

Studi Penentuan Titik Kritis Bejana Tekan Reaktor Pwr Terhadap Kombinasi Temperatur dan Tekanan

Prima Wijaya Kedoh, Nyoman Budiarsa, I. D. G. Ary Subagia

Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Bukit Jimbaran, Badung (80362), Bali-Indonesia

Abstrak

Bejana tekan reaktor merupakan struktur paling kritis karena berfungsi sebagai tempat terjadinya reaksi nuklir dan penahan material radioaktif [1]. Seiring berlangsungnya reaksi nuklir, temperatur dan tekanan juga meningkat. Permasalahan yang muncul adalah berapa besar pengaruh temperatur dan tekanan yang diterima dinding bejana tekan reaktor. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui titik kritis bejana tekan reaktor akibat kombinasi beban temperatur dan tekanan. Penelitian menggunakan metode simulasi pada perangkat lunak MSC NASTRAN. Proses pengujian mencakup tiga tahapan: pre-processing, solver dan post-processing. Kondisi uji pada simulasi dibagi menjadi tiga: kondisi desain pada temperatur 343,33°C dan tekanan 17,1 MPa, kondisi operasi pada temperatur 288°C dan tekanan 15,51 MPa dan kondisi uji hidrostatik pada temperatur 48°C dan tekanan 21,37 MPa. Material penyusun adalah baja feritik SA533B-1. Hasil penelitian Titik kritis pada tiap kondisi uji akibat kombinasi beban temperatur dan tekanan terdapat pada daerah sekitar nozzle inlet dan outlet. Nilai tegangan Von mises (σ) pada kondisi desain 409 MPa, pada kondisi operasi 371 MPa, dan pada kondisi hidrostatik adalah 516 MPa.

Kata kunci: bejana tekan, reaktor pwr, von mises, msc nastran

Abstract

Reactor pressure vessel is the most critical structure due to its function as nuclear reaction and radioactive material's barrier. While nuclear reaction, temperature and pressure were increased. The problem, how much effect is caused by temperature and pressure to reactor pressure vessel walls. This paper analyzes characteristic and critical point due to combination temperature and pressure. Analyze used simulation method on MSC Nastran software. Analyze divided in three condition: design condition at temperature 343.33°C and pressure at 17.1MPa, operate condition at temperature 288°C and pressure at 15.51MPa and hydrostatic test condition at temperature 48°C and pressure at 21.37MPa. Critical point result on nozzle inlet and outlet area with highest Von mises value due to temperature and pressure combination at design condition is 409MPa, at operate condition is 371MPa and at hydrostatic test condition is 516MPa.

Keywords: pressure vessel, reactor pwr, von mises, msc nastran.

1. Pendahuluan

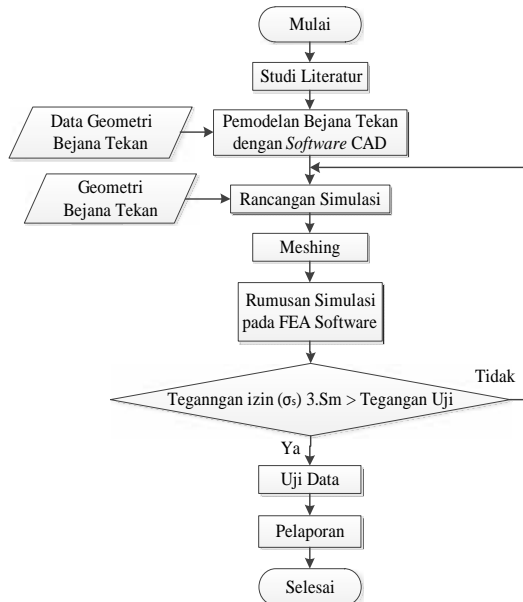
Reaktor nuklir merupakan salah satu teknologi maju yang dimanfaatkan sebagai sumber pembangkit energi listrik sejak dua dekade terakhir. Permasalahan paling utama dalam aplikasi reaktor nuklir sebagai pembangkit listrik adalah keselamatan. Hal ini disebabkan karena bejana tekan (*pressure vessel*) berfungsi sebagai penahan material radioaktif selama terjadinya reaksi nuklir [1]. Beberapa fenomena yang dialami suatu bejana tekan pada masa operasi adalah, adanya tegangan yang muncul pada dinding bejana akibat tekanan operasi dan peningkatan suhu akibat reaksi fisi. Kondisi ini akan sangat berbahaya apabila telah melewati batas yang diizinkan. Beberapa penelitian yang telah dilakukan terkait dengan keamanan keselamatan reaktor adalah seperti yang dilakukan oleh Roziq H. mengalisis integritas bejana tekan reaktor PWR dan VVER, Bandriyana dan Kasmudin mendesain tangki reaktor temperatur tinggi menggunakan software Ansys.

