



EVALUASI BEBAN NOZZLE POMPA PADA SISTEM PENDINGIN PRIMER REAKTOR RISET TRIGA BANDUNG

Hana Subhiyah^[1], Budi Santoso^[2]

^{1,2}Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir, Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Gedung 71, Tangerang Selatan, 15310

ABSTRAK

*EVALUASI BEBAN NOZZLE POMPA PADA SISTEM PENDINGIN PRIMER REAKTOR RISET TRIGA MARK II BANDUNG. Hasil keluaran Caesar II 5.10 yang berupa gaya dan moment digunakan untuk mengevaluasi besarnya beban yang diterima oleh masing - masing nozzle pompa. API 610 merupakan Standar internasional yang menetapkan persyaratan untuk pompa horisontal. Berdasarkan kriteria untuk design pipa untuk pompa horisontal sesuai halaman 126-127 harus memenuhi kriteria F1.2a, F1.2b, F1.2c. Kriteria F1.2a jika nozzle tiap pompa menerima gaya dan moment lebih dari 1 kali tetapi lebih kecil dari 2 kali Tabel 1-API 610 maka nozzle pompa harus memenuhi kriteria F1.2b dan F1.2c. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa kondisi operasi 2 dan 3 masing – masing nozzle di kedua pompa menerima gaya dan moment lebih dari 1 kali tetapi lebih kecil dari 2 kali Tabel 1 – API 610 sehingga masing – masing nozzle harus dikombinasikan agar memenuhi kriteria F1.2b dan F1.2c. Hasil dari perhitungan secara manual menunjukkan bahwa nozzle pompa sesuai dengan kriteria F1.2b dan kriteria F1.2c.
Kata Kunci : Gaya, Momen, Caesar II 5.10, Nozzle pompa, API 610*

ABSTRACT

PUMP NOZZLE LOAD EVALUATION ON PRIMARY COOLING SYSTEM BANDUNG TRIGA MARK II RESEARCH REACTOR. Caesar II 5.10 in the form of the output force and moment magnitude is used to evaluate the load received by each pump nozzle. API 610 is an international standard that specifies requirements for horizontal pumps. Based on the criteria for the design of the horizontal pipe to the pump according to pages 126-127 must meet the criteria F1.2a, F1.2b, F1.2c. Criteria F1.2a if every pump nozzle receive force and moment more than 1 times but less than 2 times Table 1-610 API then the pump nozzle must meet the criteria and F1.2c F1.2b. Evaluation results indicate that operating conditions 2 and 3 respectively each nozzle on both pumps receive the forces and moments more than 1 times but less than 2 times Table 1 - API 610 so each nozzle must be combined in order to meet the criteria F1.2b and F1 .2 c. The results of manual calculations indicate that the pump nozzle in accordance with the criteria F1.2b and criteria F1.2c

1.PENDAHULUAN

BATAN (Badan Tenaga Nuklir Nasional) adalah salah satu lembaga penting yang mempunyai sebuah reaktor nuklir di Bandung yang bernama reaktor TRIGA MARK II. Reaktor ini dibangun sejak tahun 1965 dan digunakan untuk penelitian, pelatihan, dan pembuatan radioisotop^[1]. Reaktor TRIGA Mark II Bandung (dibuat oleh General Atomic Co, San Diego, CA, USA) di Puslitbang Teknik Nuklir (P3TN) dirancang dan dibangun dengan daya 250 kW. Reaktor ini mencapai kritis pertama kalinya pada 10 Oktober 1964 Sejak itu reaktor dioperasikan pada daya maksimum 250 kW.

Pada tahun 1971, seiring dengan meningkatnya kegiatan, daya reaktor ditingkatkan menjadi 1000 kW. Hingga tahun 1996, atau sekitar 32 tahun dari saat kritis pertama kali. Reaktor telah beroperasi secara aman. Operasi reaktor TRIGA Mark II berlangsung lancar, teratur tanpa mengalami gangguan yang berarti^[2].



Salah satu sistem yang penting di dalam operasi Reaktor TRIGA Mark II adalah sistem pendingin primer. Sistem pendingin primer ini terdiri dari pompa, penukar panas dan sistem perpipaan yang di dalamnya ada fluida pendingin untuk memindahkan energi yang berupa panas kelingkungannya^[1].

