

## ANALISIS TERMAL HIDROLIK REAKTOR SPINNOR PADA KASUS KECELAKAAN AKIBAT HILANGNYA DAYA POMPA PENDINGIN

Ade Gaffar Abdullah<sup>1,2</sup>, Zaki Su'ud<sup>2</sup>, Mohamad Ali Shafii<sup>2,3</sup>, Menik Ariani<sup>2,4</sup>

<sup>1</sup>KBK Komputasi Sistem Tenaga Listrik, Program Studi Pendidikan Teknik Elektro FPTK UPI, Jl. Dr. Setiabudhi 207 Bandung 40152

<sup>2</sup>Kelompok Riset Fisika Nuklir dan Biofisik FMIPA ITB, Jl. Ganesha 10 Bandung

<sup>3</sup>Jurusan Fisika FMIPA Universitas Andalas, Kampus Limau Manis, Padang, Sumatera Barat <sup>4</sup>Jurusan

<sup>4</sup>Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya, Kampus Indralaya, Ogan Ilir, Sumatera Selatan

e-mail: [ade\\_gaffar@upi.edu](mailto:ade_gaffar@upi.edu)

### ABSTRAK

Makalah ini mendiskusikan hasil investigasi melalui simulasi kecelakaan jenis *ULOF* (*unprotected loss of flow*) dari reaktor SPINNOR (*small Pb-Bi Cooled non-refuelling nuclear reactors*) yang memiliki daya 300 MWth, berbahan bakar MOX ( $UO_2$ - $PUO_2$ ) dan berpendingin Pb-Bi. Selama analisis dilakukan perhitungan persamaan difusi yang dikombinasikan dengan perhitungan termal hidrolik pada keadaan transien. Reaktor SPINNOR merupakan reaktor cepat tipe tank berpendingin Pb-Bi dan dalam bejana reaktor terdapat generator uap. Simulasi dimulai pada keadaan tunak meliputi perhitungan fluks neutron, distribusi daya, temperatur inti reaktor, temperatur hot pool dan cool pool, serta perhitungan temperatur di generator uap. Simulasi kecelakaan diawali hilangnya daya pompa. Hasil simulasi menunjukkan bahwa reaktor SPINNOR memiliki kemampuan keselamatan inheren terhadap kecelakaan ini.

**Kata Kunci** : termal hidrolik, reaktor SPINNOR, kecelakaan ULOF .

### ABSTRACT

*In This study the result of investigation through simulation of unprotected loss of flow accident for 300 MWth MOX fuelled small Pb-Bi Cooled non-refuelling nuclear reactors (SPINNOR) are discussed. During the analysis the two dimensional diffusion calculation combined with transient thermal hydraulic analysis has been employed. The reactor is tank type Pb-Bi cooled fast reactors with steam generator included inside reactor vessel. The simulation begin with steady state calculation of neutron flux, power distribution and temperature distribution accros the core, hot and cool pool, and also steam generator. Then the accident started by the loss of pumping power. The results show that the SPINNOR reactor has inherent safety capability against this accident.*

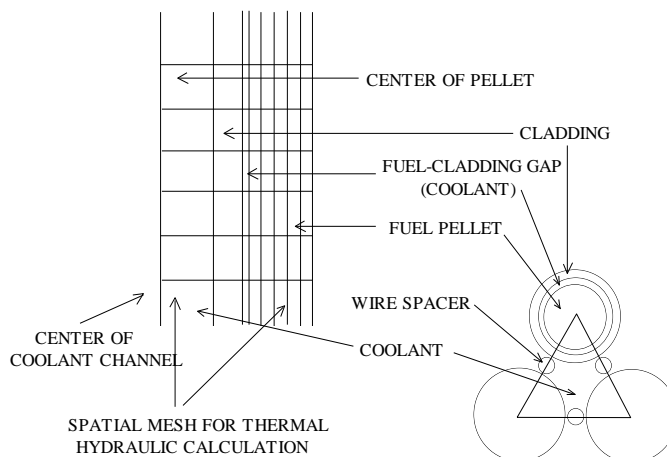
**Keyword** : Thermal Hydrolic, SPINNOR reactor, ULOF accident

