

PENGARUH GEMPA PATAHAN LEMBANG TERHADAP FLEKSIBILITAS PIPA DAN KEGAGALAN NOZEL PERALATAN SISTEM PENDINGIN PRIMER REAKTOR TRIGA 2000 BANDUNG

H. P. Rahardjo

PTNBR BATAN, Jl. Tamansari 71 Bandung

e-mail : henkypr@yahoo.com

Abstrak

Gempa bumi di suatu instalasi nuklir dapat menyebabkan terjadinya kerusakan sistem peralatan karena adanya perubahan fleksibilitas pipa akibat beban berlebih pada sistem perpipaannya. Beban dari sistem perpipaan dapat membebani nozel peralatan seperti pompa, penukar panas, dll. Apabila beban tersebut terlalu besar dan melebihi beban yang diizinkan akan mengakibatkan kegagalan nozel peralatan. Penelitian ini menganalisis besarnya beban-beban yang terjadi di semua nozel sistem pendingin primer Reaktor TRIGA 2000 Bandung. Analisis dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Caesar II yang berbasis metode elemen hingga (*finite element method*). Acuan analisis yang digunakan adalah code ASME B31.1 yang mengatur tentang perancangan sistem perpipaan untuk sistem pembangkit daya (*Power Piping*). Hasil analisis menunjukkan bahwa gaya yang terjadi pada nozel masukan pompa arah aksial (F_z) melebihi batas yang diizinkan. Oleh karena itu perlu dilakukan modifikasi terhadap jalur perpipaan sistem pendingin tersebut agar nozel tidak menerima gaya yang berlebih. Penyangga pipa titik (node) 22 di jalur PriOut dilepas dan/atau dipindahkan pada nozel masukan pompa. Perpipaan sistem pendingin primer reaktor TRIGA 2000 Bandung akan aman beroperasi jika terjadi gempa yang berasal dari patahan Lembang

Kata kunci : gempa bumi, patahan, perpipaan, reaktor, sistem pendingin

Pendahuluan

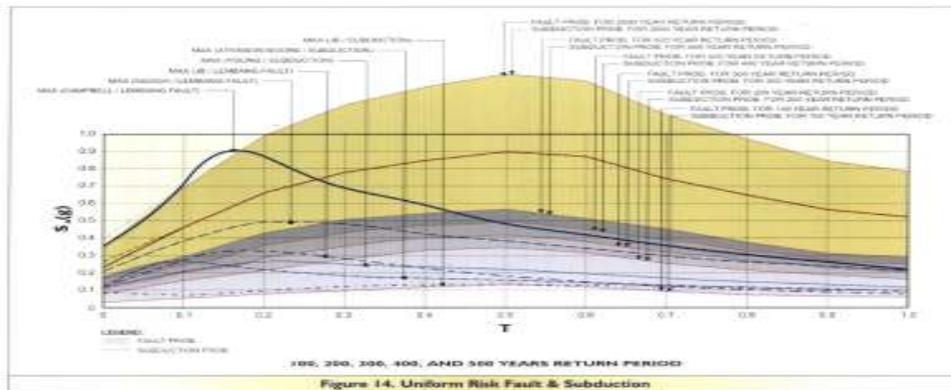
Wilayah Indonesia merupakan daerah yang banyak dilanda bencana, antara lain tsunami, gempa bumi, tanah longsor, ancaman gunung meletus, dan yang baru-baru ini terjadi adalah banjir. Di Bandung sendiri, dirasakan ada beberapa kali gempa, walaupun getarannya kecil. Hal ini perlu mendapat perhatian yang serius terutama pengaruhnya terhadap bangunan instalasi penting seperti sistem reaktor nuklir atau lainnya supaya tidak terjadi kegagalan pada saat beroperasi. Kegagalan tak terprediksi suatu instalasi nuklir terutama karena gempa bumi dapat berakibat fatal, karena kemungkinan dapat menyebabkan terlepasnya zat radioaktif ke lingkungan. Oleh karena itu perlu dilakukan kajian-kajian atau analisis terhadap instalasi penting tersebut baik yang sudah ada maupun yang direncanakan akan dibangun.

