

## ANALISIS RUGI TEKAN PADA KANAL REAKTOR DAYA SBWR MENGGUNAKAN HEM

Hery Adrial

### ABSTRAK

**ANALISIS RUGI TEKAN PADA KANAL REAKTOR DAYA SBWR MENGGUNAKAN HEM.** Analisis rugi tekan pada suatu kanal reaktor sangat diperlukan dalam pengoperasian suatu reaktor untuk mengetahui tingkat kehilangan tekanan pada suatu sistem reaktor. Pada penelitian ini digunakan reaktor daya SBWR dengan menggunakan model HEM. Dalam analisis yang dilakukan didapat hasil rugi tekan yang terbesar disebabkan karena faktor friksi sebesar 81,6 KPa sedangkan hasil rugi tekan yang disebabkan karena faktor gravitasi dan accelerasi masing-masing sebesar 12,3 KPa dan 10,72 KPa . Total rugi tekan yang terjadi sebesar 104,62 KPa .

### ABSTRACT

**PRESSURE DROPS ANALYSIS IN THE POWER REACTOR CANALS SBWR USING HEM.** Pressure drops analysis in the canal reactors will be need in operation reactor to get information drop pressure level at the reactor system. In the research we will use HEM model SBWR power reactor. In the analysis, we have obtained that the maximum drop pressure was 81,6 Kpa which cause by friction factor. The acceleration and gravitation factors were 12,3 Kpa and 10,72 Kpa, respectively. The total pressure drop was obtained 104,62 KPa.

### PENDAHULUAN

Dengan meningkatnya pertumbuhan pembangunan di Indonesia terutama sektor industri, maka kebutuhan akan energi listrik akan meningkat pesat pula. Untuk mengantisipasi melonjaknya kebutuhan listrik tersebut, maka pemerintah merencanakan untuk membangun instalasi Pusat Listrik Tenaga Nuklir.

Dalam rangka persiapan pembangunan instalasi PLTN tersebut, penguasaan teknologi reaktor nuklir mutlak sangat diperlukan untuk menjamin keandalan dan keselamatan dalam pengoperasian reaktor nuklir tersebut. Untuk mendukung hal tersebut diatas, maka peranan keahlian akan sumber daya manusia (SDM) sangatlah diperlukan. Salah satu cara untuk meningkatkan kualitas keahlian SDM

adalah dengan melakukan penelitian baik berupa analisis, kaji ulang, maupun studi kasus.

Dalam penelitian ini dilakukan analisis rugi tekan pada kanal reaktor daya SBWR menggunakan HEM. Penelitian terhadap reaktor daya SBWR dilakukan dengan anggapan bahwa reaktor jenis SBWR ini merupakan salah satu jenis reaktor pilihan yang mungkin akan dibangun oleh pemerintah, mengingat belum ditentukannya jenis reaktor yang akan digunakan.

Rugi tekan pada kanal reaktor sangat penting dianalisis karena dengan rugi tekan reaktor sangat berhubungan dengan keandalan dan keselamatan operasi suatu reaktor nuklir. Dalam menganalisis rugi tekan tersebut digunakan model HEM (Homogeneous Equilibrium Model) yang merupakan

model keseimbangan antara uap dan air. Model ini merupakan model yang cukup sederhana dalam pemecahan persoalan thermohidrolik.

**TEORI**

Simple Boiling Reactor (SBWR) merupakan pengembangan dari reactor daya jenis Boiling Water Reactor (BWR). Pada SBWR jet pump yang ada pada system kanal reaktor BWR dihilangkan dan sebagai usaha untuk mendinginkan aliran pada kanal reaktor dipakai chimney. Dalam suatu sistem aliran yang mendidih seperti dalam reaktor SBWR terdapat bermacam-macam faktor penyebab yang dapat menimbulkan rugi tekan atau penurunan tekanan pada kanal reaktor. Faktor penyebab rugi tekan antara lain adalah : Faktor gravitasi, faktor accelerasi dan faktor friksi.

Ketiga faktor inilah yang sangat berperan dalam rugi tekan yang dialami oleh kanal reaktor.

