

## DESAIN FIRE TUBE BOILER UNTUK UTILITAS PABRIK ELEMEN BAKAR NUKLIR TIPE PWR 1000 MWe

Bandi Parapak  
Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir – BATAN  
Kawasan Puspiptek Gd. 71 Lt.2 Serpong

### ABSTRAK

**DESAIN FIRE TUBE BOILER UNTUK UTILITAS PABRIK ELEMEN BAKAR NUKLIR TIPE PWR 1000 MWe.** Fire tube boiler adalah suatu bejana tertutup yang mengubah air menjadi uap dengan jalan pemanasan dan uap tersebut digunakan ke fasilitas pengguna. Desain boiler ini berskala kecil dengan kapasitas uap jenuh 612,43 kg/jam, menggunakan bahan bakar minyak sebagai sumber energi panas. Boiler ini dirancang khusus sebagai unit utilitas pemanas untuk fasilitas pabrik elemen bakar nuklir PWR1000 MWe. Sistem pembakaran boiler ini dirancang menggunakan burner dengan bahan bakar minyak solar karena harganya masih dapat bersaing bila dibandingkan dengan bahan bakar gas ataupun bahan bakar padat. Boiler ini direncanakan menghasilkan uap jenuh pada temperatur 132<sup>o</sup>C dan tekanan operasi 2,1 bar. Komponen boiler yang dirancang meliputi tangki boiler, ruang bakar dan pipa api. Perhitungan meliputi boiler horse power, Volume tangki, diameter tangki, panjang tangki, tebal tangki, luas permukaan tangki, volume ruang bakar, diameter luar ruang bakar, luas permukaan ruang bakar, tebal ruang bakar, dan dimensi pipa api. Dari hasil rancangan diperoleh BHP = 40 hp, volume ruang bakar = 0,96 m<sup>3</sup>, luas permukaan ruang bakar = 7,2 m<sup>2</sup>, diameter luar ruang bakar = 0,508 m, tebal ruang bakar = 38 mm, Volume tangki boiler = 2,83 m<sup>3</sup>, diameter dalam tangki boiler = 1,2 m, panjang tangki boiler = 2,5 m, luas permukaan tangki boiler = 9,42 m<sup>2</sup>, diameter luar pipa api = 33,4 mm, volume pipa api = 0,02 m<sup>3</sup>, luas permukaan pipa api = 6,61 m<sup>2</sup>, panjang pipa api = 1,5 m, tebal pipa api = 3,7 mm, volume uap dalam boiler = 0,4 m<sup>3</sup> dan volume air dalam boiler = 1,45 m<sup>3</sup>. Bahan bakar solar dengan VHI = 140.000 BTU/gallon, LHV = 43,400 kJ/kg dan efisiensi boiler 80%.

Kata Kunci : Boiler, Bahan Bakar, Uap, Pabrik Elemen Bakar Nuklir PWR-1000 MWe

### ABSTRACT

**FIRE TUBE BOILER DESIGN FOR UTILITY PLANT NUCLEAR FUEL ELEMENT TYPE PWR 1000 MWe.** Fire tube boiler is a closed vessel which is altering the water into steam and the steam heating is used to facility users. This small-scale boiler design which has a capacity of 612.43 kg of saturated steam / hour uses fossil fuels as a source of heat energy. This boiler is designed specifically as a unit for the heating utility plant facilities PWR1000 MWe nuclear fuel elements. Boiler combustion system is designed using a burner with petroleum diesel fuel because it can still be competitive when compared with fuel gas or solid fuel. The boiler is planned to produce saturated steam at temperatures of 132<sup>o</sup>C and operating pressure of 2,1 bar. Designed components of the boiler are shell, combustion chamber and fire tubes. Calculation includes boiler horse power, shell volume, shell diameter, shell length, shell thick, surface area of shell, the volume of the combustion chamber, combustion chamber thick, combustion chamber outer diameter, surface area of combustion chamber, and fire tube dimensions. From the results of the calculation were obtained BHP = 40 hp, combustion chamber volume = 0,96 m<sup>3</sup>, surface are of combustion chamber = 7,2 m<sup>2</sup>, combustion chamber outer diameter = 0,508 m, chamber thickness = 38 mm, shell insise diameter = 1.2 m, shell boiler Volume = 2,83 m<sup>3</sup>, shell boiler inside diameter = 1,2 m, shell boiler length = 2,5 m, shell boiler surface area = 9,42 m<sup>2</sup>, tube outer diameter = 33,4 mm, tubes volume = 0,02 m<sup>3</sup>, surface area of tubes = 6,61 m<sup>2</sup>, tube length = 1,5 m, tubes thickness = 3,4 mm, volume of steam in boiler = 0,4 m<sup>3</sup> and volume of water in boiler = 1,45 m<sup>3</sup>. Diesel fuel consumption with VHI = 140.000 GPH, LHV = 43,400 kJ/ kg and 80% boiler efficiency.