Dalam berbagai publikasi tersebut masih kurang dilakukan pengujian terhadap titik kritis dan karakteristik bejana tekan reaktor akibat beban temperatur dan tekanan dengan rambatan ke segala arah. Untuk mewujudkan penelitian ini, metode simulasi menggunakan perangkat lunak dilakukan. Tujuan penelitian adalah menginvestigasi titik kritis dinding bejana tekan reaktor tipe PWR kelas 1000 MWe yang diperlakukan terhadap kombinasi temperatur dan tekanan.

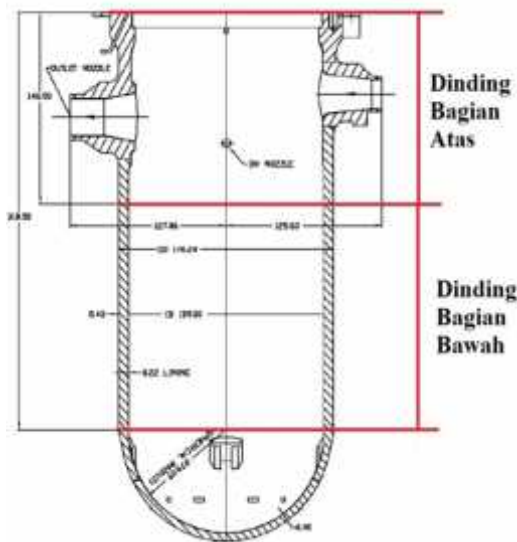
2. Eksperimen dan Set-up Simulasi

2.1 Eksperimen proses dan Geometri Bejana Tekan Reaktor

Proses analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak MSC Nastran 2012 dengan tampilan *pre/post* proses menggunakan perangkat lunak Patran 2012. Gambar diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Proses simulasi



Gambar 2. Geometri bejana tekan reaktor PWR 1000 MWe

Desain geometri sesuai dengan parameter desain bejana tekan reaktor PWR 1000 MWe. Model geometri untuk simulasi difokuskan pada dinding bejana tekan reaktor bagian atas, di mana terdapat *nozzle* dan tumpuan bejana, ditunjukkan pada gambar 2 [2]. Untuk material penyusun bejana tekan reaktor digunakan baja feritik SA533B-1 data ditampilkan pada tabel 1 [3][4].

Tabel 1. Properties material SA533B-1

Properties Material	Nilai
Young's Modulus (MPa)	183000
Poisson Ratio	0,3
Yield Tensile Strength (MPa)	345
Ultimate Tensile Strength (MPa)	690
Specific Heat (J/g-°C)	0,470
Thermal expansion coefficient (1/C*10 ⁻⁶)	15,1
Thermal Conductivity (W/m-°C)	38,7

model tiga dimensi bejana tekan reaktor ditunjukkan seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Model geometri tiga dimensi

2.2 Validasi

Dalam upaya untuk mengetahui karakteristik, sampel dilakukan pengujian yaitu dengan kondisi desain, kondisi operasi dan kondisi *hydrostatic testing*, di mana kondisi simulasi adalah *steadystate*. Keadaan temperatur dan tekanan yang bekerja pada masing-masing kondisi ditunjukkan pada tabel 2 [5].