Untuk menganalisis rugi tekan pada kanal reaktor maupun masalah-masalah reaktor yang berhubungan dengan hidrolika reaktor umum dipakai persamaan kekekalan momentum. Secara umum persamaan kekekalan momentum untuk campuran 2 phase adalah :

$$\frac{\partial}{\partial t}(G_m A_z) + \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{G_m^2 A_z}{\rho_m} \right) =$$

$$- \frac{\partial}{\partial t}(P A_z) - \int_{P_z} \tau_w dP_z - \rho m g \cos \theta A_z$$

dimana :

- $G_m$  = Fluks massa aliran
- $P$  = Tekanan
- $A_z$  = Luas kanal aliran
- $\tau_w$  = Hambatan geser
- $\rho$  = Kerapatan aliran
- $m$  = Massa aliran

- $g$  = Percepatan gravitasi
- $\theta$  = Sudut aliran yang datang terhadap arah vertikal

untuk kondisi tunak :

$$\frac{\partial}{\partial t} = 0$$

sehingga persamaan momentum dapat diubah menjadi :

$$-\frac{dP}{dz} = \frac{d}{dz} \left( \frac{G_m^2}{\rho_m} \right) + \frac{1}{A_z} \int_{P_z} \tau_w dP_z + \rho m g \cos \theta$$

(2)

Persamaan momentum diatas merupakan ekspresi dari perubahan tekanan pada kanal reaktor dari komponen-komponen tekanan yang beasal dari accelerasi, friksi dan gravitasi, dimana :

$$\left( \frac{dP}{dz} \right)_{acc} = \frac{d}{dz} \left( \frac{G_m^2}{\rho_m} \right)$$

$$\left( \frac{dP}{dz} \right)_{frisk} = \frac{1}{A_z} \int_{P_z} \tau_w dP_z = \frac{\tau_w P_z}{A_z}$$

$$\left( \frac{dP}{dz} \right)_{grav} = \rho m g \cos \theta$$

Dengan demikian persamaan perubahan rugi tekanan di kanal reaktor secara total dapat disederhanakan menjadi :

$$\Delta P_{total} = \Delta P_{acc} + \Delta P_{grav} + \Delta P_{frisk} \quad (3)$$

Dalam suatu sistem yang mengalir seperti dalam campuran uap dan air yang mengalir ke atas diantara elemen-elemen bahan bakar dalam reaktor, maka akan terjadi pergeseran atau slip antara gelembung-gelembung dan cairan. Perbandingan slip (slip ratio atau S) didefinisikan sebagai perbandingan antara kecepatan uap dengan kecepatan cairan. Dalam menganalisis rugi tekan ini, dapat

digunakan model HEM. Pada model HEM kecepatan pada masing-masing phase baik pada phase uap maupun phase cair diasumsikan mempunyai kecepatan yang sama, sehingga akan menyebabkan slip ratio menjadi 1

$$S = 1$$

$$S = \frac{x \rho \{1-\alpha\}}{1-x \rho \{\alpha\}} \quad (4)$$

Sedangkan persamaan untuk fraksi void adalah :

$$\{\alpha\} = \frac{1}{1 + \frac{1-x \rho_s}{x \rho}}$$

dengan nilai slip rasio menjadi satu, maka persamaan fraksi void dapat diubah menjadi :

$$\{\alpha\} = \frac{1}{1 + \frac{1-x \rho_s}{x \rho}} \quad (5)$$

#### Rugi tekanan akibat accelerasi

Dalam reaktor SBWR fluida pendingin yang masuk kedalam kanal reaktor akan mengalami pemanasan sepanjang saluran bahan bakar, sehingga fluida pendingin tersebut mengalami pemuaihan dan perubahan percepatan sepanjang saluran tersebut. Dengan adanya perubahan percepatan maka akan menimbulkan rugi tekanan. Rugi tekanan ini dapat diperhitungkan dengan memperhatikan perubahan momentum fluida dari titik inlet sampai titik outlet saluran. Dengan demikian maka persamaan rugi tekanan akibat accelerasi dapat dijabarkan menjadi :

$$\Delta P_{acc} = \left( \frac{G_m^2}{\rho_m} \right)_{out} - \left( \frac{G_m^2}{\rho_m} \right)_{in}$$

dimana :

$$\frac{1}{\rho_m} = \frac{x^2}{\{\rho_v, \alpha\}} + \frac{(1-x)^2}{\{\rho_l(1-\alpha)\}}$$

sehingga rugi tekanan dapat diubah menjadi:

$$\Delta P_{acc} = \left\{ \left[ \frac{(1-x)^2}{(1-\alpha)\rho_f} + \frac{x^2}{\alpha\rho_g} \right]_{out} - \left( \frac{1}{\rho_l} \right)_{in} \right\} G_m^2 \quad \dots(6)$$