Keywords: Boiler, Fuel, Steam, Nuclear Fuel Element Plant, PWR-1000 MWe

## 1. PENDAHULUAN

*Boiler* adalah bejana tertutup dimana panas dialirkan ke air melalui pipa sampai terbentuk uap. Uap dikondisikan pada tekanan tertentu, kemudian digunakan untuk mengalirkan panas ke suatu proses industri atau untuk pembangkit tenaga melalui turbin uap. *Boiler* banyak digunakan pada industri kecil dan menengah sebagai suatu sistem peralatan proses pengolahan, juga digunakan sebagai media pemanas pada industri kecil menengah ataupun industri besar seperti industri kimia dan untuk berbagai keperluan lainnya.

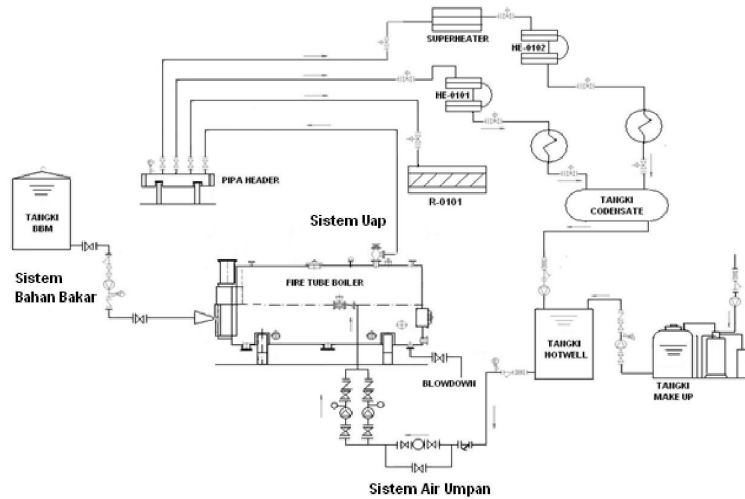
Sistem *boiler* terdiri dari sub sistem air umpan (*feedwater*), sub sistem uap dan sub sistem bahan bakar. Sub sistem air umpan menyediakan air untuk *boiler* dan diatur secara otomatis untuk memenuhi kebutuhan uap. Sub sistem uap mengumpulkan dan mengontrol produksi uap dalam boiler. Uap dialirkan melalui sistem perpipaan ke titik-titik pengguna. Tekanan uap diatur menggunakan katup dan dikontrol dengan alat pengukur tekanan uap. Sub sistem bahan bakar adalah semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan. Peralatan yang diperlukan pada sistem bahan bakar tergantung jenis bahan bakar yang digunakan. Air yang disuplai ke *boiler* untuk dirubah menjadi uap disebut air umpan. Dua sumber air umpan adalah: (1) Kondensat atau steam yang mengembun yang kembali dari proses dan (2) Air *makeup* (air baku yang sudah diolah) yang harus diumpangkan dari luar ruang *boiler* dan *plant* proses. Untuk mendapatkan efisiensi *boiler* yang tinggi, biasanya digunakan *economizer*. *Ekonomizer berfungsi* untuk memanaskan awal air umpan dengan menggunakan limbah panas dari gas buang. Ada dua jenis *boiler* yaitu: *fire tube boiler* (ketel uap pipa api) dan *water tube boiler* (ketel uap pipa air). Ke dua jenis *boiler* ini paling banyak digunakan sebagai alat untuk mengolah uap untuk berbagai keperluan pada industri maupun pembangkit tenaga listrik.

Pada desain ini, dipilih *fire tube boiler*, karena tekanan kerja dan produksi uap yang dihasilkan tidak terlalu besar. *fire tube boiler* terdiri dari serangkaian pipa (*tube*) lurus yang ditempatkan pada bagian dalam *shell* berisi air. Pipa (*tube*) api disusun sedemikian rupa sehingga gas panas pembakaran mengalir melalui pipa. Sebagai sumber panas, gas mengalir melalui pipa dan memanaskan air di sekitar pipa. Tipikal boiler pipa api biasanya mempunyai biaya awal lebih rendah, bahan bakar rendah, dan pengoperasiannya lebih mudah, tetapi pada umumnya kapasitas dan tekananya dibatasi yaitu 25,000 kg/jam dan 17,5 kg/cm<sup>2</sup> maksimum.

Tujuan desain *fire tube boiler* ini adalah untuk mendesain sebuah *fire tube boiler* yang mampu memproduksi uap jenuh sebesar 612,43 kg/jam pada tekanan 2,1 bar untuk keperluan pemanasan beberapa peralatan pada pabrik elemen bakar nuklir tipe PWR1000 MWe<sup>[1]</sup>. *Boiler* tersebut direncanakan menggunakan bahan bakar minyak atau gas, dan air umpan masuk *boiler* pada temperatur 60°C, dengan kondisi udara luar 30°C.