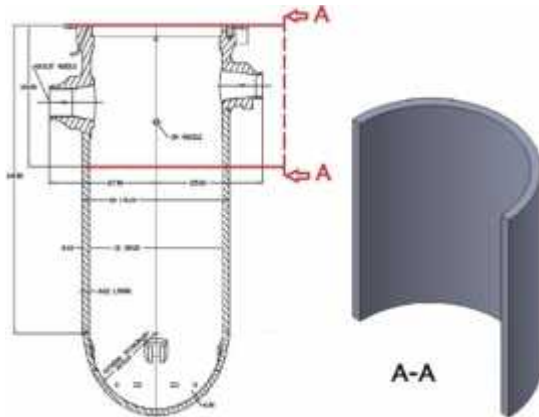
Tabel 2. Kondisi uji

No.	Kondisi Simulasi	Temperatur (°C)	Tekanan internal (MPa)
1	Desain	343.33	17.1
2	Operasi	288	15.51
3	Hydrostatic Testing	48.89	21.37

2.3 Set-Up dan Validasi Model

Validasi model dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dengan perhitungan analitik. Bejana tekan reaktor yang dimodelkan untuk validasi model adalah dinding atas setengah bagian tanpa *nozzle* seperti pada gambar 4, agar lebih sederhana dan sesuai dengan rumus perhitungan analitik. Diskritisasi yang diterapkan pada model geometri adalah *tetmesh*. Validasi model

simulasi dilakukan dua tahap, terhadap beban tekanan dan beban temperatur.



Gambar 4. Potongan aksisimetri model validasi.

Persamaan analitik yang digunakan dalam validasi model mengikuti persamaan seperti [6] [7] [8]. Adapun persamaan tersebut adalah:

$$\sigma_h = \frac{P_i D_i}{2t} \quad (1)$$

$$l = \frac{P_i D_i}{4t} \quad (2)$$

$$\sigma_r = -P_i \quad (3)$$

$$\sigma' = \frac{\sqrt{2}}{2} [(\sigma_l - \sigma_h)^2 + (\sigma_l - \sigma_r)^2 + (\sigma_l - \sigma_r)^2]^{1/2} \quad (4)$$

$$\sigma_{th} = \pm \alpha \cdot E \cdot (\Delta T) \quad (5)$$

$$e = \left| \frac{\sigma_{analitik} - \sigma_{simulasi}}{\sigma_{analitik}} \right| \times 100\% \quad (6)$$

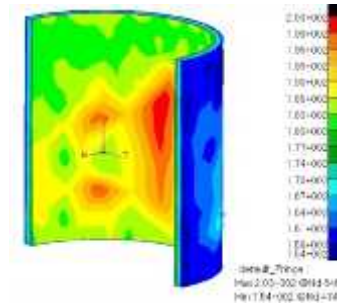
Dimana:

- σ_h = Tegangan hoop (MPa)
- σ_l = Tegangan longitudinal (MPa)
- σ_r = Tegangan radial (MPa)
- σ' = Tegangan von mises (MPa)
- σ_{th} = Tegangan thermal (MPa)
- e = Error (%)

3. Validasi Model Uji

3.1 Validasi Model Terhadap Beban Tekanan

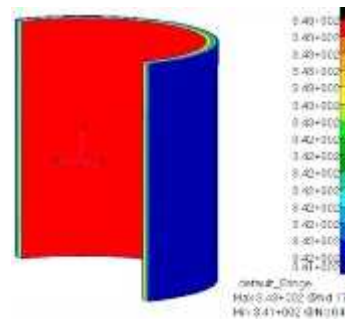
Simulasi dilakukan dengan kondisi beban tekanan internal sebesar 17,1 MPa yang merupakan tekanan desain. Hasil simulasi tegangan *Von mises* (') dari hasil analisis struktural terhadap tekanan internal adalah 203 MPa dapat dilihat pada gambar 5. Sementara, secara analitik tegangan *Von mises* (') yang diperoleh adalah 220 MPa. dari perbandingan hasil simulasi dan analitik didapat presentase error adalah 7,72%.



