	Develop		No	

Jadi jenis *secondary separator* yang akan digunakan pada *steam drum* adalah *demister*.

3.5. Perhitungan Tebal Steam Drum

Untuk menghitung tebal minimum drum yang dibutuhkan maka digunakan persamaan berikut :

$$t = \frac{PR}{SE - (1-y)P} + C \quad (1)$$

Keterangan :

- t = tebal minimum yang dibutuhkan (m)
- P = tekanan kerja maksimum yang diijinkan (kPa)
- R = Jari-jari dalam silinder (m)
- S = nilai tegangan maksimum yang diijinkan pada temperatur desain logam (lihat ASME BPVC Section II D)
- E = 1.0 for *seamless cylinders without openings spaced to form ligaments*
= the ligament efficiency per PG-52 or PG-53 for *seamless cylinders with ligaments*
= w, the weld joint strength reduction factor per PG-26, for longitudinally welded cylinders without ligaments
- y = koefisien temperature
- C = Corrosion allowance (m)

Data yang diketahui :

Material *steam drum* SA 516 grade 70

$$P = 24 \text{ kg/cm}^2 = 2353,6 \text{ kPa}$$

$$R = \frac{1540 \text{ mm}}{2} = 770 \text{ mm}$$

$$= 0,77 \text{ m}$$

Untuk material SA 516 grade 70 dengan suhu logam tidak melebihi 250°C maka didapatkan :

$$S = 138 \text{ MPa} = 138000 \text{ kPa}$$

Untuk menghitung efisiensi ligamen dapat menggunakan persamaan berikut :

$$E = \frac{p-d}{p} \quad (2)$$

Keterangan :

- E = efisiensi ligamen
- p = longitudinal pitch dari lubang yang berdekatan (m)
- d = diameter lubang (m)

Efisiensi ligamen pada *rear down comer tubes, right side wall tubes, front wall tubes, rear wall tubes, front down comer tubes, middle down comer tubes, dan left side wall tubes* memiliki nilai yang sama karena memiliki pitch dan diameter lubang yang sama. Maka didapatkan efisiensi ligamen yaitu :

$$p = 160 \text{ mm}$$

$$d = 76,1 \text{ mm}$$

$$E = \frac{160 - 76,1}{160}$$

$$= 0,5244$$

Efisiensi ligamen pada *main bank tubes* yaitu :

$$p = 120 \text{ mm}$$

$$d = 50,8 \text{ mm}$$

$$E = \frac{120 - 50,8}{120}$$

$$= 0,5767$$

Dari kedua efisiensi tersebut dipilih efisiensi ligamen yang terendah yaitu 0,5244.

Corrosion allowance dipilih sebesar 2 mm.

Dikarenakan suhu logam di bawah 480°C maka nilai y = 0,4.

Maka tebal minimum drum yang dibutuhkan yaitu :

$$t = \frac{PR}{SE - (1-y)P} + C$$

$$= \frac{2353,6 \cdot 0,77}{138000 \cdot 0,5244 - (1-0,4)2353,6} + 0,002$$

$$= \frac{1812,272}{72367,2 - 1412,16} + 0,002$$

$$= 0,02754 \text{ m} = 27,54 \text{ mm}$$

Jadi tebal minimum *steam drum* yang dibutuhkan yaitu 27,54 mm. Tebal *steam drum* yang digunakan oleh boiler PT Mitra Adayaniaga ini yaitu 31,75 mm sehingga sudah tergolong aman.

3.6. Penentuan Letak Pipa Riser dan Downcomer

Pipa *riser* dan pipa *downcomer* akan dipisahkan menggunakan *baffle* sehingga perlu diketahui pipa yang mana yang berperan sebagai *riser* dan pipa mana yang berperan sebagai pipa *downcomer*. Untuk menentukannya Tabel 3 digunakan sebagai pedoman.