## 2. TEORI

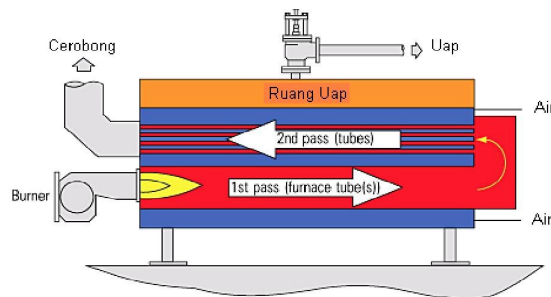
Desain *fire tube boiler* didasarkan pada jumlah kebutuhan uap yang diperlukan untuk pasokan pemanasan peralatan pada pabrik elemen bakar nuklir tipe PWR1000 MWe. Pada gambar 1 ditunjukkan diagram alir poses pembentukan uap dan aplikasinya untuk sistem *steam boiler* pada Pabrik Elemen Bakar Nuklir tipe PWR 1000 MWe.



Gambar 1. Diagram alir sistem *steam boiler* dan aplikasinya<sup>[2]</sup>

Pemilihan *fire tube boiler* karena kapasitas uap yang dihasilkan relatif kecil dengan tekanan uap rendah sampai sedang. *Fire tube boiler* biasanya didesain secara kompetitif sampai kecepatan uap maksimum 12.000 kg/jam dengan tekanan 18 kg/cm<sup>2</sup>. *Fire tube boiler* didesain dapat menggunakan beberapa jenis bahan bakar, baik itu bahan bakar minyak, gas atau bahan bakar padat dalam operasinya.

Rancangan *fire tube boiler* terdiri dari *shell boiler*, ruang bakar, *tubing* dan bidang pemanasan dengan jumlah laluan gas hasil pembakaran bahan bakar adalah 2 *pass*. Pada gambar 2 ditunjukkan prinsip kerja *fire tube boiler 2 pass*.



Gambar 2. *Fire tube boiler 2 pass*<sup>[2]</sup>

Untuk menentukan dimensi *boiler* sesuai dengan kapasitas uap yang direncanakan maka digunakan beberapa teori perhitungan, sebagai berikut :

### 2.1 Menghitung Kapasitas Air Umpan

Kapasitas air umpan yang diperlukan sebagai air pengisi *boiler* dihitung berdasarkan laju *blowdown* yang diperlukan dan air kondensat yang dikembalikan ke tangki air umpan serta air penambah atau *make up water*. Ke tiga komponen air umpan pengisi boiler tersebut ditentukan dengan menghitung :

#### a. Laju *Blowdown*

Untuk menghindari masalah *boiler*, air harus dibuang secara berkala atau "*blowdown*" dari *boiler* untuk mengendalikan konsentrasi padatan terlarut/TDS dan total padatan tersuspensi dalam *boiler*.

*Blowdown* dapat ditentukan dengan menghitung prosentase berdasarkan rumus empiris :

$$BD = \text{TDS feedwater} \times \% \text{ Make Up Water} / \text{TDS Air Boiler yang diizinkan}^{[3]}$$

$$= 250 \times 10\% / 2500 = 1 \%$$

Laju *blowdown* yang diperlukan,  $Q_{BD} = \text{kapasitas uap} \times \% \text{ blowdown (kg/jam)}$

Tabel 1. TDS air boiler yang diizinkan <sup>[4]</sup>

<i>Boiler Operating Pressure (bar)</i>	<i>Total Dissolved Solids (ppm)</i>
0 – 50 psig atau 0 – 3,5 bar	2500
50 – 300 psig atau 3,5 -20 bar	3500

b. Air Kondensat dan Air Penambah

Air kondensat adalah air yang diembunkan oleh kondensor dan ditampung di dalam tangki kondensat yang selanjutnya disirkulasikan kembali ke boiler. Prosentase air kondensat ditentukan dengan kandungan *silica* dalam air *softener* untuk air umpan dan air penambah sebagai berikut :

Tabel 2. Kandungan *Silica* pada Air Penambah dan Air Umpan Boiler <sup>[5]</sup>

<i>Location</i>	<i>Silica (ppm)</i>	<i>Coductivity (micromhos)</i>
<i>Boiler Makeup</i>	40	525
<i>Air Umpan Boiler</i>	20	265
<i>Kondensat</i>	3	45

$\% \text{ Condensate Return, CR} = 1 - \text{feedwater silica} / \text{makeup silica}^{[6]}$

Laju aliran kondensat,  $Q_{CR} = \% \times \text{kapasitas uap masuk kondensor, (kg/jam)}$

Untuk air penambah dapat ditentukan sebagai berikut<sup>[7]</sup>:

$$Q_{MU} = Q_{AU} - Q_{CR} \text{ (kg/jam)}$$

Maka kapasitas air umpan yang diperlukan sebagai air pengisi boiler adalah :

$$Q_{FW} = Q_U + Q_{CR} \text{ (kg/jam)}$$

**2.2 Kebutuhan Panas dan Boiler Horse Power**

Panas yang dibutuhkan untuk menghasilkan uap sebesar 612,43 kg/jam dapat dihitung dengan formula<sup>[8] [9]</sup> :

$$Q_1 = q_U (h_u - h_a) \text{ (kJ/jam)}$$

$$Q_2 = m \times C_p \times \Delta T \text{ (kJ/jam)}$$

Untuk *Boiler Horse Power* dihitung dengan formula empiris<sup>[10]</sup> :

$$\text{BHP} = \text{Kilowatt} / 9,809$$

dimana :