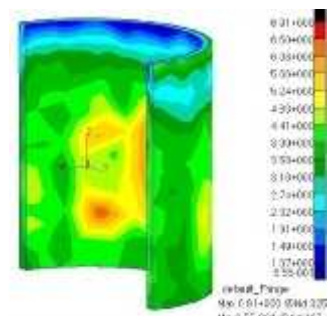
Gambar 5. Distribusi tegangan Von mises (')

3.2 Validasi Model Terhadap Beban Temperatur

Beban temperatur diterapkan dalam simulasi adalah 343,33°C pada permukaan dinding bagian dalam dan konveksi udara bebas 30°C pada permukaan dinding luar. Data distribusi temperatur diambil dari hasil simulasi pada gambar 6. Hasil simulasi tegangan Von mises (') akibat beban temperatur pada MSC Nastran dapat dilihat pada gambar 7, dengan nilai sebesar 6,91 MPa dan hasil analitik sebesar 6,438 MPa. Berdasarkan perbandingan hasil data analitik dan simulasi, maka kalkulasi persentase error adalah 7,32%.



Gambar 6. Distribusi temperatur.



Gambar 7. Tegangan von mises (') akibat beban temperatur.

3.3 Evaluasi Tegangan Hasil Simulasi Terhadap Tegangan Izin (s)

Hasil simulasi yang diperoleh dari perangkat lunak MSC Nastran harus memenuhi syarat tegangan Von

mises(σ) > tegangan izin (σ_s). Berdasarkan presyaratan pada standar ASME III, maka didapatkan persamaan (1)

$$\sigma_s = 3 \times S_m = 3 \times 230 \text{ MPa} = 690 \text{ MPa} \quad (7)$$

σ_s = Tegangan izin (MPa)

4. Hasil dan Pembahasan

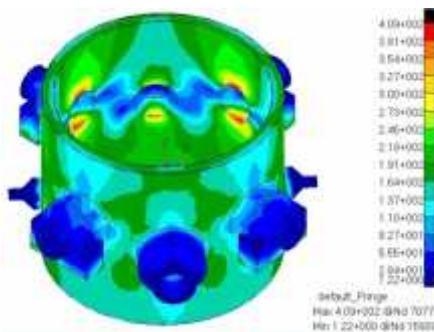
Karakteristik dan titik kritis bejana tekan reaktor pada dinding bejana tekan bagian atas yang terdapat *nozzle inlet*, *nozzle outlet* dan *nozzledirect vessel injection* (DVI), di mana kondisi bejana tekan reaktor dibagi menjadi tiga kondisi, yaitu pada kondisi desain, kondisi operasi normal dan pada kondisi pengujian hidrostatis. Data hasil simulasi akibat kombinasi temperatur dan tekanan ditampilkan pada tabel 4.

Tabel 4 Hasil simulasi.

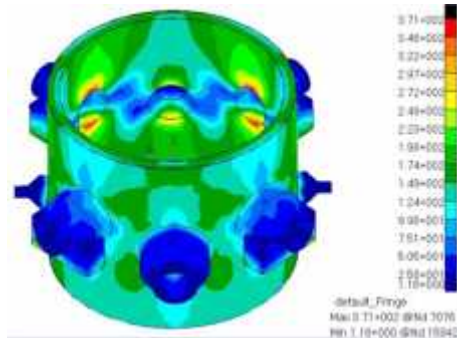
No.	Beban Panas (°C)	Beban Tekanan internal (MPa)	Max Von mises (σ_{th+pi}) Kombinasi (MPa)
1	343.33	17.1	409
2	288	15.51	371
3	48.89	21.37	516

4.1 Hasil Simulasi Kombinasi Beban Temperatur dan Tekanan Internal

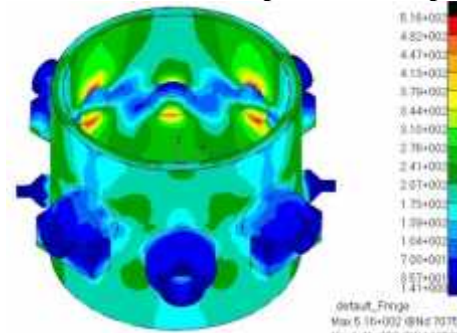
Bejana tekan reaktor pada keadaan nyata menerima beban kombinasi temperatur dan juga tekanan. Tegangan Von mises (σ) tertinggi diketahui terdapat pada daerah sekitar lubang *nozzle inlet* dan *nozzle outlet* yang ditandai dengan degradasi warna merah. Pada gambar 8, 9 dan 10 menunjukkan nilai maksimum tegangan Von mises (σ).