Tabel 3. Rasio Luas Aliran antara Pipa Downcomer dan Riser

TABLE 6-7. Flow area ratio between downcomer and riser tubes.				
Drum pressure (MPa)	4-6	10-12	14-16	17-19
Area ratio Coal firing	0.2-0.3	0.35-0.45	0.5-0.6	0.6-0.7
Downcomer Oil firing		0.3-0.4	0.4-0.5	0.5-0.6
Riser				

Sumber : Basu, Kefa, Jestin (2000, p. 146)

Untuk mendapatkan luas aliran pipa maka

digunakan persamaan berikut :

$$flow\ area = N \cdot \pi \cdot d \cdot L \quad (3)$$

Keterangan :

N = jumlah pipa

L = panjang pipa (m)

d = diameter dalam pipa (m)

$$\begin{aligned} flow\ area\ RDC &= N \cdot \pi \cdot d \cdot L \\ &= 26 \cdot 3,14 \cdot 0,0691 \cdot 8,3 \\ &= 46,823\ m^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} flow\ area\ MBT &= N \cdot \pi \cdot d \cdot L \\ &= 496 \cdot 3,14 \cdot 0,0444 \cdot 6 \\ &= 414,902\ m^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} flow\ area\ MDC &= N \cdot \pi \cdot d \cdot L \\ &= 24 \cdot 3,14 \cdot 0,0691 \cdot 7,35 \\ &= 38,274\ m^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} flow\ area\ FDC &= N \cdot \pi \cdot d \cdot L \\ &= 24 \cdot 3,14 \cdot 0,0691 \cdot 9,571 \\ &= 49,842\ m^2 \end{aligned}$$

Luas total aliran pipa yaitu riser dan downcomer yaitu :

$$\begin{aligned} Total\ flow\ area &= \sum flow\ area(RDC, MBT, \\ &\quad MDC, FDC) \\ &= 46,823 + 414,902 + 38,274 + 49,842 \\ &= 549,841\ m^2 \end{aligned}$$

Boiler yang diproduksi PT Mitra Adyaniaga ini memiliki tekanan 24 kg/cm² (2,3536 MPa). Tekanan terendah dari Tabel 2.7 adalah 4 MPa sehingga perlu dilakukan ekstrapolasi untuk mendapatkan rasio luas aliran antara downcomer dan riser. Dari Tabel 3 maka dilakukan ekstrapolasi sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{x-x_1}{x_2-x_1} &= \frac{y-y_1}{y_2-y_1} \\ \frac{2,3536-4}{6-4} &= \frac{y-0,2}{0,3-0,2} \\ y &= 0,12 \end{aligned}$$

Dari ekstrapolasi tersebut maka rasio luas aliran minimum yaitu 0,12.

Pipa downcomer adalah pipa yang terkena panas paling sedikit karena merupakan tempat turunnya feed water sehingga pipa downcomer dimulai dari rear down comer tubes. Main bank tubes terdiri dari 16 baris dengan 31 pipa setiap barisnya. Percobaan perhitungan dengan rear down comer tubes dan 1 baris main bank tubes sebagai downcomer adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Downcomer\ flow\ area &= flow\ area\ RDC + flow\ area\ MBT \\ &= 46,823 + N \cdot \pi \cdot d \cdot L \\ &= 46,823 + 31 \cdot 3,14 \cdot 0,0444 \cdot 6 \\ &= 46,823 + 25,931 \\ &= 72,754\ m^2 \end{aligned}$$

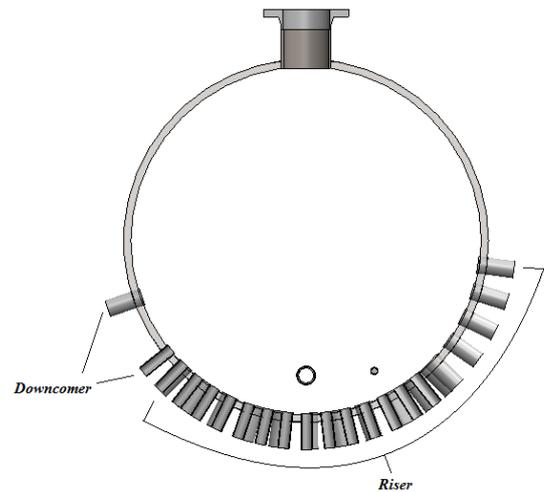
$$\begin{aligned} Riser\ flow\ area &= total\ flow\ area - \\ downcomer\ flow\ area &= 549,841 - 72,754\ m^2 \\ &= 477,087 \end{aligned}$$

Rasio luas aliran downcomer dan riser yaitu :

$$\begin{aligned} Rasio &= \frac{Downcomer\ flow\ area}{Riser\ flow\ area} = \frac{72,754}{477,087} \\ &= 0,152 \end{aligned}$$

Pembagian riser dan downcomer telah memenuhi syarat karena rasio yang didapatkan berada di antara 0,12 hingga 0,2.