BATAN (Badan Tenaga Nuklir Nasional) adalah salah satu lembaga penting yang mempunyai sebuah reaktor nuklir di Bandung yang bernama reaktor TRIGA 2000 [1]. Reaktor ini dibangun sudah sejak tahun 1965 dan digunakan untuk penelitian, pelatihan, dan

pembuatan radioisotop. Gempa yang terjadi di Bandung cukup tinggi sehingga dapat menimbulkan kegagalan operasi reaktor ini. Salah satu sistem yang penting di dalam operasi Reaktor TRIGA 2000 adalah sistem pendingin primer. Sistem pendingin primer ini terdiri dari pompa, penukar panas dan sistem perpipaan yang di dalamnya terdapat fluida pendingin untuk memindahkan energi yang berupa panas kelilingkungan. Jika terjadi gempa bumi akan terjadi beban berlebih pada peralatan, karena adanya beban yang berupa gaya, momen dan tegangan, yang berasal dari perpipaan sistem pendingin primer ke nozel peralatan. Beban berlebih tersebut jika melebihi beban yang diizinkan dapat menyebabkan kegagalan nozel peralatan. Jika nozel gagal atau rusak dapat mengakibatkan terlepasnya zat radioaktif ke lingkungan, yang berarti operasi reaktor tidak aman. Oleh karena itu dalam penelitian ini dilakukan analisis tegangan pipa sistem pendingin primer Reaktor TRIGA 2000 Bandung untuk memprediksi beban yang terjadi pada nozel peralatan jika terjadi gempa di tapak reaktor tersebut.

Analisis dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Caesar II yang berbasis metode elemen hingga (*finite element method*) [2]. Acuan analisis yang digunakan adalah *code ASME B31.1* yang mengatur tentang perancangan sistem perpipaan untuk sistem pembangkit daya (*Power Piping*). Pemodelan sistem perpipaan dilakukan pada sistem pipa

yang telah terpasang dan data-data yang ada di dalam Laporan Analisis Keselamatan (LAK) Reaktor TRIGA 2000 Bandung. Analisis dilakukan secara terpisah dalam 3(tiga) bagian jalur pipa yaitu, dari nozel pompa ke nozel penukar panas, dari nozel penukar panas ke tangki reaktor dan dari tangki reaktor ke nozel pompa.



Gambar 1. Spektrum gempa di tapak reaktor TRIGA 2000 Bandung.

Adapun gempa yang diperhitungkan dalam analisis ini adalah gempa yang terjadi akibat patahan Lembang. Tahun 2000 telah dilakukan penelitian tentang resiko gempa yang terjadi di tapak Reaktor TRIGA 2000 Bandung [3]. Hasil analisis menunjukkan bahwa gempa yang paling besar adalah gempa yang berasal dari patahan Lembang, dengan *Peak Ground Acceleration* (PGA) terbesar terhadap tapak reaktor TRIGA 2000 Bandung, seperti tampak pada kurva spektrum gempa Gambar 1

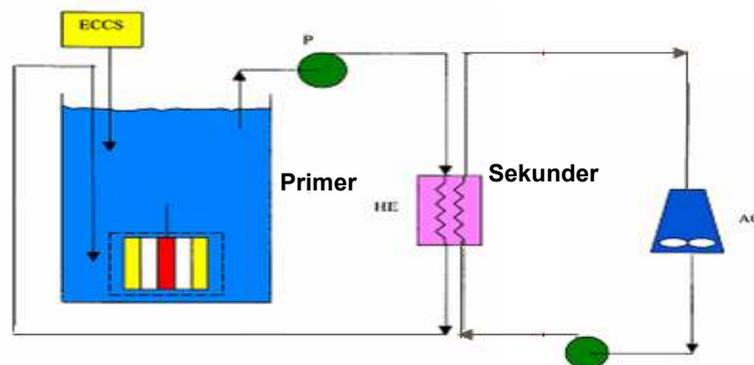
Hasil analisis tersebut di atas digunakan untuk memprediksi keamanan perpipaan sistem pendingin primer reaktor TRIGA 2000

Bandung apabila terjadi gempa patahan Lembang di tapak reaktor.

Metode

Sistem Pendingin Reaktor TRIGA 2000

Proses pendinginan reaktor dilakukan dalam 2 tahap. Tahap pertama dilakukan oleh sistem pendingin primer, yang memindahkan panas dari tangki reaktor ke penukar panas (*heat exchanger*). Tahap kedua dilakukan oleh sistem pendingin sekunder, yang memindahkan panas dari penukar panas ke menara pendingin (*cooling tower*) dan kemudian dibuang ke udara. Kedua sistem pendingin tersebut menggunakan fluida kerja air. Blok diagram sistem pendingin reaktor TRIGA 2000 seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Blok diagram sistem pendingin reaktor TRIGA 2000.