Gambar 8. Hasil simulasi pada kondisi desain



Gambar 9. Hasil simulasi pada kondisi operasi



Gambar 10. Hasil simulasi pada kondisi uji hidrostatis

4.2 Evaluasi Tegangan Hasil Simulasi Terhadap Tegangan Izin (σ_s)

Standar desain dan operasi bejana tekan reaktor PWR 1000 MWe diacu berdasarkan standar dan code desain fabrikasi ASME III, di mana nilai *stress intensity value* (S_m) adalah $2/3$ *yield strength* dengan batas tegangan dan potensi kerusakan adalah $3.S_m$, maka diperoleh tegangan izin (σ_s) 690 MPa. Proses analitik dapat dilihat pada persamaan (8) dan (9).

$$\text{Stress Intensity Value } (S_m) \\ \frac{2}{3} \times 345 \text{ MPa} = 230 \text{ MPa} \quad (8)$$

$$\text{Batas Tegangan } (\sigma_s) \\ 3 \times 230 \text{ MPa} = 690 \text{ MPa} \quad (9)$$

Tegangan akibat beban kombinasi temperatur dan tekanan internal akan mengakibatkan kerusakan bejana tekan reaktor PWR 1000 MWe apabila nilai tegangan Von mises (σ) lebih besar 690 MPa. berdasarkan hasil simulasi yang ditampilkan pada tabel 1 dapat dilihat bahwa tegangan *Von mises* (σ) pada tiap kondisi pembebanan dan kondisi simulasi masih berada dibawah nilai tegangan izin (σ_s), sehingga bejana tekan reaktor dianggap layak dioperasikan.

5. Kesimpulan

- Karakteristik bejana tekan reaktor pada kondisi desain, operasi dan uji hidrostatis terhadap

kombinasi beban temperatur dan tekanan pada kondisi desain dan kondisi operasi menghasilkan tegangan Von mises (σ) 409 MPa, 371 MPa dan 516 MPa. Tegangan Von mises (σ) hasil simulasi pada tiap kondisi uji lebih kecil dari tegangan izin (σ_s) 690 MPa, sehingga bejana tekan reaktor masih diizinkan beroperasi. Bejana Tekan reaktor PWR tipe 1000 MWe dapat dioperasikan sampai pada batas desain yaitu pada temperatur 343 °C dan tekanan 17,1 MPa yang menghasilkan efek tegangan Von mises (σ) sebesar 409 MPa, di mana persentase perbandingan tegangan Von mises (σ) terhadap tegangan izin (σ_s) adalah 59,27%.

- Titik kritis yang diperoleh dari hasil simulasi akibat kombinasi beban temperatur dan tekanan menghasilkan titik kritis pada daerah sekitar nozzle inlet dan outlet.

Daftar Pustaka

- [1] Sri Nitiswati, S. Renaningsih, 2000. Identifikasi metoda uji bejana tekan reaktor air bertekanan untuk menunjang keselamatan reaktor nuklir. Prosiding Presentasi Ilmiah Teknologi Keselamatan Nuklir V: Serpong.
- [2] A. Siti, M. P. Mairing, 2012. Desain Konseptual Bejana Tekan dan Sistem Pendingin Reaktor PWR Kelas 1000 MWe. Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Energi Nuklir V: Serpong.
- [3] _____, 1990. Properties and selection: Iron steels and high performance alloys. *ASM International*.
- [4] Usman Tariq, M. Javed Hyder, 2014. The effects of thermal stresses on the elliptical surface cracks in PWR reactor pressure vessel. Elsevier: Islamabad.
- [5] _____, 1999. Assessment and management of ageing of major nuclear power plant components important to safety. IAEA: Vienna.
- [6] Clemens Kaminski, 2005. Stress analysis and pressure vessels. University of Cambridge.
- [7] Sachindranarayan Bhaduri, 2005. Pressure Cylinders. University of Texas: El Paso
- [8] E.J. Hearn, 1997. Mechanics of materials. University of Warwick: United Kingdom.