$q_U = m = \text{kapasitas produksi uap dari boiler, kg/jam}$

$h_u = \text{enthalpy uap (kJ/kg) pada suhu } 132^\circ\text{C}$

$h_a = \text{enthalpy air (kJ/kg) pada suhu } 132^\circ\text{C}$

$C_p = \text{panas spesifik air pada suhu } 60^\circ\text{C}$

$\Delta T = \text{selisih temperatur uap dan air umpan pengisi boiler, } ^\circ\text{C}$

**BHP = Boiler Horse Power**

### 2.3 Kebutuhan Bahan Bakar

Bahan bakar yang dibutuhkan untuk memanaskan air dalam *boiler* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut<sup>[11]</sup> :

$$F_C = S_p (h_s - h_w) / BE.VHI \text{ (gallon/jam)}$$

dimana :

$F_C$  = kebutuhan bahan bakar (kg/jam)

$H_s$  = *enthalpy* air (Btu/lb) pada suhu 269,60°F, tekanan 41.6 psig

$h_w$  = *enthalpy* air umpan (Btu/lb) pada suhu 140°F, tekanan 14,5 psig

$S_p$  = kapasitas produksi uap (kg/jam)

BE = efisiensi *boiler* (%) biasanya antara 70 – 90 %

VHI = Nilai pembakaran bahan bakar minyak solar = 140.000 *btu/gallon* <sup>[12]</sup>

### 2.4 Menentukan Volume Ruang Bakar

Ruang bakar adalah dapur atau tempat untuk melakukan pembakaran bahan bakar. Hasil pembakaran akan menghasilkan gas panas yang dialirkan dalam sistem tubing atau pipa-pipa berdiameter kecil dalam rangka untuk memanaskan air yang ada di dalam tangki *boiler*. Posisi ruang bakar diletakkan dalam silinder *shell boiler* bagian bawah. Dimensi ruang bakar dapat dihitung sebagai berikut :

a. Volume ruang bakar

Volume ruang bakar dihitung dengan rumus<sup>[13]</sup> :

$$V_{rb} = B.LHV/q_B \text{ (m}^3\text{)}$$

Volume badan api dihitung dengan rumus<sup>[13]</sup> :

$$V_{BA} = \Phi.V_{rb} \text{ (m}^3\text{)}$$

b. Diameter dan tebal dinding ruang bakar

$$d_{orb} = 20 \text{ in} = 0,508 \text{ mm, direncanakan}$$

Tebal dinding ruang bakar yangizinkan dihitung dengan rumus :

$$t_{rb} = pD_E/0,28R_m + L/286 > 8 \text{ mm} < = 15 \text{ mm}^{[14]}$$

c. Panjang ruang bakar

$$L_{rb} = 4 \times V_{rb}/\pi d_{orb} \text{ (m)}$$

d. Luas bidang pembakaran

$$A_{rb} = \pi.d_{rb}.L_{rb} \text{ (m}^2\text{)}$$

dimana :

$B = F_C$  = Kebutuhan bahan bakar (kg/jam)

$q_B$  = beban ruang bakar (kcal/jam.m<sup>3</sup>) berkisar 1,5 x 10<sup>5</sup> – 3 x 10<sup>5</sup> kcal/jamm<sup>3</sup> <sup>[13]</sup>

$\Phi$  = konstanta derajat pembakaran adalah 0,8

$L_{rb}$  = panjang ruang bakar, m

$d_{rb}$  = diameter ruang bakar, m

$P_{rb}$  = panjang ruang bakar, mm

$P$  = tekanan desain, MPa

$R_m$  = *Ultimate tensile strength*, N/mm<sup>2</sup>

DE = diameter luar ruang bakar, mm

### 2.5 Menentukan Dimensi Fire Tube

a. Diameter dan tebal dinding *fire tube*

Diameter *fire tube* ditentukan dengan asumsi

Tebal dinding *tube* yangizinkan dihitung dengan rumus<sup>[14]</sup> :

$$t_{ft} = pd/0.15 R_m + 1,8 > 3 \text{ mm}$$

b. Jumlah *fire tube*

$P_{ft}$  = ditentukan dengan asumsi

c. Volume *fire tube*

Volume total *fire tube* keseluruhan dihitung dengan rumus<sup>[13]</sup> :

$$V_{ft} = P_{ft}.\pi/4.d_{oft}^2 \times L_{ft} \text{ (m}^3\text{)}$$

- d. Luas bidang *fire tube*  
Luas bidang *fire tube* dihitung dengan rumus<sup>[13]</sup>:

$$A_{ft} = P_{ft} \cdot \Pi \cdot d_{oft} \cdot L_{ft} \text{ (m}^2\text{)}$$

dimana :

$P_{ft}$  = jumlah *tube* (batang)

$d_{oft}$  = diameter luar tube (mm)

$L_{ft}$  = panjang *tube* (m)

$R_m$  = *ultimate strength of the material*, N/mm<sup>2</sup>

$p$  = tekanan desain, Mpa

## 2.6 Menentukan Volume Tangki Boiler

- a. Diameter dan tebal dinding tangki

Diameter tangki ditentukan dengan rencana , tebal dinding tangki yang diizinkan dihitung dengan rumus<sup>[14]</sup> :

$$t_{SB} = pD/2K.e - p > 8 \text{ mm atau } = 8 \text{ mm}$$

dimana :

$p$  = tekanan desain, MPa

$D$  = diameter dalam tangki, mm

$K$  = tenggangan yang diizinkan, N/mm<sup>2</sup>

$e$  = efisiensi pengelasan.