Gambar 2 terlihat bahwa perpipaan sistem pendingin primer terdiri dari pipa dan

equipment yang berupa tangki, pompa dan penukar panas (HE). Sedang jalur pipa dimulai

dari nozel keluaran pompa primer menuju ke nozel masukkan penukar panas, dari nozel keluaran penukar panas menuju tangki reaktor dan dari tangki reaktor menuju nozel masukan pompa primer. Perpipaan sistem pendingin primer ini pada saat operasi akan mengalami pembebanan yang berasal dari fluida kerja yang ada di dalamnya, berat pipa sendiri, temperatur kerja, tekanan dan beban lain yang berasal dari luar pipa misalnya gempa, angin dan lainnya. Akibat pembebanan tersebut akan timbul tegangan pada sistem perpipaan. Hal ini dapat mengakibatkan kegagalan sistem jika besarnya tegangan yang terjadi melebihi tegangan yang diijinkan, maka diperlukan suatu analisis tegangan pipa [4].

Beban-Beban pada Sistem Perpipaan

Tipe beban pada sistem perpipaan dapat diklasifikasikan secara sederhana sebagai berikut:

Beban sustain

Beban sustain adalah beban yang dialami oleh pipa secara terus-menerus. Beban ini merupakan kombinasi beban yang diakibatkan oleh tekanan internal dan berat pipa sendiri. Berat yang dialami oleh sistem perpipaan dapat digolongkan menjadi dua jenis:

- a) *Live Load*, adalah beban fluida yang mengalir melalui pipa.
- b) *Dead Load*, meliputi berat komponen, berat isolator, dan beban permanen lain yang bekerja pada sistem perpipaan tersebut.

Beban ekspansi (Expansion Load)

Beban ekspansi adalah beban yang timbul akibat ekspansi termal dan atau akibat *displacement* yang dikenakan. Ekspansi termal dapat disebabkan:

- a) pembatasan gerak oleh tumpuan saat pipa mengalami ekspansi.
- b) perbedaan temperatur yang besar dan sangat cepat dalam dinding pipa sehingga menimbulkan tegangan.
- c) perbedaan koefisien ekspansi pipa yang dibuat dari dua logam yang berbeda

Displacement dapat disebabkan oleh komponen yang melekat dan oleh pipa yang berhubungan

Beban occasional

Beban *occasional* adalah beban yang jarang terjadi, biasanya merupakan beban dinamik, seperti angin dan gempa

Code ASME B 31.1

ASME B31.1 merupakan acuan analisis perpipaan digunakan *code* milik persatuan insinyur Amerika untuk *power piping* [5]. Code ini terdapat rumus-rumus empiris yang berlaku untuk beban sustain, ekspansi, gabungan sustain dan ekspansi (Operasi), serta *occasional* sebagai berikut,

Beban Sustain

Tegangan(S) yang terjadi akibat beban *sustain* (tekanan, berat dan beban mekanik yang lain) dapat dinyatakan dengan persamaan dalam SI sebagai berikut :

$$\left(\frac{PD_o}{4t_n} \right) + 1000 \left(\frac{0.75 i M_a}{Z} \right) \leq 1.0 S_h \quad (1)$$

Beban Ekspansi Termal

Tegangan yang terjadi akibat adanya ekspansi (penjalaran) termal dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$S_E = 1000 \left(\frac{i M_c}{Z} \right) \leq S_A + f(S_h - S_L) \quad (2)$$

Beban Sustain dan Ekspansi Termal

Tegangan akibat gabungan beban *sustain* dan beban ekspansi termal ($S_{is} + S_E$), dapat dihitung dengan persamaan:

$$S_{is} + S_E = \left(\frac{PD_o}{4t_n} \right) + 1000 \left(\frac{0.75 i M_a}{Z} \right) + 1000 \left(\frac{i M_c}{Z} \right) \leq (S_h + S_a) \quad (3)$$

Beban Occasional

Tegangan yang terjadi akibat tekanan, berat, dan beban sustain yang lain dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\left(\frac{PD_o}{4t_n} \right) + 1000 \left(\frac{0.75 i M_a}{Z} \right) + 1000 \left(\frac{0.75 i M_b}{Z} \right) \leq K S_h \quad (4)$$

dengan,

P = Tekanan internal rancang [psi]

D_o = Diameter luar[in]

M_a = Momen akibat beban sustain [in-lb_f]
 M_b = Momen akibat beban *occasional* [in-lb_f]
 M_c = Range dari jumlah momen akibat ekspansi termal [in-lbs]
 Z = Modulus *section* pipa [in³]
 t_n = Tebal dinding pipa nominal [in]
 i = Faktor intensifikasi tegangan
 K sama dengan 1.15 untuk beban *occasional* yang bekerja kurang dari 1% periode operasi dan sama dengan 1.20 untuk beban *occasional* yang bekerja kurang dari 10% periode operasi.