Jika perpipaan sistem pendingin primer mengalami kegagalan akibat beban yang diterima nozzle yang ada pada pompa berlebih maka akan mengganggu proses pendinginan sistem pendingin primer. Oleh karena itu dalam penelitian ini dilakukan evaluasi beban nozzle pompa sistem pendingin primer Reaktor TRIGA Mark II Bandung. Analisis dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Caesar II versi 5.10. Acuan analisis yang digunakan adalah code API 610.

Analisis dilakukan secara terpisah dalam 2 (dua) bagian jalur pipa yang melewati pompa yaitu dari teras reaktor ke nozzle pompa dan dari nozzle pompa ke nozzle penukar panas. Setelah itu dilakukan evaluasi beban nozzle yang diterima pompa.

2. DASAR TEORI

2.1 ANALISA STATISTIK

Pipa yang didalamnya mengalir fluida, baik panas maupun dingin akan mengalami pemuaian (*expansion*) atau pengkerutan (*contraction*) yang berakibat timbulnya gaya yang bereaksi pada ujung koneksi (*connection*), akibat dari temperatur, berat pipa dan fluida itu sendiri serta tekanan didalam pipa^[3].

Dengan demikian, sebuah sistem pemipaan haruslah didesain sefleksibel mungkin demi menghindari pergerakan pipa (*movement*) akibat *thermal expansion* atau *thermal contraction* yang bisa menyebabkan:

1. Kegagalan pada sistem pemipaan karena terjadinya tegangan yang berlebihan atau overstress maupun fatigue.
2. Terjadinya tegangan yang berlebihan pada *pipe support* atau titik tumpuan.
3. Terjadinya kebocoran pada sambungan *flanges* maupun di *Valves*.
4. Terjadi kerusakan material di *Nozzle Equipment (Pump, Tank, Pressure Vessel, Heat Exchanger, etc)* akibat gaya dan moment yang berlebihan akibat pemuaian atau pengkerutan pipa tadi.
5. Resonansi akibat terjadi Vibration.

Analisa statik adalah memperhitungkan beban statik yang akan menimpa pipa secara perlahan sehingga sistem pemipaan memiliki cukup waktu untuk menerima, bereaksi dan mendistribusikan beban tadi keseluruhan sistem pemipaan sampai tercapainya keseimbangan.

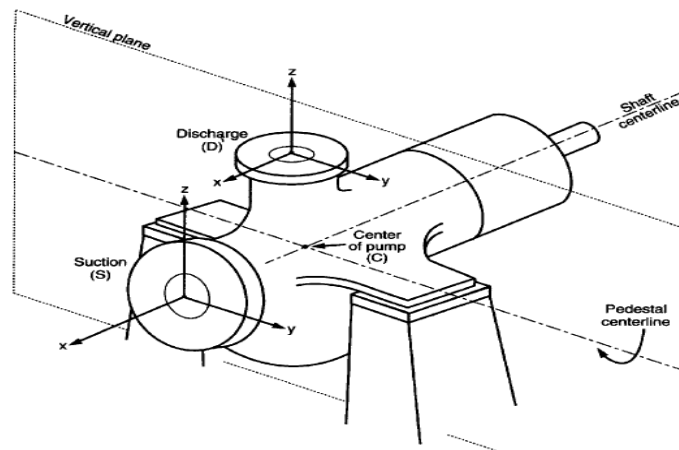
Beban operasi adalah beban yang terjadi pada sistem pemipaan selama operasi panas yang meliputi beban *sustain* dan beban termal.

1. Beban *Sustain* : yaitu beban akibat berat pipa, berat fluida, tekanan dalam pipa, tekanan luar, pengaruh angin dan gempa, serta beban dari salju yang menimpa pipa. Satu hal yang penting disini adalah jika pipa terkena beban demikian, maka bisa mengakibatkan pipa menjadi pecah dan *collaps*, jika tidak dilakukan upaya pencegahan.

2. Beban *Thermal* : beban ini adalah beban yang ditimbulkan akibat ditahannya *expansion* atau gerakan suatu pipa yang mengalami pemuaian ataupun pengkerutan akibat temperatur dari fluida yang mengalir didalamnya. Penahanan (*restriction*) yang diberikan dapat berupa *Anchor*, atau tersambung ke peralatan (*equipment*). Satu hal yang perlu juga diperhatikan adalah bahwa beban *thermal* ini adalah sifatnya siklus, artinya jika *anchor* dilepas atau fluidanya di hentikan mengalir di pipa tersebut, maka hilang pula beban yang ditimbulkannya^[3].