- b. Volume tangki *boiler*

Volume tangki *boiler* dihitung dengan<sup>[13]</sup>:

$$V_B = \pi/4 \cdot D_{IB}^2 \times L_B \text{ (m}^3\text{)}$$

Luas bidang tangki *boiler*

Luas bidang tangki *boiler* dihitung dengan rumus<sup>[13]</sup> :

$$A_B = \pi \cdot d \cdot L \text{ (m}^2\text{)}$$

dimana :

$D_{IB}$  = diameter dalam tangki *boiler*, m

$L_B$  = panjang *tangki boiler*, m

## 2.7 Menentukan Volume Uap dan Air dalam Tangki Boiler

- a. Volume uap dalam tangki *boiler*

Volume uap dalam tangki dihitung dengan rumus<sup>[13]</sup> :

$$V_{uap} = A \cdot L \text{ (m}^3\text{)}$$

- b. Luas penampang uap

Luas penampang uap dalam tangki dihitung dengan rumus<sup>[13]</sup> :

$$A = r \cdot h \sqrt{2r \cdot h - h^2}$$

- c. Volume air dalam tangki

Volume air dalam tangki dihitung dengan rumus<sup>[13]</sup> :

$$V_{air} = V_{SB} - V_{rb} - V_{ft} - V_{uap} \text{ (m}^3\text{)}$$

## 3. METODE RANCANGAN

Desain *fire tube boiler* ini dilakukan dengan cara menghitung air umpan yang hilang selama *boiler* beroperasi, dan menentukan volume dan luas permukaan pemanasan pada tangki *boiler*, *tubing* dan ruang bakar berdasarkan laju produksi uap yang dikehendaki. Adapun langkah-langkah desain adalah sebagai berikut :

- a. Menghitung Laju *Blowdown*

Laju *blowdown* ditentukan dengan menghitung prosentase berdasarkan rumus :

$$\begin{aligned} BD &= \text{TDS Feedwater} \times \% \text{ Make Up Water} / \text{TDS air Boiler yang diizinkan} \\ &= 250 \times 10\% / 2500 = 1 \% \end{aligned}$$

maka laju *blowdown* yang diperlukan adalah :

$$Q_{BD} = \text{kapasitas uap} \times \% \text{ blowdown} , \text{ (kg/jam)}$$

$$Q_{BD} = 612,43 \times 1 \% = 6,12 \text{ kg/jam.}$$

b. Menghitung Air Kondensat dan *Make Up Water*

Prosentase air kondensat ditentukan dengan kandungan *silica* dalam air umpan dan air penambah sebagai berikut :

$$CR = 1 - 20/40 \times 100 \% = 50 \%$$

Jadi laju aliran air kondensat :

$$Q_{CR} = 50 \% \times (411,56 + 147,94) = 279,75 = 280 \text{ kg/jam}$$

## c. Menghitung total air umpan dan air penambah adalah :

Kapasitas air umpan :

$$Q_{FW} = 612,43 + 6,12 = 618,55 \text{ kg/jam} = 619 \text{ kg/jam}$$

Kapasitas air penambah :

$$Q_{MU} = 619 - 280 = 339 \text{ kg/jam} = 339 \text{ kg/jam}$$

**3.1 Menghitung Kebutuhan Panas**

Panas yang dibutuhkan untuk menghasilkan uap sebesar 612,43 kg/jam dihitung sebagai berikut :

$$Q_1 = q_U (h_s - h_w) \text{ (kJ/jam)}$$

$$= 612,43 (2722,854 - 554,932) \text{ kJ/jam} = 1.327.700,47 \text{ kJ/jam}$$

$$Q_2 = m \times C_p \times \Delta T \text{ (kJ/jam)}$$

$$= 612,43 \times 4,182 (132 - 60) = 184.405,12 \text{ kJ/jam}$$

Jadi panas yang dibutuhkan,  $Q = 1.327.700,47 + 184.405,12 = 1.512.105,59 \text{ kJ/jam}$

Maka untuk *boiler horse power* =  $1.512.105,59 \text{ kJ/jam} \times 0.000277$

$$= 418,85 \text{ KW} / 9,809$$

$$= 42,7 \text{ bhp}$$

Ukuran untuk *boiler* 40 bhp menurut *Hurst Boiler & Welding Company*, panjang tangki *boiler* 2,5 m, diameter dalam 1,2 m dan diameter luar ruang bakar 0,508 m. Berdasarkan data-data tersebut maka untuk menentukan volume dan ukuran-ukuran ruang bakar, tangki *boiler* dan tubing dihitung dengan menggunakan rumus empiris perencanaan *boiler* sebagai berikut :