#### Rugi tekanan akibat friksi

Untuk mengetahui rugi tekanan akibat friksi perlu diketahui:

- Panjang saluran pemanas (L)
- Letak lokasi ketinggian terjadi pendidihan (z)

Sehingga persamaan rugi tekan akibat friksi pada persamaan (2), dengan melakukan integrasi sepanjang ketinggian z dapat dikembangkan menjadi persamaan (7)

dengan :

$$x_{ave} = \frac{x_{in} + x_{out}}{2}$$

$$x_{rise} = \frac{x_{out} - x_{in}}{2}$$

Parameter-parameter lain yang dibutuhkan untuk menganalisis rugi tekan pada kanal reaktor SBWR ini adalah: luas kanal aliran, bilangan reynold, diameter ekuivalen, faktor friksi.

$$A = P^2 - \frac{\pi}{4} D^2$$

$$D_e = \frac{4A}{\pi D}$$

$$R_e = \frac{G_m D_e}{\mu}$$

$$f_{lo} = \frac{0,184}{Re^{0,2}}$$

### Rugi tekan akibat gravitasi

Pada persamaan rugi tekan akibat gravitasi pada persamaan (2), dengan melakukan integrasi sepanjang ketinggian  $z$  dapat dikembangkan menjadi :

$$\Delta P_{grav} = \int_{z_{in}}^{z_B} \rho_l g dz + \int_{z_B}^{z_{out}} \rho_m g dz$$

sehingga integrasinya menjadi persamaan (8)

dimana:

$$x' = x_{ave} + \frac{\rho_g}{\rho_l} (1 - x_{ave})$$

$$x'' = \left( 1 - \frac{\rho_g}{\rho_l} \right) x_{rise}$$

### Asumsi

Asumsi yang dipakai dalam perhitungan :

- Kondisi tunak
- Panjang bahan bakar panas = panjang aktif pin bahan bakar

### HASIL

Dalam melakukan analisis perhitungan rugi tekan pada kanal reaktor SBWR, digunakan data-data dibawah ini :

- Output thermal : 3580 Mwt
- Inlet temperatur : 275 °C
- Temperatur saturasi : 288 °C
- Tekanan : 7,55 Mpa

- Kualitas keluaran (x) : 14,6 %
- Parameter array : 8 x 8
- Pitch (p) : 16,2 mm
- Diameter pin bahan bakar (d) : 17 mm
- Kecepatan alir massa pada kanal (Ge) : 1700 kg/m<sup>2</sup>s
- Panjang total pin bahan bakar : 4,1 m
- Panjang aktif pin bahan bakar (L) : 3,81 m

Dengan mensubstitusikan data-data yang digunakan dan menghitung harga-harga parameter yang dibutuhkan ke persamaan-persamaan ( 6 ), ( 7 ), ( 8 ), maka rugi tekan akibat friksi, accelerasi dan gravitasi serta rugi tekan total pada kanal reaktor dapat dihitung .

### HASIL YANG DIPEROLEH ADALAH :

- ΔP<sub>friksi</sub> = 81,6 KPa
- ΔP<sub>grav</sub> = 12,3 KPa
- ΔP<sub>acc</sub> = 10,72 KPa
- ΔP<sub>total</sub> = 104,62 KPa.

Berdasarkan hasil perhitungan maka rugi tekan yang terbesar didapat akibat pengaruh komponen friksi yang terjadi pada aliran sistem pendingin, keadaan ini disebabkan banyaknya hambatan yang dilalui aliran sepanjang kanal. Hambatan-hambatan sepanjang kanal reaktor dapat berupa kekasaran pipa kanal maupun adanya pendidihan yang terjadi di sepanjang saluran bahan bakar akibat pemanasan, sedangkan rugi tekan akibat pengaruh dari gravitasi dan accelerasi, hanya mempunyai pengaruh kecil terhadap rugi tekan total yang terjadi pada sistem pendingin secara keseluruhan.