Konversi satuan :

1 in = 0,08333 ft = 0,0254 m

1 lb_f = 4,4482 N

1 Pa = 0,001 kPa = 1 N/m²

1 Psi = 6894,76 N/m²

1 ft-lb_f = 1,3558 Nm

Analisis Tegangan Pipa

Analisis tegangan pipa sistem pendingin reaktor TRIGA 2000 dilakukan dengan bantuan perangkat lunak CAESAR II. Langkah-langkah yang dibutuhkan dalam analisis meliputi pengumpulan data untuk input model, pemodelan, analisis statik, dan analisis dinamik.

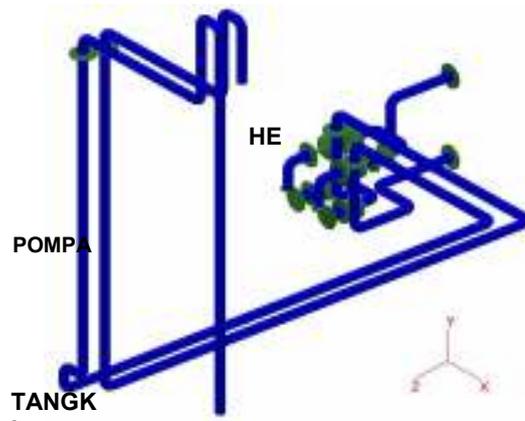
Data perpipaan Sistem Pendingin Reaktor TRIGA 2000 yang dimasukkan dalam perangkat lunak Caesar II terdiri dari :

- Data jalur dan letak komponen pipa
- Material pipa yang digunakan, yaitu aluminum alloys B241 6061 T6
- Diameter nominal pipa adalah 6 in
- Tebal pipa, sesuai schedule ANSI standard
- Pompa: tipe sentrifugal, merk Peerles A 80, laju alir 950 gpm

- Heat exchanger: Baltimore Air Coil, model plat EC7.
- Komponen-komponen pipa seperti katup, *flange*, reduser, dll.
- Temperatur kerja: 70 °C
- Tekanan kerja: 4.0816 kg/sq.cm
- Fluida berupa air dengan massa jenis 999.2 kg/cu.m.
- Data defleksi nozel pompa dan penukar kalor

Data beban gempa, tahun 2000 telah dilakukan penelitian tentang resiko gempa yang terjadi pada BATAN Bandung. Laporan mengenai penelitian ini berjudul *Seismic Hazard Analysis of the Bandung Nuclear Site*. Gempa yang paling berpengaruh adalah gempa yang berasal dari patahan Lembang. Spektrum patahan lembang bisa dilihat pada Gambar 1. Grafik yang dipakai adalah grafik Max (Campbell / Lembang vault) (warna biru tidak putus-putus. Grafik prediksi gempa ini dibentuk dari penskalaan gempa di tempat lain (yang mempunyai data yang lengkap) terhadap kondisi lingkungan BATAN Bandung. Kemungkinan gempa yang terjadi di BATAN mempunyai siklus 2500, 500, dan 400 tahunan, dengan beban gempa maksimum pada 0.9 G [3].