Jadi yang merupakan pipa downcomer adalah semua pipa rear down comer dan 1 baris main bank tubes paling ujung sedangkan pipa lainnya adalah riser. Pembagian pipa riser dan downcomer dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Pembagian pipa riser dan downcomer

Kecepatan air di inlet pipa downcomer harus dijaga di bawah 3 m/s. Untuk menghitung kecepatan air di inlet downcomer dapat menggunakan persamaan berikut :

$$p_1 + \frac{\bar{v}_1^2}{2g} + Z_1 = p_2 + \frac{\bar{v}_2^2}{2g} + Z_2 \quad (4)$$

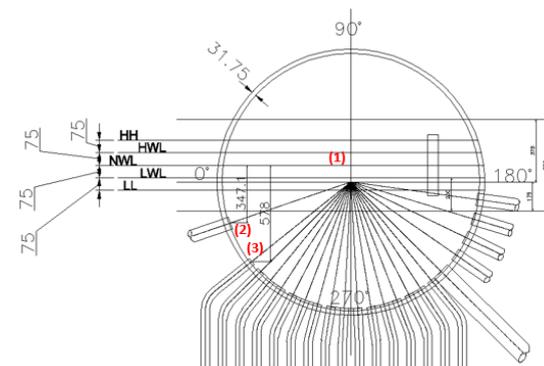
Keterangan :

p = pressure head dalam meter (tekanan [kg/m²] x specific volume [m³/kg])

\bar{v} = kecepatan (m/s)

Z = ketinggian (m)

Normal water level adalah ketinggian air di dalam drum yang diinginkan, karena itu jarak downcomer ke normal water level (Gambar 9) digunakan untuk mencari Z di persamaan (4).



Gambar 9. Jarak downcomer ke normal water level

Kecepatan air di titik 2 adalah :

$$p_1 + \frac{\bar{v}_1^2}{2g} + Z_1 = p_2 + \frac{\bar{v}_2^2}{2g} + Z_2$$

$$p_1 + \frac{0^2}{2g} + 0,3471 = p_2 + \frac{\bar{v}_2^2}{2 \cdot 9,8} + 0$$

$$\bar{v}_2^2 = 0,3471 \cdot 19,6$$

$$\bar{v}_2 = \sqrt{6,803}$$

$$\bar{v}_2 = 2,61 \text{ m/s}$$

Kecepatan air di titik 3 adalah :

$$p_1 + \frac{\bar{v}_1^2}{2g} + Z_1 = p_3 + \frac{\bar{v}_3^2}{2g} + Z_3$$

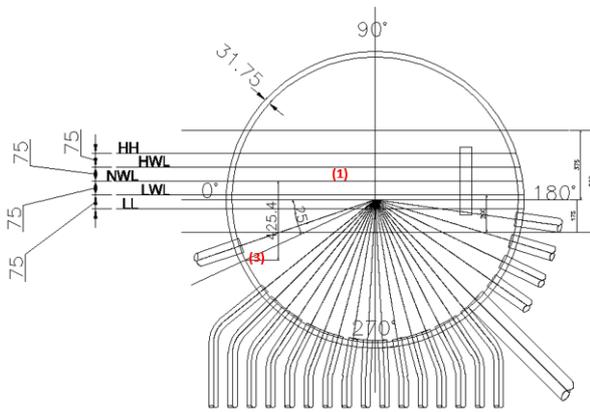
$$p_1 + \frac{0^2}{2g} + 0,578 = p_3 + \frac{\bar{v}_3^2}{2 \cdot 9,8} + 0$$

$$\bar{v}_3^2 = 0,578 \cdot 19,6$$

$$\bar{v}_3 = \sqrt{11,33}$$

$$\bar{v}_3 = 3,37 \text{ m/s}$$

Kecepatan air di titik 3 melebihi 3 m/s. Maka dari itu letak pipa tersebut harus dipindah lebih atas agar kecepatan air di *inlet* pipa berkurang (Gambar 10).