Secara keseluruhan rugi tekan total yang terjadi (~0,105 MPa) sangat kecil dibandingkan dengan tekanan yang dipakai pada reaktor SBWR (7,55 Mpa).

Dengan demikian dari hasil perhitungan rugi tekan tersebut dapat disimpulkan reaktor dapat dioperasikan dengan aman.

#### KESIMPULAN :

Berdasarkan hasil perhitungan maka rugi tekan yang terbesar didapat

akibat pengaruh komponen friksi yang terjadi pada aliran sistem pendingin, sedangkan rugi tekan akibat pengaruh dari gravitasi dan acceleras, hanya mempunyai pengaruh kecil terhadap rugi tekan total yang terjadi pada sistem pendingin secara keseluruhan.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. IAEA, "Design and Development Status of Small and Medium Reactor System 1995", Austrian, 1996.
2. L.S. TONG, "Principles of Design Improvement For Light Water Reactors", Hemisphere Publishing Corporation, USA, 1988.
3. NEIL E. TODREAS, "Nuclear Systems I, Thermal Hydraulic Fundamentals", Hemisphere Publishing Corporation, New York, 1990
4. PRAYOTO, "Pengantar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir", Badan Tenaga Atom Nasional, Jakarta, 1978.

#### DISKUSI :

##### Pertanyaan : (Tukiran)

1. Rugi tekan 7,55 Mpa aman, Jadi berapa tekanan yang aman?
2. Apakah reaktor SBWR sudah ada yang beroperasi ?

##### Jawaban: (H. Adrial)

1. 7,55 Mpa bukan merupakan rugi tekan, tetapi tekanan operasional reaktor. Rugi tekan total yang didapat adalah 104,62 Kpa . Rugi tekan ini dianggap aman karena nilainya sangat kecil dibandingkan tekanan operasional (~1% dari tekanan operasional).
2. Reaktor SBWR belum ada yang beroperasi, tetapi desain operasionalnya telah dilaporkan IAEA dalam "Design and Development Status of Small and Medium Reactor System 1995".

##### Pertanyaan : ( Darwis )

1. Apa pengaruh jika rugi tekan semakin besar atau makin kecil ?

##### Jawaban : (H. Adrial)

Pengaruh rugi tekan semakin besar dan kecil salah satunya adalah dalam perencanaan pompa yang akan dioperasikan pada reaktor.

##### Pertanyaan : (Jupiter S Pane)

1. Bagaimana validasi hasil perhitungan ?

2. Apakah penyimpulan reaktor dapat beroperasi aman cukup relevan diambil dari kecilnya rugi tekan

Jawaban : (H.Adrial)

1. Perhitungan ini belum divalidasi.
2. Cukup relevan karena dalam penelitian ini hanya difokuskan pada aspek rugi tekan.

LAMPIRAN :

$$\Delta P_{frik} = f_{lo} \frac{G_m^2}{2D_e \rho_f} \left\{ L + \left( \frac{\rho_f}{\rho_g} - 1 \right) \left[ x_{ave} (Z_{out} - Z_B) + x_{rise} \frac{L}{\pi} \left( \cos \frac{\pi Z_B}{L} - \cos \frac{\pi Z_{out}}{L} \right) \right] \right\} \dots\dots\dots(7)$$

$$\Delta P_{grav} = \rho_f g L - (\rho_f - \rho_g) g \left\{ \frac{x_{rise} (Z_{out} - Z_B)}{x''} + \left( x_{ave} - \frac{x_{rise} x'}{x''} \right) \frac{L}{\pi} \frac{1}{(x' - x'^2)^{1/2}} \left[ \tan^{-1} \frac{x' \tan \frac{\pi Z_{out}}{2L} + x''}{(x'^2 - x'^2)^{1/2}} - \tan^{-1} \frac{x' \tan \frac{\pi Z_B}{2L} + x''}{(x'^2 - x'^2)^{1/2}} \right] \right\} \dots\dots\dots(8)$$