**3.2 Menghitung Kebutuhan Bahan Bakar**

Bahan bakar yang dibutuhkan untuk memanaskan air dalam *boiler* adalah :

$$F_C = S_p (h_s - h_w) / BE.VHI \text{ (gallon/jam)}$$

$$= 1350,177 (1170,616 - 108,01)$$

$$0,80 \times 140.000$$

$$= 12,8 \text{ gallon/jam} = 34,7 \text{ kg/jam}$$

**3.3 Menghitung Volume Ruang Bakar**

## a. Volume ruang bakar

$$V_{rb} = B.LHV/q_B \text{ (m}^3\text{)}$$

$$B = 34,87 \times 43.400 / 4.184 \times 3 \times 10^5$$

$$V_{rb} = 1,2 \text{ m}^3$$

Volume badan api,  $V_{BA} = \phi.V_{rb} = 0,8 \times 1,2 = 0,96 \text{ m}^3$

## b. Diameter ruang bakar

$$d_{orb} = 20 \text{ in} = 0,508 \text{ m,}$$

direncanakan ruang bakar dipilih pipa *schedule 120 carbon steel*, maka diameter dalam dan tebal adalah :

$$d_{irb} = 17 \text{ in} = 0,432 \text{ m}$$

$$T_{rb} = 1,5 \text{ in} = 38 \text{ mm}$$

## c. Panjang ruang bakar

$$L_{rb} = 4 \times V_{rb} / \pi d_{orb} = 4 \times 0,96 / 3,14 \times 0,508 = 2,4 \text{ m}$$

## d. Tebal dinding ruang yang diizinkan

$$t_{rb} = pD_E / 0,28R_m + L / 286 > 8 \text{ mm}$$

$$= 0,1 \times 500 / 0,28 \times 360 + 2500 / 286 = 9,43 \text{ mm} < 38 \text{ mm,}$$

sangat aman terhadap tekanan 0,1 MPa

e. Luas permukaan ruang bakar

$$A_{rb} = \pi \cdot d_{rb} \cdot L_{rb} \\ = 3,14 \times 0,96 \times 2,4 = 7,2 \text{ m}^2$$

### 3.4 Menghitung Volume Tangki *Boiler*

a. Diameter dan tebal dinding tangki

$$D_{IB} = 1.200 \text{ mm (direncanakan)} \\ t_{SB} = pD/2K_e - p > 8 \text{ mm atau } = 8 \text{ mm} \\ = 0,28 \times 1200 / 2 \times 107 \times 0,85 - 0,28 \\ = 336/181,87 = 1,85 \text{ mm}$$

Hasil perhitungan menunjukkan tebal dinding tangki  $t_{sb}$  terlalu tipis, maka tebal tangki *boiler* dipilih 8 mm atau lebih sesuai dengan standar yang diizinkan.

b. Panjang tangki *boiler*

$$L_B = 2500 \text{ mm (direncanakan)}$$

c. Volume tangki *boiler* aktual

$$V_B = \pi/4 \cdot D_{IB}^2 \times L_B \text{ (m}^3\text{)} \\ = 3,14 \times 1,2^2/4 \times 2,5 = 2,83 \text{ m}^3$$

d. Luas permukaan tangki *boiler*

$$A_B = \pi \cdot D_{IB} \cdot L_B \text{ (m}^2\text{)} \\ = 3,14 \times 1,2 \times 2,5 = 9,42 \text{ m}^2$$

### 3.5 Menghitung Dimensi *Fire Tube*

a. *Fire tube* direncanakan pipa *seamless schedule 40 carbon steel*

$$d_o = 1,9 \text{ in} = 48,3 \text{ mm}$$

$$d_i = 1,61 \text{ in} = 40,8 \text{ mm}$$

Tebal dinding,  $t = 0,145 \text{ in} = 3,7 \text{ mm}$

b. Tebal dinding *fire tube* yang diizinkan

$$t_{ft} = pd/0,15 R_m + 1,8 > 3 \text{ mm} \\ = 0,28 \times 40,8/0,15 \times 360 + 1,8 = 2,1 \text{ mm}$$

Karena hasil perhitungan menunjukkan tebal dinding *tube* masih tipis maka ada catatan bahwa tebal *tube* tidak boleh kurang dari 3 mm, jadi tebal dinding *tube* dipilih lebih besar dari 3 mm atau sesuai dengan standar *tube* 3,7 mm, sehingga untuk tekanan 0,28 MPa aman.

c. Jumlah *fire tube*

$$P_{ft} = 42 \text{ buah (direncanakan)}$$

d. Volume *fire tube*

$$V_{ft} = P_{ft} \cdot \pi/4 \cdot D_{ft}^2 \times L_{ft} \text{ (m}^3\text{)} \\ = 42 \times 3,14 \times 0,0334^2/4 \times 1,5 = 0,02 \text{ m}^3$$

e. Luas bidang *fire tube*

$$A_{ft} = P_{ft} \cdot \pi \cdot d_{ft} \cdot L_{ft} \text{ (m}^2\text{)} \\ = 42 \times 3,14 \times 0,0334 \times 1,5 \\ = 6,61 \text{ m}^2$$