Gambar 10. Perubahan letak pipa *downcomer*

$$p_1 + \frac{\bar{v}_1^2}{2g} + Z_1 = p_3 + \frac{\bar{v}_3^2}{2g} + Z_3$$

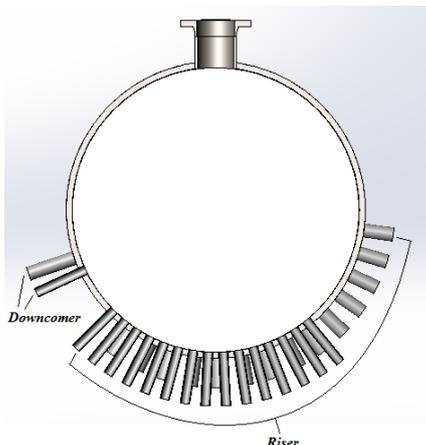
$$p_1 + \frac{0^2}{2g} + 0,4254 = p_3 + \frac{\bar{v}_3^2}{2 \cdot 9,8} + 0$$

$$\bar{v}_3^2 = 0,4254 \cdot 19,6$$

$$\bar{v}_3 = \sqrt{8,338}$$

$$\bar{v}_3 = 2,89 \text{ m/s}$$

Jadi letak pipa *downcomer* dan *riser* dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Letak pipa *riser* dan *downcomer* yang baru

Untuk mengecek apakah jumlah pipa *riser* telah memenuhi syarat maka digunakan Tabel 4 sebagai pedoman. *Boiler* yang diproduksi PT Mitra Adyaniaga ini memiliki tekanan 24 kg/cm² (2,3536 MPa). Tekanan terendah dari Tabel 4 adalah 4 MPa sehingga perlu dilakukan ekstrapolasi untuk mendapatkan *steam generation area of riser tube*.

Tabel 4. Laju Produksi Uap per Luas Penampang Pipa *Riser*

TABLE 6-8. Steam production rate per unit cross section area of riser tube (t/h · m ²).				
Drum pressure (MPa)	4-6	10-12	14-16	17-19
Steaming capacity (t/h)	≤75	≥120	160-420	400-670
Height of water wall tubes (m)	10-12	12-24	20-40	25-45
Steam generation area of riser tube [t/(h · m ²)]	60-120	120-200	250-400	420-550
Coal fired boiler	60-120	120-200	250-400	420-550
Oil fired boiler	75-150	150-250	320-480	520-680
				650-800
				750-900

Sumber : Basu, Kefa, Jestin (2000, p. 146)

Dari Tabel 3 maka dilakukan ekstrapolasi sebagai berikut :

$$\frac{x-x_1}{x_2-x_1} = \frac{y-y_1}{y_2-y_1}$$

$$\frac{2,3536-4}{6-4} = \frac{y-60}{120-60}$$

$$y = 10,61$$

Dari ekstrapolasi tersebut maka *steam generation area of riser tube* minimum yaitu 10,61 t/(h · m²).

Mencari luas penampang pipa dapat menggunakan persamaan (5) dan (6) sebagai berikut :

$$\text{Cross section area} = N \cdot A \quad (5)$$

$$A = \frac{1}{4} \pi d^2 \quad (6)$$

Keterangan :

N = jumlah pipa

A = luas penampang bagian dalam pipa (m²)

L = panjang pipa (m)

d = diameter dalam pipa (m)

$$\text{Cross section area MBT} = N \cdot A$$

$$= N \cdot \frac{1}{4} \pi d^2 = 465 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot 0,0444^2$$

$$= 0,72 \text{ m}^2$$

$$\text{Cross section area MDC} = N \cdot A$$

$$= N \cdot \frac{1}{4} \pi d^2 = 24 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot 0,0691^2$$

$$= 0,09 \text{ m}^2$$

$$\text{Cross section area FDC} = N \cdot A$$

$$= N \cdot \frac{1}{4} \pi d^2 = 24 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot 0,0691^2$$