2.2 POMPA

Pompa secara sederhana didefinisikan sebagai alat transportasi fluida cair. Jadi, jika fluidanya tidak cair, maka belum tentu pompa bisa melakukannya. Misalnya fluida gas, maka pompa tidak dapat melakukan operasi pemindahan tersebut. Namun, teknologi sekarang sudah jauh berkembang di mana mulai diperkenalkan pompa yang multi-fasa, yang dapat memompakan fluida cair dan gas^[4]. Pompa yang digunakan di sistem pendingin primer adalah pompa *sentrifugal* dengan 2 *nozzle* yaitu *discharge* dan *suction*. Berikut adalah gambar pompa *sentrifugal* berdasarkan API 610 :



Key

1. Shaft centreline
2. Discharge
3. Suction
4. Centre of pump
5. Pedestal centreline
6. Vertical plane

Gambar 1. Pompa horizontal dengan tipe *end suction* dan top *discharge nozzle*

API 610 merupakan Standar internasional yang menetapkan persyaratan untuk pompa *horizontal*. Berdasarkan kriteria untuk design pipa untuk pompa horizontal sesuai halaman 126-127 harus memenuhi kriteria F1.2a, F1.2b, F1.2c.

Dengan :

- F1.2a, gaya dan momen yang ada \leq tabel API 610 tetapi jika gaya dan momen lebih dari 1X tabel tetapi kurang dari 2X tabel maka nozzle pompa harus memenuhi kriteria F1.2b dan F1.2c
- F1.2b, gaya resultan ($FR_{Suction}$, $FR_{Discharge}$) dan Momen resultan ($MR_{Suction}$, $MR_{Discharge}$) yang bekerja pada masing-masing *nozzle* pompa harus memenuhi kriteria berikut :

$$[FRD_A / (1.5 \times FRD_T)] + [MRD_A / (1.5 \times MRD_T)] \leq 2 \quad (F.1)$$

$$[FRS_A / (1.5 \times FRS_T)] + [MRS_A / (1.5 \times MRS_T)] \leq 2 \quad (F.2)$$

Dengan :

FRD_A adalah resultan gaya *discharge* aktual

FRS_A adalah resultan gaya *suction* aktual

- F1.2c dengan masing-masing flange nozzle pompa harus diterjemahkan ke pusat pompa, besarnya gaya resultant yang diberikan (FRC_A), moment resultant (MRC_A) dibatasi oleh kriteria F.3, F.4 dan F.5 seperti berikut ^[5]:

$$FRC_A < 1.5 (FRS_T + FRD_T) \quad (F.3)$$

$$MYC_A < 2.0 (MYS_T + MYD_T) \quad (F.4)$$

$$MRC_A < 1.5 (MRS_T + MRD_T) \quad (F.5)$$

dengan :

$$FRCA = [(FXC_A)^2 + (FYC_A)^2 + (FZC_A)^2]^{0.5}$$

dengan :

$$FXC_A = FXS_A + FXD_A$$

$$FYC_A = FYS_A + FYD_A$$

$$FZC_A = FZS_A + FZD_A$$

$$MRC_A = [(MXC_A)^2 + (MYC_A)^2 + (MZC_A)^2]^{0.5}$$

dengan :