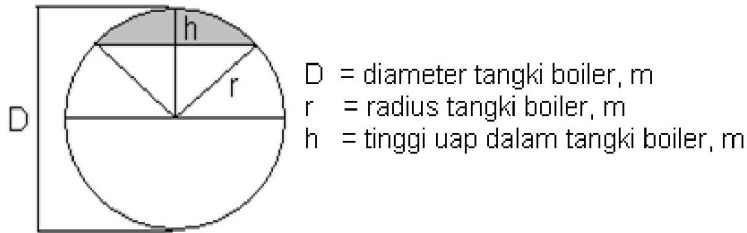
Maka luas bidang pemanasan total,

$$A_{tot} = A_{rb} + A_{ft} + A_B \\ = 7,2 + 6,61 + 9,42 \\ = 23,24 \text{ m}^2$$

Beban *boiler* spesifik,  $q = Q_u/A_{tot} = 612,43 / 23,24 = 26,35 \text{ kg/jam.m}^2$



### 3.6 Menentukan Volume Uap Dan Air Dalam Tangki *Boiler*



Gambar 2. Tinggi Air Dalam *Boiler*

- a. Luas penampang uap

$$\begin{aligned} A &= r - h \sqrt{2 r \cdot h - h^2} \\ &= 0,6 - 0,26 \sqrt{2 \cdot 0,6 \cdot 0,26 - 0,26^2} \\ &= 0,16 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- b. Volume uap dalam *shell*

$$\begin{aligned} V_{\text{uap}} &= A \cdot L \text{ (m}^3\text{)} \\ V_{\text{uap}} &= 0,16 \times 2,5 = 0,4 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- c. Volume air dalam *shell*

$$\begin{aligned} V_{\text{air}} &= V_B - V_{\text{rb}} - V_{\text{ft}} - V_{\text{uap}} \text{ (m}^3\text{)} \\ &= 2,83 - 0,96 - 0,02 - 0,4 = 1,45 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

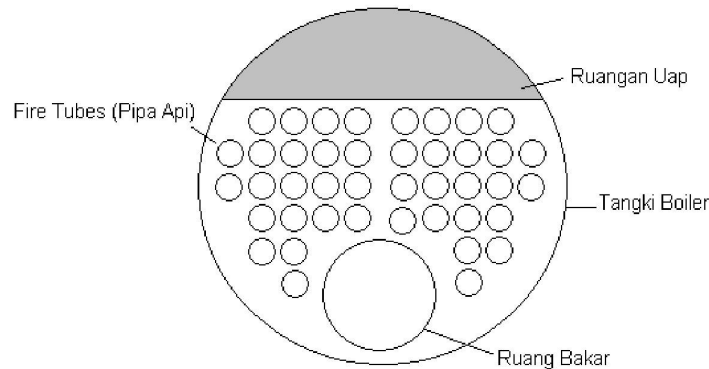
Dari hasil perhitungan diperoleh keseimbangan antara *flow rate blowdown*, air kondensat dan *make up water* untuk kebutuhan air umpan pengisi *boiler* sebesar 619 kg/jam sehingga dapat memenuhi *flow rate* uap yang direncanakan. Air umpan yang disuplai ke dalam *boiler* dipanaskan terlebih dahulu di dalam tangki *hotwell* hingga 60°C. Untuk menentukan volume air yang diubah menjadi uap di dalam *boiler* ditentukan dengan jumlah bahan bakar yang diperlukan dan besarnya volume tangki *boiler*, volume ruang bakar, volume *fire tubes* dan luas bidang pemanasan di dalam *boiler*.

Dalam desain dasar *boiler* ini, perhitungan volume tangki dan ruang bakar ditentukan dengan besarnya daya *boiler* yang diperlukan untuk memproduksi kapasitas uap 612,43 kg/jam. Daya *boiler* diperoleh 418,85 KW atau 42,7 bhp, maka dipilih daya *boiler* 40 bhp sesuai dengan yang ada dipasaran. Perhitungan daya *boiler* didasarkan atas *flow rate* uap 612,43 kg/jam, entalpi spesifik uap dan air pada temperatur 132°C, panas spesifik air umpan pada temperatur 60°C dikalikan dengan selisih temperatur uap dan temperatur air umpan. Data-data teknis yang telah ditentukan untuk *fire tube boiler* adalah daya 40 bhp, panjang tangki *boiler* = 2500 mm, diameter dalam tangki *boiler* = 1200 mm, dan kapasitas uap = 627 kg/jam., sedang kapasitas produksi uap dibutuhkan 612,43 kg/jam, jadi untuk daya *boiler* 40 bhp cukup untuk memproduksi kapasitas uap yang diperlukan tersebut. Berdasarkan data-data ini, maka volume dan dimensi yang lainnya dapat direncanakan.