$$= 0,09 \text{ m}^2$$

$$\text{Total Cross section area} =$$

$$\Sigma(\text{cross section area MBT, MDC, FDC})$$

$$= 0,72 + 0,09 + 0,09$$

$$= 0,9 \text{ m}^2$$

$$\text{Steam generation area} = \frac{\dot{m}}{\text{Total cross section area}}$$

$$= \frac{25}{0,9}$$

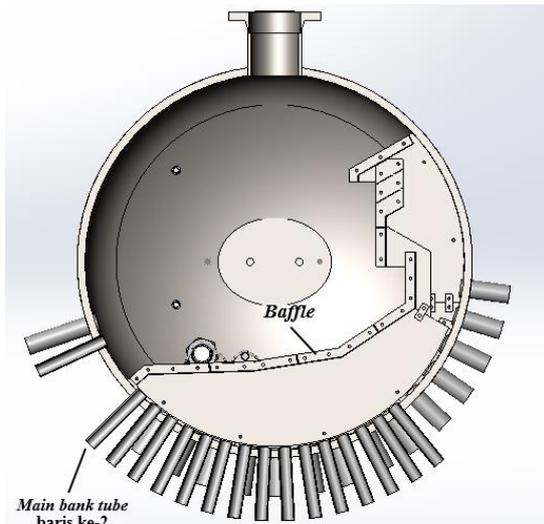
$$= 27,78 \text{ t/(h} \cdot \text{m}^2)$$

Jadi jumlah pipa *riser* sudah memenuhi syarat karena *steam generation area* yang didapatkan berada di antara 10,61 ton/(h · m²) hingga 60 ton/(h · m²)

3.7. Modifikasi Internal Drum

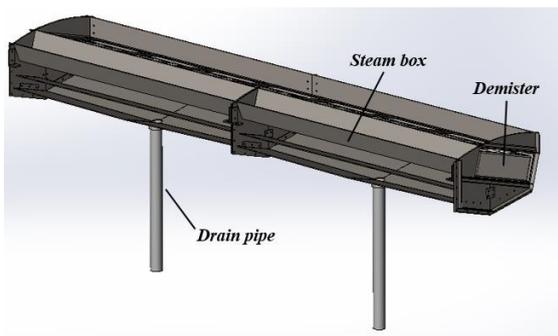
Baffle ini mulai diberikan dari main bank tubes

baris ke-2 yang dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Pemberian *baffle* untuk pipa riser

Steam drier digunakan untuk menangkap sisa-sisa butiran air yang ada di dalam uap. *Steam drier* terdiri dari *steam box*, *demister*, dan *drain pipe* (Gambar 13).



Gambar 13. Desain *steam drier*

Kecepatan air maksimal yang keluar dari pipa *feed water* harus dibatasi sampai 1,2 m/s dan *pitch* antar lubang (*nozzle*) pipa *chemical dosing* harus 300 mm. Kecepatan air dapat dihitung menurut persamaan (7) dan (8) sebagai berikut :

$$Q = n \cdot A \cdot v \quad (7)$$

$$A = \frac{1}{4} \pi d^2 \quad (8)$$

Keterangan :

Q = debit air (m³/s)

n = jumlah lubang

A = luas penampang (m²)

V = kecepatan fluida (m/s)

d = diameter lubang (m)

Maka kecepatan air :

$$Q = 25 \text{ ton/jam} = 25 \frac{1000 \text{ kg}}{3600 \text{ s}}$$

$$= 6,944 \frac{10^{-3} \text{ m}^3}{\text{s}}$$

$$= 6,944 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = n \cdot A \cdot v$$

$$6,944 \cdot 10^{-3} = n \cdot \frac{1}{4} \pi d^2 \cdot v$$

$$6,944 \cdot 10^{-3} = 28 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot 0,008^2 \cdot v$$

$$6,944 \cdot 10^{-3} = 1,407 \cdot 10^{-3} \cdot v$$

$$v = 4,93 \text{ m/s}$$

Dikarenakan kecepatan air melebihi 1,2 m/s, maka pipa *feed water* harus dimodifikasi sehingga memiliki *pitch* antar lubang sebesar 300 mm dan kecepatan air di bawah 1,2 m/s. Perhitungannya adalah sebagai berikut :
Jumlah lubang :

$$n = \frac{\text{Panjang pipa feed water}}{\text{pitch}}$$

$$= \frac{6392,7}{300}$$

$$= 21,309$$

Jadi jumlah lubang pada pipa *feed water* yaitu 21 lubang.