## I. PENDAHULUAN

Reaktor SPINNOR (Small Power Reactor, Indonesia, No On-Site Refuelling) adalah konsep reaktor nuklir berukuran kecil dengan spektrum neutron cepat yang dapat dioperasikan lebih dari 15 tahun tanpa mengganti bahan bakar. Reaktor ini memiliki konsep reaktor berumur panjang dan berdaya rendah, dikembangkan di Indonesia sejak tahun 1990 berkolaborasi dengan Research Laboratory for Nuclear Reactors of The Tokyo Institute of Technology. Reaktor ini sangat cocok ditempatkan di daerah yang terisolasi dan pulau-pulau kecil. Karakteristiknya mudah dioperasikan, mudah dalam pemeliharaan, transportability, memenuhi keselamatan inheren/passive dan resistan terhadap proliferasi nuklir. Makalah ini mendiskusikan hasil simulasi jika reaktor tersebut mengalami kecelakaan akibat hilang daya pada pompa pendingin. Fokus analisis lebih mengarah pada aspek termal hidrolik yaitu menginvestigasi perilaku suhu inti reaktor, bahan bakar dan generator uap sesaat setelah kecelakaan terjadi.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Perhitungan termal-hidrolik meliputi perhitungan distribusi temperatur di seluruh bagian reaktor yaitu di teras dan di generator uap (*steam generator*, SG) baik temperatur bahan bakar, temperatur bahan pendingin maupun temperatur *cladding* dan gap, begitu juga tekanan di dalam reaktor dan semua aspek sirkulasi pendingin di dalam reaktor.



**Gambar 1.** Model Perhitungan Termal Hidrolik

Gambar 1, memperlihatkan model perhitungan termal hidrolik. Reaktor dibagi menjadi cincin konsentris, dimana arus-silang antara dua cincin yang berdekatan diasumsikan nol. Terdapat 6 persamaan yang digunakan untuk analisis termal hidrolik : Persamaan (1), (2) dan (3) merupakan persamaan keseimbangan massa, persamaan keseimbangan energi dan persamaan keseimbangan momentum. Sedangkan persamaan (4) dan (5) merupakan persamaan keseimbangan energi di region bahan bakar dan di non-region bahan bakar. Persamaan (6) merupakan bentuk simpel dari persamaan kinetika reaktor :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{\partial G}{\partial z} \quad (1)$$

$$\rho_c C_{\rho c} \frac{\partial T_c}{\partial t} = Q_e + \frac{\partial}{\partial Z} \left( k_c \frac{\partial T_c}{\partial Z} \right) - C_{\rho c} G \frac{\partial T_c}{\partial Z} \quad (2)$$

$$\frac{\partial G}{\partial t} + \frac{\partial G^2}{\partial t \rho c} = - \frac{\partial P}{\partial t} - \frac{G^2}{2D_e \rho c} f - \rho c g \quad (3)$$

$$\rho_f C_{\rho f} \frac{\partial T_f}{\partial t} = Q_f + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r k_f \frac{\partial T_f}{\partial r} \right) \quad (4)$$

$$\rho_n C_{\rho n} \frac{\partial T_n}{\partial t} = Q_n + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r k_n \frac{\partial T_n}{\partial r} \right) \quad (5)$$

$$\frac{dp}{dt} = \frac{\rho - \beta_{eff}}{\Lambda} p + \sum_i \lambda_i C_i$$

$$\frac{dC_i}{dt} = -\lambda_i C_i + \frac{\beta_i}{\Lambda} p \quad (6)$$

$$\rho = \rho_{ex} + (\alpha_{RD} + \alpha_{co}) [T_{co}(t) - T_{co}^o] + (\alpha_D + \alpha_{FAX}) [T_{Fu}(t) - T_{Fu}^o]$$