Hasil perhitungan untuk ruang bakar diperoleh volume, diameter dan luas bidang permukaan pembakaran masing-masing 0,96 m<sup>3</sup>, 0,508 m dan 7,2 m<sup>2</sup>. Perhitungan volume dan luas permukaan ruang bakar didasarkan atas *flow rate* bahan bakar 12,8 GPH = 34,7 kg/jam. Kemudian hasil perhitungan untuk tangki *boiler* diperoleh volume dan luas permukaan masing-masing 2,83 m<sup>3</sup> dan 9,42 m<sup>2</sup>. Perhitungan volume dan luas permukaan tangki *boiler* didasarkan pada diameter dan panjang tangki *boiler* dari data-data 40 bhp *boiler*.

Untuk pipa-pipa api (*fire tubes*) dirancang dengan asumsi, untuk *single pass tube fire tube boiler* direncanakan 42 buah, sedang untuk dimensi *tube* seperti diameter dan

panjang *tube* direncanakan. Hasil perhitungan untuk volume dan luas permukaan *tube* diperoleh masing-masing 0,02 m<sup>3</sup> dan 6,61 m<sup>2</sup>. Luas permukaan pemanasan keseluruhan diperoleh 23,24 m<sup>2</sup>. Kemudian untuk menentukan volume air dan uap dalam tangki *boiler* dihitung berdasarkan tinggi uap dalam *boiler*. Tinggi uap ditentukan dengan asumsi 0,26 m. Gambar 3 menunjukkan rancangan susunan ruang bakar, *fire tube* dan uap dalam tangki *boiler* pandangan samping pada posisi horizontal.



Gambar 3. Susunan ruang bakar *fire tube boiler*

## 5. KESIMPULAN

Dari uraian hasil perhitungan dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa *boiler* yang dirancang sebagai utilitas Pabrik Elemen Bakar Nuklir PLTN PWR1000 MWe ini adalah *fire tube boiler* berdaya kecil. *Boiler* didesain berdasarkan data dari kapasitas produksi uap, suhu uap dan asumsi suhu air umpan, sehingga diperoleh daya *boiler* 40 bhp. Ukuran-ukuran ruang bakar, *fire tube* dan tangki *boiler* dirancang berdasarkan asumsi dan data dari daya *boiler* 40 bhp. Oleh karena itu dengan daya 40 bhp cukup untuk memproduksi uap sebesar yang dibutuhkan yaitu 612,43 kg/jam, maka hasil desain ini dapat digunakan untuk tujuan estimasi biaya dan menentukan spesifikasi *fire tube boiler* yang ada dipasaran.

## 6. REFERENSI

- [1]. Prayitno, dkk., April 2013, "Basic Engineering Desain Data Desain Pabrik Elemen Bakar Nuklir Type Pwr 1000 MW" DOK : RPN.DK.04.26.41.13
- [2]. Anonymous, 2013, *First for Steam Solution*, Spiraxsarco Limited, UK.
- [3]. Anonymous, 2006, *Assessment Of Boilers And Thermic Fluid Heaters*, Energy Equipment, United Nations Environment Programme.
- [4]. Anonymous, diunduh Juli 2013, *Steam Boiler And ABMA Recommended Feed Water Chemistry Limits*, The Engineering Toolbox, Sumber : <http://www.engineeringtoolbox.com/feedwater-chemistry-limits>.
- [5]. Anonymous, diunduh Juli 2013, *Boiler Water Problems And Solutions*, Sumber : <http://www.pdhcenter.com/courses/m165/m165content.pdf>, Anonymous, Updated 10/21/11, *Calculating and Monitoring Percentage Condensate Return*, Technical Bulletin 1-021, Boiler Systems, Chem-Agua, Inc.
- [6]. James McDonald, PE, CWT, Januari 2005, *Boiler Feedwater*, Originally Published.
- [7]. Djokosetyardjo, M.J, 1987, *Ketel Uap*, Pradnya Paramitha, Jakarta.
- [8]. Anonim, diunduh Oktober 2013, *Menghitung Panas Spesifik, Rumus Fisika Lengkap/Kalor*,

- Sumber : <http://rumusterbaru.blogspot.com/2011/10/rumus-fisika>.
- [9]. Anonymous, diunduh Agustus 2013, *Steam Boiler Sizing Guidelines, Lattner Boiler Company*,  
Sumber:[http://lattnerboiler.com/Lattner%20Boiler%20Sizing%20Guidelines%20\(Basic\).pdf](http://lattnerboiler.com/Lattner%20Boiler%20Sizing%20Guidelines%20(Basic).pdf).
- [10]. Anonymous, 2006, *Common Boiler Formula*, Johnston Boiler Company, Sumber :  
[http://www.steamcombustion.com/files/JBC\\_Common\\_Boiler\\_Formulas.pdf](http://www.steamcombustion.com/files/JBC_Common_Boiler_Formulas.pdf)
- [11]. Anonymous, diunduh Agustus 2013 *Hurst Performance Series Boilers, Series 200*,  
Hurst Boiler & Welding Company, Inc., Sumber : <http://www.hurstboiler.com>,  
diunduh Agustus 2013.
- [12]. Okta Wirawan, 1990, *Perencanaan Ketel Uap Untuk Pabrik Kimia Dengan Kapasitas 3,2 Ton/jam*, Universitas Diponegoro, Semarang.