Kecepatan maksimum air di lubang (*nozzle*) yaitu 1,2 m/s, maka diameter lubang minimum adalah :

$$Q = n \cdot A \cdot v$$

$$6,944 \cdot 10^{-3} = n \cdot \frac{1}{4} \pi d^2 \cdot v$$

$$6,944 \cdot 10^{-3} = 21 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot d^2 \cdot 1,2$$

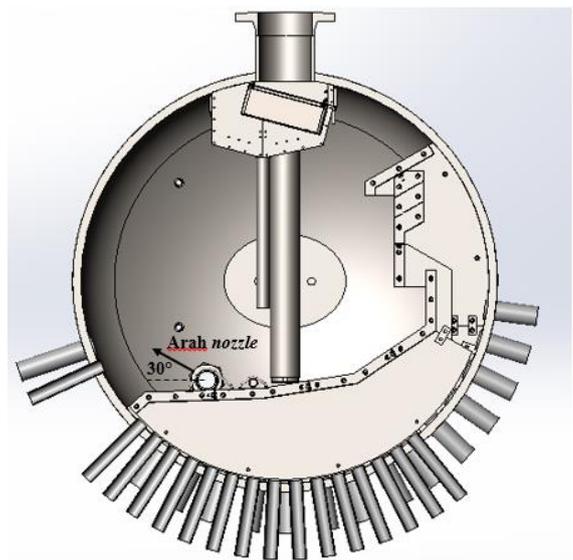
$$6,944 \cdot 10^{-3} = 19,79 \cdot d^2$$

$$d = \sqrt{3,51 \cdot 10^{-4}}$$

$$d = 0,019 \text{ m}$$

Jadi diameter lubang minimum yaitu 1,9 cm. Diameter lubang dibulatkan menjadi 2 cm.

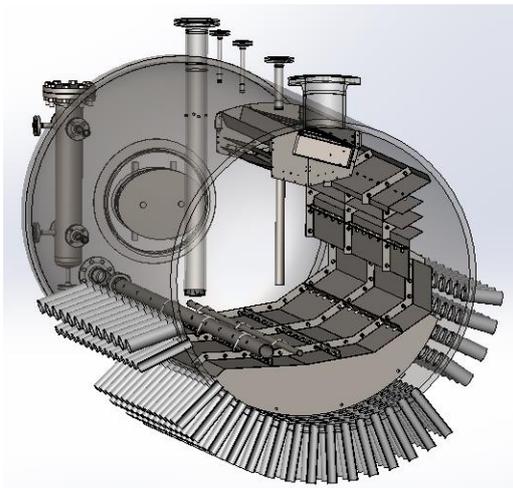
Arah lubang (*nozzle*) pipa *feed water* juga diubah dan diarahkan ke *rear downcomer* agar *feed water* langsung turun menuju *downcomer* (Gambar 14).



Gambar 14. Arah *nozzle* pipa *feed water*

3.8. Gambar Hasil Modifikasi *Steam Drum*

Gambar hasil modifikasi drum secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Modifikasi steam drum tampak potongan 3D

4. Kesimpulan

Pembentukan deposit dalam pipa *superheater* disebabkan oleh 3 hal yaitu:

1. Air yang digunakan oleh PT GPH mungkin kimiawi airnya tidak sesuai dengan ketentuan yang ada sehingga mengakibatkan *foaming* dan *priming*.
2. Pengoperasian *boiler* yang tidak tepat, seperti mengoperasikan *boiler* pada tekanan yang jauh lebih rendah dari desain tekanan, meningkatkan kapasitas *boiler* secara mendadak, dan level air yang tinggi. Hal tersebut dapat menyebabkan *carryover*.
3. Desain internal *steam drum* kurang baik karena turbulensi yang disebabkan oleh *riser* dan *downcomer* tinggi, aliran uap kurang berliku-liku dan desain *steam drier* menyebabkan kondensasi. Hal tersebut menyebabkan *carryover*.