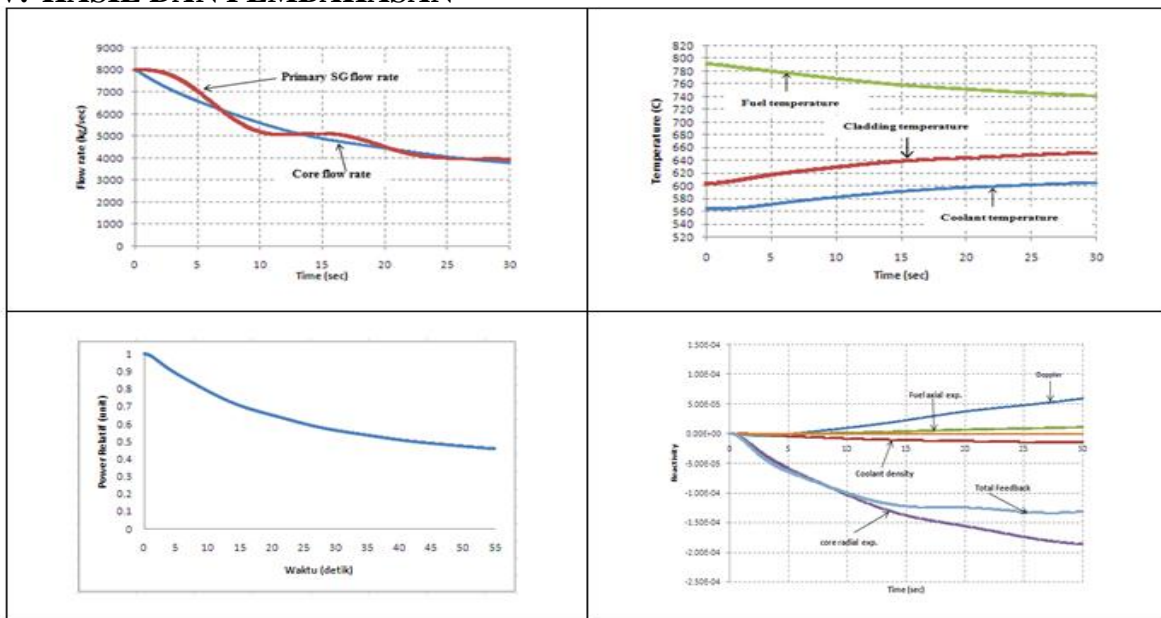
Dengan menggunakan pendekatan kuasistatik, kondisi keseimbangan baru diperoleh dari persamaan :

$$\begin{aligned}
 \rho &= 0 = \rho_{ex} + (\alpha_D + \alpha_{FAX})[T_{co}(t) - T_{co}^o] + (\alpha_D + \alpha_{FAX})[T_{Fu}(t) - T_{Fu}^o] \\
 0 &= (\alpha_D + \alpha_{FAX} + \alpha_{RD} + \alpha_{co})[T_{co}(t) - T_{co}^o] + (\alpha_D + \alpha_{FAX})[\Delta T_{Fu,co}(t) - \Delta T_{Fu,co}^o] \\
 0 &= (\alpha_D + \alpha_{FAX} + \alpha_{RD} + \alpha_{co})\left[\frac{p}{f} - 1\right] \frac{P_o A_{pin} H}{2F_o C_p} + (\alpha_D + \alpha_{FAX})[p - 1] \frac{P_o A_{pin}}{2\pi k_{Fu} B} \\
 p &[(\alpha_D + \alpha_{FAX} + \alpha_{RD} + \alpha_{co}) \frac{P_o A_{pin} H}{2f F_o C_p} + (\alpha_D + \alpha_{FAX}) \frac{P_o A_{pin}}{2\pi k_{Fu} B}] = \\
 &(\alpha_D + \alpha_{FAX} + \alpha_{RD} + \alpha_{co}) \frac{P_o A_{pin} H}{2F_o C_p} + (\alpha_{RD} + \alpha_{FAX}) \frac{P_o A_{pin}}{2\pi k_{Fu} B} \\
 p &= \frac{(\alpha_D + \alpha_{FAX} + \alpha_{RD} + \alpha_{co}) \frac{P_o A_{pin} H}{2F_o C_p} + (\alpha_D + \alpha_{FAX}) \frac{P_o A_{pin}}{2\pi k_{Fu} B}}{(\alpha_D + \alpha_{FAX} + \alpha_{RD} + \alpha_{co}) \frac{P_o A_{pin} H}{2f F_o C_p} + (\alpha_D + \alpha_{FAX}) \frac{P_o A_{pin}}{2\pi k_{Fu} B}} \quad (7)
 \end{aligned}$$

### III. METODOLOGI

Perhitungan dimulai dengan membaca data input. Setelah itu dilakukan perhitungan persamaan difusi multigrup dan termal-hidraulik pada keadaan steady state. Simulasi kecelakaan dimulai dengan hilangnya daya pompa pada sistem primer. Setelah itu dilakukan perhitungan laju alir total pendingin dan distribusi aliran yang melewati teras reaktor yang diikuti dengan perhitungan distribusi temperatur pendingin dan bahan bakar. Berikutnya dilakukan perhitungan keseimbangan energi dan massa di hot pool, perhitungan di steam generator dan perhitungan keseimbangan energi dan massa di cool pool. Berikutnya dilakukan perhitungan kinetika reaktor dengan menghitung perubahan reaktivitas umpan balik (*Doppler, coolant density, core radial expansion and fuels axial expansion reactivity feedbacks*). Perhitungan secara iteratif dilanjutkan dengan kembali ke perhitungan total laju alir pendingin dan distribusi mengalir di inti hingga akhir waktu simulasi.