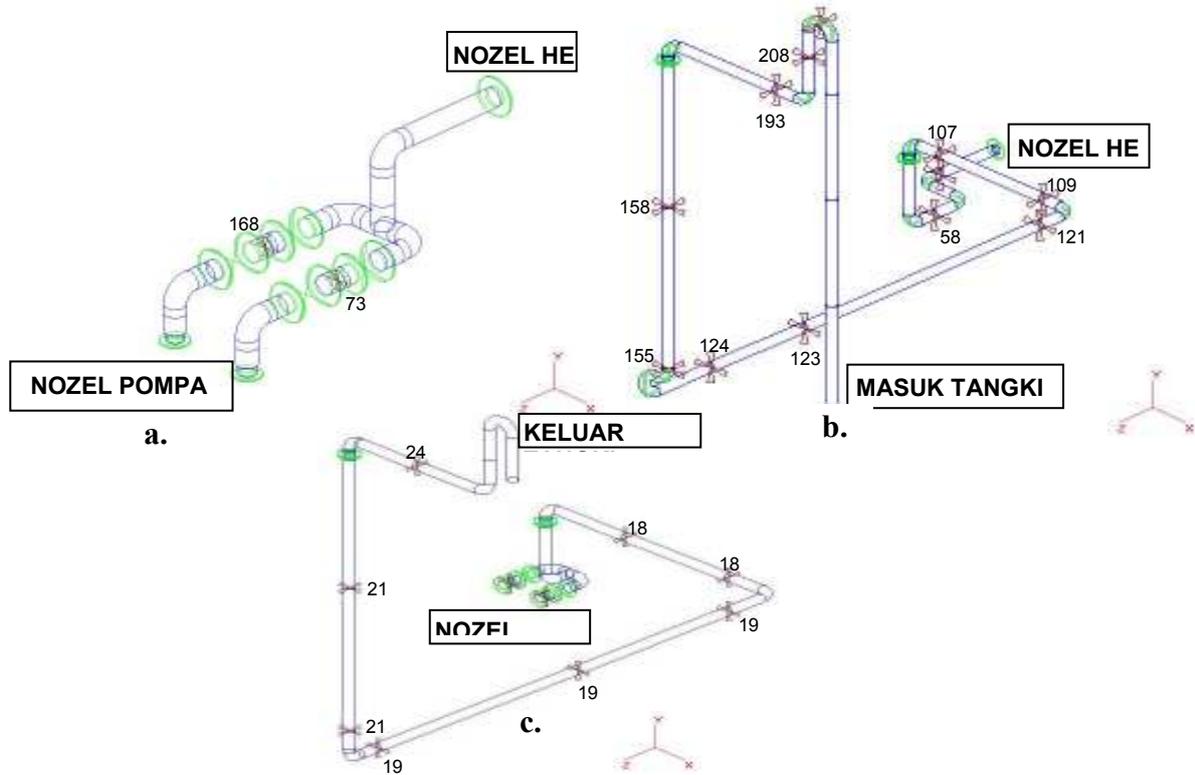
Setelah semua data yang diperlukan disiapkan, tahap selanjutnya adalah membuat model sistem pendingin primer dalam Caesar II. Untuk membuat model dilakukan dengan cara memasukkan data-data yang sudah disiapkan ke dalam *list input* program. Hasil pemodelan perpipaan sistem pendingin primer keseluruhan ditampilkan dalam 3 dimensi seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Model Perpipaan Sistem Pendingin Primer Reaktor TRIGA 2000

Model pipa berikut penyangganya (*support*) dibagi menjadi 3 jalur, yaitu jalur dari nozel keluaran pompa primer menuju ke nozel masukan penukar panas (PriPump),

Gambar 4a, jalur dari nozel keluaran penukar panas menuju tangki reaktor(PriIn), gambar 4b dan jalur dari tangki reaktor menuju nozel masukan pompa primer(PriOut), Gambar 4c.



Gambar 4.a. Jalur PriPump b. Jalur PriIn c. Jalur PriOut.

Jika semua model selesai dibuat kemudian dilakukan analisis secara statik maupun dinamik. Dalam analisis statik diperlukan data defleksi nozel pompa dan penukar panas yang dihitung berdasarkan bahan, dimensi dan temperatur kerjanya. Sedang bebannya dipilih saat operasi (berat + *displacement* + temperatur + tekanan), *sustained* (berat + tekanan) dan ekspansi (*displacement operation – displacement sustain*), serta *occasional* (berat + tekanan + gempa). Sedang analisis dinamik

dilakukan dengan memasukkan data spektrum gempa di tapak reaktor TRIGA 2000 akibat patahan Lembang sebagai masukan beban gempa. Spektrum tersebut kemudian diuraikan seperti terlihat dalam Tabel 1.

Jenis beban untuk analisis mengikuti yang direkomendasikan di dalam program Caesar, yaitu:

- a) Beban gempa (occasional)
- b) Beban statik digabung beban gempa(occasional).

Tabel 1. Input spektrum gempa

No.	(detik)	(mm/detik ²)
1	0,0001	3433,5000
2	0.1000	6867,0000
3	0,1600	8829,0000
4	0,2000	8632,7998
5	0,3000	6867,0000
6	0,4000	5886,0000
7	0.5000	4905,0000
8	1,0000	2152,2000

Hasil dan Pembahasan

Hasil analisis statik menunjukkan bahwa tegangan maksimum yang terjadi akibat beban sustain dan ekspansi jika dibandingkan dengan tegangan ijinnya (*allowable stress*) untuk jalur PriIn, PriOut dan PriPump, seperti terlihat pada Tabel 2. Tegangan maksimum untuk ketiga jalur tersebut baik untuk beban sustain

maupun ekspansi semuanya jauh di bawah tegangan ijinnya, (33,62%). Hasil ini menunjukkan bahwa ketiga jalur tersebut semuanya akan aman jika terjadi tegangan pada kondisi statik. Sedang untuk beban operasi sudah termasuk dalam beban ekspansi karena beban ekspansi merupakan kombinasi dari beban sustain dan operasi