Modifikasi yang dilakukan untuk mengurangi *carryover* adalah :

1. Pemberian *baffle* di dalam *steam drum* sehingga olakan air yang disebabkan oleh pipa *riser* dan *downcomer* berkurang. Rasio luas aliran *downcomer* dan *riser* adalah 0,152 ini telah memenuhi syarat sehingga pipa yang tergolong *downcomer* adalah *rear down comer tubes* dan *main bank tubes* baris ke-1, sedangkan pipa lainnya tergolong *riser*. Jadi *baffle* diberikan mulai dari *main bank tubes* baris ke-2.
2. Mengubah letak *main bank tubes* baris ke-1 sebesar 25° terhadap garis horisontal agar kecepatan air di *inlet* pipa lebih rendah dari 3 m/s. Setelah dipindah, kecepatan air di *inlet* pipa yaitu 2,89 m/s.
3. Memilih jenis *demister* tipe HE-3M dengan dimensi 1,2 m x 0,3 m x 0,1m agar efektif dalam menangkap sisa-sisa air.
4. Mendesain *steam drier* yang dilengkapi dengan *steam box*, *demister* yang dimiringkan sebesar 15° dan *drain pipe* dengan ukuran 1,5 inch *schedule* 40.
5. Mengganti *pitch* dan diameter lubang pipa *feed water* agar olakan air yang disebabkan oleh kecepatan air yang keluar dari *nozzle* berkurang. Diameter lubang diganti 2 cm agar kecepatan air di bawah 1,2 m/s dan

pitch antar lubang 300 mm. Arah lubang pipa *feed water* juga diubah sebesar 30° terhadap garis horisontal.

5. Daftar Referensi

1. Basu, P., Kefa, C., & Jestin, L. (2000). *Boilers and burners: Design and theory*. New York: Springer.
2. *Boiler water carryover*. (2011, September). Retrieved Juni 3, 2016, from http://www.chemaqua.com/downloads/cases/cabt1-004_9-10.pdf
3. *Causes of carryover*. (n.d.). Retrieved Juni 3, 2016, from https://www.forbesmarshall.com/fm_micro/news_room.aspx?Id=seg&nid=124
4. Hat International. (n.d.). *Demisters*. UK: Author.
5. Kitto, J.B., & Stultz, S.C. (Eds). (2005). *Steam: Its generation and use* (41th ed.). USA: The Babcock and Wilcox Company.
6. Koch-Glitsch. (2015). *Mist elimination liquid-liquid coalescing*. USA: Author.
7. Malek, M.A. (2005). *Power boiler design, inspection, and repair: ASME code simplified*. USA: The McGraw-Hill Companies, Inc.
8. Parkinson, B. (2014, Agustus). *Boiler carryover: Cause, effect, and prevention*. Retrieved Juni 3, 2016, from <https://feedwater.co.uk/boiler-carryover-cause-effect-prevention/>
9. Parthiban, K.K. (n.d.). *Ideal drum internal arrangement*. Coimbatore, Tamil Nadu: Venus Energy Audit System.
10. Permana, R.H., & Witantyo. (2014, September). Analisa kerusakan superheater tube pada boiler 31-F-28 di PT Badak NGL Bontang Kaltim. *Jurnal Teknik Pomits*, 1(2), 1.
11. Pratikto. (2008). *Ketel uap pipa air bi drum: Teori dan aplikasi desain*. Malang: CV Asrori.
12. Rayaprolu, K. (2009). *Boilers for power and process*. Boca raton: CRC Press.
13. *Steam purity*. (n.d.). Retrieved Juni 11, 2016, from http://www.gewater.com/handbook/boiler_water_systems/ch_16_steam_purity.jsp
14. The American Society of Mechanical Engineers. (2015a). *ASME boiler and pressure vessel code section I: Rules for construction of power boilers*. New York: Author.
15. The American Society of Mechanical Engineers. (2015b). *ASME boiler and pressure vessel code section II: Part D*. New York: Author.
16. The American Society of Mechanical Engineers. (2015c). *ASME boiler and pressure vessel code section VII: Recommended guidelines for the care of power boilers*. New York: Author.
17. Yoshimine Co., Ltd. (n.d.). *Solid fuel series*. Japan: Author.