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 2. Hasil simulasi kecelakaan reaktor SPINNOR

Gambar 2 memperlihatkan hasil simulasi kecelakaan ULOF pada reaktor SPINNOR. Searah jarum jam berturut-turut gambar memperlihatkan profil aliran pendingin di steam generator, temperatur bahan bakar, cladding dan pendingin, power relatif dan reaktivitas umpan balik. Selama kecelakaan ULOF respon reaktor dengan kemampuan keselamatan inheren dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Akibat hilangnya daya pompa terjadi penurunan laju aliran, hal ini akan menyebabkan temperatur pendingin meningkat karena ketidakseimbangan antara level daya dan laju alir pendingin.
2. Kenaikan temperatur pendingin dan bahan bakar menyebabkan feedback negatif yang akan menurunkan level daya.
3. Penurunan daya menyebabkan turunnya temperatur bahan bakar dikarenakan umpan balik positif.
4. Sistem akan mencapai keseimbangan baru (*new equilibrium*) jika nilai absolut dari umpan balik reaktivitas negatif akibat kenaikan suhu pendingin sama dengan umpan balik reaktivitas positif karena penurunan suhu bahan bakar.
5. Temperatur akhir tergantung dari koefisien reaktivitas umpan balik dan juga karakteristik termal terutama kapasitas panas pendingin dan konduktivitas termal bahan bakar.

## V. KESIMPULAN

1. Secara umum reaktor dapat bertahan dari kecelakaan ULOF.
2. Kontribusi komponen sirkulasi natural yang relatif tinggi merupakan faktor penting untuk bertahan dari kecelakaan ULOF.
3. Hasil analisis kecelakaan menunjukkan bahwa temperatur maksimum bahan bakar, cladding dan pendingin memiliki margin yang sangat besar dengan batas titik lelehnya.

## VI. DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah,A.G.** dan Su'ud, Z., (2007), Development of Two Dimensional Accident Analysis Code for Multi PC Computation, *Proceeding of the International Conference. on Advances in Nuclear Science and Engineering 2007*, Bandung
- Abdullah,A.G.**, Su'ud, Z. dan Yulianti, Y., (2009), Simulasi Kecelakaan Reaktor Nuklir Jenis Gas Cooled Fast Reactor, *Proceeding SNEIE 2009*, Universitas Negeri Malang, Malang.
- Su'ud, Z, Taufiq, I., Yulianti, Y., **Abdullah,A.G.** dan Shafii, M.A., (2009) Development of Integrated Nuclear Analysis Code Stage I : Three Dimensional Multigroup Diffusion and Burnup Code, *Proceeding The 3<sup>rd</sup> Asian Physics Symposium (APS 2009)*, ITB Bandung.
- Abdullah,A.G.**, Su'ud, Z. dan Yulianti, Y., (2009), ULOF Accident Analysis for 300 MWth Pb-Bi Cooled MOX Fuelled SPINNOR Reactor, *Proceeding 2<sup>nd</sup> International Conference on Advances in Nuclear Science and Engineering 2009 (ICANSE 2009)*, ITB Bandung
- Su'ud, Z., Taufiq, I., Yulianti, Y., **Abdullah,A.G.**, dan Shafii, M.A., (2009), Computational Aspect in the Development of Conceptual Nuclear Analysis Code, *Proceeding International Conference on Computational Science*, Bali, Okt, 2009.

**Abdullah, A.G.** dan Su'ud, Z., (2010), Simulasi Analisis Keselamatan Reaktor Melalui Pendekatan Model Deterministik 2D pada Kecelakaan Jenis ULOF, *Proceeding Seminar Nasional Energi Baru dan Terbarukan*, Universitas Padjajaran, Bandung, November, 2010.

**Abdullah, A.G.**, Su'ud, Z., Kurniadi, R., Kurniasih, dan Yulianti, Y., (2010), Natural Circulation Level Optimization and the Effect during ULOF Accident in the 250 MWt Pb-Bi Cooled MOX-Fuelled SPINOR Reactor, *Proceeding The 4<sup>th</sup> Asian Physics Symposium (APS 2010)*, ITB, Bandung, Oktober, 2010.

Waltar A. E. and Reynolds A. B. Fast Breeder Reactor, *Pergamon Press*, 1981

Duderstadt J.J. and Hamilton L. J. Nuclear Reactor Analysis, *Joh Wiley and Sons*