Tabel 2. Tegangan statik untuk jalur PriIn, PriOut dan PriPump

Jalur Jenis Beban	PriIn		PriOut		PriPump	
	Sus	Eksp	Sus	Eksp	Sus	Eksp
<i>Code Stress node</i>	124	125	247	190	50	130
<i>Code Stress (kPa)</i>	11900,0	53260,0	13740,0	44400,0	3100,0	49340,0
<i>Bending Stress (kPa)</i>	9820,0	52990,0	11670,0	44390,0	1370,0	49340,0
<i>Torsional Stress (kPa)</i>	920,0	11420,0	1700,0	3790,0	0,0	5230,0
<i>Axial Stress (kPa)</i>	2610,0	3750,0	2380,0	3830,0	2070,1	6670,0
<i>Allowable (kPa)</i>	65500,0	158400,0	65500,0	161470,0	65500,0	161040,0
<i>Code stress %</i>	18,16	33,62	20,98	27,50	4,74	30,64

Hasil analisis dinamik pada Tabel 3, tegangan maksimum yang terjadi pada ketiga jalur PriIn, PriOut dan PriPump semuanya tidak melewati tegangan ijinnya, hanya fraksi tegangan untuk jalur PriIn sudah mencapai 95.5 % di titik 130 pada saat terkena beban kombinasi. Hal ini menunjukkan bahwa jalur pipa tersebut masih kurang fleksibel. Meskipun demikian dapat dikatakan bahwa ketiga jalur pipa masih aman jika terkena beban dinamik. Maka dapat dikatakan bahwa perpipaan sistem pendingin primer reaktor TRIGA 2000 akan aman jika terjadi tegangan akibat adanya gempa pada saat operasi, akan tetapi untuk jalur PriIn masih kurang fleksibel, sehingga perlu dilakukan modifikasi jalur pipa atau/dan perubahan letak dan jenis penyangganya agar lebih fleksibel.

Tabel 4. merupakan hasil analisis yang menunjukkan besarnya gaya dan momen yang diterima oleh nozel masukan pompa (diameter 6 in) dan nozel keluaran pompa (diameter 4

in). Nozel masukan pompa berada di dalam jalur PriOut, sedang nozel keluaran pompa berada di dalam jalur PriPump. Oleh karena itu besarnya gaya dan momen yang membebani nozel-nozel tersebut akan sangat bergantung pada fleksibilitas kedua jalur tersebut. Jika fleksibilitasnya cukup maka nozel tidak akan mendapatkan beban yang melebihi batas maksimum yang diijinkan. Hal ini dapat dikatakan bahwa nozel aman pada saat terbebani untuk semua kondisi operasi. Hasil analisis statik dan dinamik ditunjukkan pada Tabel 4, menyatakan perbandingan gaya dan momen yang terjadi pada nozel pompa dibandingkan dengan gaya dan momen maksimum yang diijinkan. Gaya dan momen tersebut untuk arah X, dan Z terlihat tidak ada (nol), artinya tidak terjadi gaya geser pada nozel keluaran pompa tersebut, tetapi hanya gaya arah vertikal saja (Y) yang berpengaruh terhadap nozel keluaran pompa (diameter 4 in).

Tabel 3. Tegangan dinamik untuk jalur PriIn, PriOut dan PriPump

Jalur Jenis Beban	PriIn		PriOut		PriPump	
	Gempa	Kombinasi	Gempa	Kombinasi	Gempa	Kombinasi
<i>Code Stress node</i>	220	130	214	183	120	130
<i>Code Stress (kPa)</i>	31600,0	71900,0	26200,0	53300,0	12400,0	63600,0
<i>Bending Stress (kPa)</i>	40100,0	65500,0	28800,0	49100,0	16500,0	63000,0
<i>Torsional Stress (kPa)</i>	7300,0	14100,0	3000,0	4800,0	2400,0	7700,0
<i>Axial Stress (kPa)</i>	1900,0	5500,0	600,0	5100,0	900,0	6900,0
<i>Allowable (kPa)</i>		75000,0		75000,0		75000,0
<i>Code stress %</i>		95,5		70,8		84,4

Tabel 4. Beban statik dan dinamik nozel pompa jalur pipa terpasang

Beban Diam. Nozel Gaya(N),Momen(N.m)	Jalur yang Terpasang							
	Statik				Dinamik			
	4 in		6 in		4 in		6 in	
	Nozel	Batas ijin	Nozel	Batas ijin	Nozel	Batas ijin	Nozel	Batas ijin
F_x	0	1425,3	0	2491,7	0	1425,3	0	2491,7
F_y	3348,0	1781,5	0	3117,6	4027,0	1781,5	0	3117,6
F_z	0	1157,6	466	2048,3	0	1157,6	1446	2048,3
M_x	0	1329,0	0	2305,3	0	1329,0	0	2305,3
M_y	0	1003,5	0	1763,0	0	1003,5	0	1763,0
M_z	0	678,1	0	1179,7	0	679,1	0	1179,7

Pengaruh gaya arah Y pada nozel keluaran tersebut telah melewati batas ijinnya (> 1781.5 N), baik untuk beban statik maupun dinamik. Ini berarti beban tersebut akan menyebabkan kegagalan nozel keluaran pompa, sedang beban nozel masukannya (diameter 6 in) belum melewati batas ijinnya (< 2048.3 N), berarti aman. Untuk nozel penukar panas yang berada di jalur PriIn pada kondisi statik dan dinamik tidak ada yang melewati batas ijinnya (< 3780 N), sedang gaya yang terjadi pada nozel penukar panas yang di jalur PriPump telah melewati batas yang diijinkan untuk arah Z (> 3780 N), lihat Tabel 5. Hal ini menunjukkan bahwa dengan jalur perpipaan sistem pendingin primer reaktor TRIGA 2000 yang sudah terpasang, nozel pompa dan nozel penukar panasnya hanya akan aman dari beban statik dan dinamik untuk jalur PriOut saja. Ini berarti bahwa jalur PriIn dan PriPump yang terpasang kurang fleksibel, akibatnya ada beban berlebih yang disalurkan ke nozel pompa dan penukar panas. Oleh karena itu perlu dilakukan modifikasi jalur PriIn dan PriPump dengan cara melakukan perubahan jalur pipa dan/atau perubahan letak dan jenis penyangganya, sehingga beban yang terjadi akan didistribusi pipa ke nozel pompa agar tidak lebih dari beban ijin nozelnya. Setelah melalui beberapa

kali iterasi modifikasi jalur PriIn dan PriPump, maka pada saat beban statik maupun dinamik diperoleh hasil bahwa semua nozel masukan pompa tidak ada yang menerima beban yang melebihi batas ijinnya, lihat Tabel 6

Hasil akhir analisis ulang tegangan pipa untuk beban statik dan dinamik pada jalur PriIn yang dimodifikasi, terlihat bahwa pada kondisi statik dan dinamik tegangan maksimum pipa tidak melebihi tegangan ijinnya (maksimum 81.8%). Demikian pula untuk jalur PriPump modifikasi baik pada beban statik maupun dinamik fraksi tegangannya masih jauh di bawah batas ijinnya, lihat Tabel 7. Pada saat terjadi gempa fraksi tegangannya mengalami penurunan jika dibandingkan dengan sebelum modifikasi, yaitu semula 95.5 % menjadi 81.8 %. Hal ini berarti jalur jalur PriIn modifikasi menjadi lebih fleksibel dan berarti aman.

Demikian pula nozel penukar panas yang berhubungan dengan jalur PriPump (nozel atas) dan jalur PriIn (nozel bawah) yang dimodifikasi terlihat bahwa baik pada beban statik maupun dinamik semua gaya maupun momen yang mengenai nozel penukar panas lebih kecil dari batas yang diijinkan, lihat Tabel 8.

Tabel 5. Beban statik dan dinamik nozel penukar panas jalur pipa terpasang

Beban Gaya(N),Momen(N.m)	Jalur yang Terpasang					
	Statik			Dinamik		
	PriPump	PriIn	Batas Ijin	PriPump	PriIn	Batas Ijin
F_x	39	89	4630	160	208	4630
F_y	1088	-436	4630	1353	669	4630
F_z	-6265	-2569	3780	6265	2580	3780
M_x	0	0	2880	0	0	2880
M_y	0	0	2880	0	0	2880
M_z	0	0	4075	0	0	4075

Tabel 6. Beban statik dan dinamik nozel pompa jalur pipa modifikasi

Beban	Jalur yang dimodifikasi							
	Statik				Dinamik			
	Diam. Nozel	4 in		6 in		4 in		6 in
Gaya(N), Momen(N.m)	Nozel	Batas ijin	Nozel	Batas ijin	Nozel	Batas ijin	Nozel	Batas ijin
F_x	0	1425,3	-540	2491,7	0	1425,3	763	2491,7
F_y	-440	1781,5	293	3117,6	942	1781,5	521	3117,6
F_z	0	1157,6	-1681	2048,3	0	1157,6	1705	2048,3
M_x	0	1329,0	0	2305,3	0	1329,0	3	2305,3
M_y	0	1003,5	0	1763,0	0	1003,5	1	1763,0
M_z	0	678,1	0	1179,7	0	679,1	0	1179,7

Tabel 7. Tegangan statik dan dinamik maksimum jalur PriPump dan PriIn modifikasi.

Jalur Pipa	Analisis				
	Jenis Beban	STATIK		DINAMIK	
		Sus	Eksp	Gempa	Kombinasi
PriPump	Code Stress node	170	240	120	240
	Code Stress (kPa)	6590,0	6750,0	12100,0	25300,0
	Bending Stress (kPa)	6020,0	6750,0	16100,0	25500,0
	Torsional Stress (kPa)	90,0	840,0	2400,0	3400,0
	Axial Stress (kPa)	2100,0	150,0	900,0	5000,0
	Allowable (kPa)	65500,0	160640,0		75000,0
	Code stress %	10,05	4,2		33,6
PriIn	Code Stress node	193,0	125,0	220,0	214,0
	Code Stress (kPa)	13410,0	39810,0	31600,0	61600,0
	Bending Stress (kPa)	11340,0	39760,0	40100,0	62200,0
	Torsional Stress (kPa)	1190,0	7800,0	7300,0	8700,0
	Axial Stress (kPa)	2610,0	3410,0	1300,0	5400,0
	Allowable (kPa)	65500,0	160200,0		75000,0
	Code stress %	20,48	24,85		81,8

Tabel 8. Beban statik dan dinamik nozel penukar panas jalur pipa modifikasi

Beban	Jalur yang Terpasang					
	Statik			Dinamik		
Gaya(N),Momen(N.m)	PriPump	PriIn	Batas Ijin	PriPump	PriIn	Batas Ijin
F_x	2,0	-532,0	4630,0	136,0	752,0	4630,0
F_y	-631,0	292,0	4630,0	939,0	518,0	4630,0
F_z	-135,0	-1615,0	3780,0	3095,0	1631,0	3780,0
M_x	0,0	0,0	2880,0	0,0	0,0	2880,0
M_y	0,0	0,0	2880,0	0,0	0,0	2880,0
M_z	0,0	0,0	4075,0	0,0	0,0	4075,0

Simpulan

Perpipaan sistem pendingin primer reaktor TRIGA 2000 Bandung yang terpasang masih kurang fleksibel pada saat operasi, sehingga harus dilakukan modifikasi jalurnya (*rerouting*), supaya tegangan pipanya tidak mendekati batas ijinnya jika terkena beban sustain, ekspansi dan kombinasi.

Pada keadaan statik fraksi tegangan pada jalur PriIn sebesar 18.16 % untuk beban

sustain di titik 124 dan 33.62 % untuk beban ekspansi di titik 130, sedang jalur Priout untuk beban sustain 20.98 % di titik 247 dan 27.50 % untuk beban ekspansi di titik 190, dan pada jalur PriPump sebesar 4.74 % di titik 50 untuk beban sustain dan 30.64 % di titik 130 untuk beban ekspansi. Jadi tidak ada yang melewati batas ijinnya, aman.

Dari analisis dinamik, perpipaan sistem pendingin primer reaktor TRIGA 2000

Bandung yang terpasang nozel keluaran pompa (4 in) mengalami beban berlebih, karena itu jalur PriPump harus dimodifikasi agar lebih fleksibel dengan cara melepas penyangga di titik 105 dan titik 135 sehingga beban pada nozel tidak melebihi batas ijinnya.

Pada saat terjadi gempa jalur PriIn yang terpasang akan mempunyai fraksi tegangan 95.5 %, maka jalur PriIn harus dimodifikasi agar tidak terjadi tegangan berlebih, yaitu dengan memberi gap sebesar 3 mm arah X pada penyangga dititik 25 dan menghilangkan penyangga dititik 30 serta memberi gap 3 mm pada arah X dan Z.

Daftar Pustaka

- [1] S. P. Mangkoesoebroto, H. P. Rahardjo, I. Kurniawan, dan R. Parithusta, 2005 “*EXTERNAL EVENTS* dari Reaktor Riset menuju Reaktor Daya”, Seminar Nasional ke-11 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir (TKPFN), P2SRM-BATAN-LPKM - Unibraw Malang.
- [2] Anonymous, 1996, Technical Reference Manual, CAESAR II, version 3-24,
- [3] R. Parithusta, and S.P. Mangkoesoebroto, 2005, “Seismic Hazard Analysis of The Bandung Nuclear Reactor Site”, PT Propenta Persisten Indonesia, Bandung.
- [4] H. P. Rahardjo, 2000, Analisis Tegangan Pipa Sistem Pendingin Sekunder Reaktor TRIGA 2MW, *prosiding Seminar Sains dan Teknologi Nuklir Dalam Pemberdayaan Potensi Nasional*, Puslitbang Teknik Nuklir BATAN, Bandung, 2000, hal. 77-84
- [5] ASME, *ANSI B31.1a-2002*, 2003, *ADDENDA*