$$MXC_A = MXS_A + MXD_A - ((FYS_A)(ZS) + (FYD_A)(ZD) - (FZS_A)(YS) - (FZD_A)(YD)) / 1000$$

$$MYC_A = MYS_A + MYD_A + ((FXS_A)(ZS) + (FXD_A)(ZD) - (FZS_A)(XS) - (FZD_A)(XD)) / 1000$$

$$MZC_A = MZS_A + MZD_A - ((FXS_A)(YS) + (FXD_A)(YD) - (FYS_A)(XS) - (FYD_A)(XD)) / 1000$$



Tabel 1. *Load nozzle* berdasarkan API 610

	SI units								
	Nominal size of flange (DN)								
	50	80	100	150	200	250	300	350	400
	Forces (N) and moments (Nm)								
Each top nozzle									
<i>FX</i>	710	1 070	1 420	2 490	3 780	5 340	6 670	7 120	8 450
<i>FY</i>	580	890	1 160	2 050	3 110	4 450	5 340	5 780	6 670
<i>FZ</i>	890	1 330	1 780	3 110	4 890	6 670	8 000	8 900	10 230
<i>FR</i>	1 280	1 930	2 560	4 480	6 920	9 630	11 700	12 780	14 850
Each side nozzle									
<i>FX</i>	710	1 070	1 420	2 490	3 780	5 340	6 670	7 120	8 450
<i>FY</i>	890	1 330	1 780	3 110	4 890	6 670	8 000	8 900	10 230
<i>FZ</i>	580	890	1 160	2 050	3 110	4 450	5 340	5 780	6 670
<i>FR</i>	1 280	1 930	2 560	4 480	6 920	9 630	11 700	12 780	14 850
Each end nozzle									
<i>FX</i>	890	1 330	1 780	3 110	4 890	6 670	8 000	8 900	10 230
<i>FY</i>	710	1 070	1 420	2 490	3 780	5 340	6 670	7 120	8 450
<i>FZ</i>	580	890	1 160	2 050	3 110	4 450	5 340	5 780	6 670
<i>FR</i>	1 280	1 930	2 560	4 480	6 920	9 630	11 700	12 780	14 850
Each nozzle									
<i>MX</i>	460	950	1 330	2 300	3 530	5 020	6 100	6 370	7 320
<i>MY</i>	230	470	680	1 180	1 760	2 440	2 980	3 120	3 660
<i>MZ</i>	350	720	1 000	1 760	2 580	3 800	4 610	4 750	5 420
<i>MR</i>	620	1 280	1 800	3 130	4 710	6 750	8 210	8 540	9 820

NOTE 1 See Figure 20 through Figure 24 for orientation of nozzle loads (X, Y, and Z).

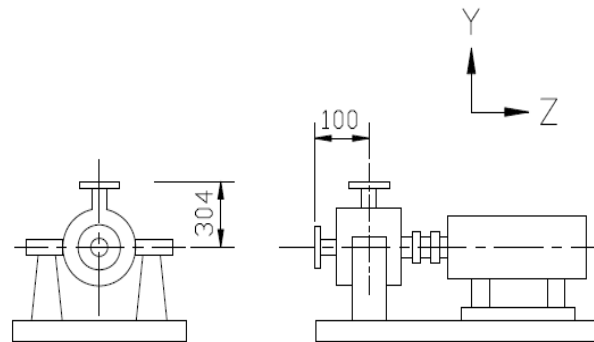
3. TATA KERJA

Metode yang dipakai dalam analisa *nozzle* pompa pada penelitian ini adalah metode manual yaitu menghitung manual sesuai dengan kriteria untuk design piping pompa horizontal sesuai halaman 126-127 untuk menganalisa apakah beban yang diterima *nozzle* masih dalam batas yang diijinkan sesuai dengan standart API 610. Analisa dilakukan dengan bantuan software perpipaan yakni CAESAR II versi 5.10 untuk mengetahui gaya dan moment yang dihasilkan oleh *nozzle* pada masing-masing pompa. Sehingga bisa dilakukan perhitungan *nozzle* pompa secara manual.

3. 1 KOMPONEN BAHAN PIPA

Pada sistem perpipaan ini menggunakan komponen sebagai berikut :

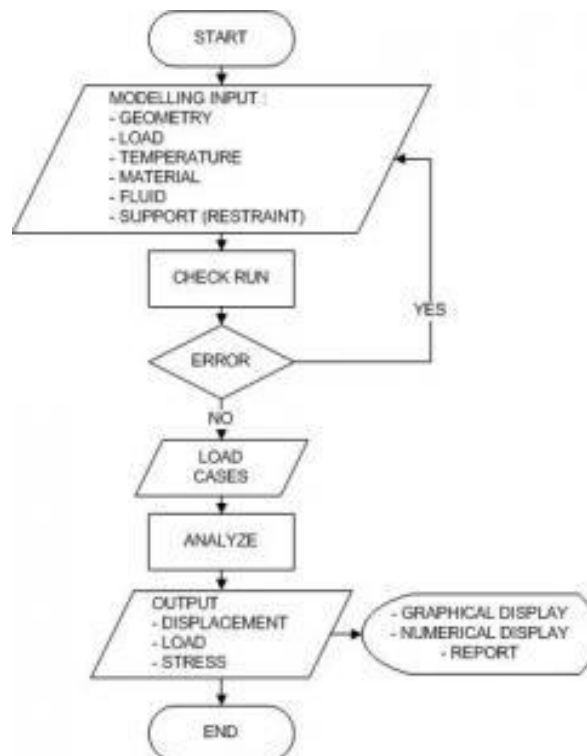
1. Bahan Pipa & Flange : paduan aluminium
2. Nominal pipe size : 6" dan 4"
3. Ketebalan pipa (Schedule) : 6.0198 mm (40)
4. Temperatur operasi : 45.3°C
6. Tekanan operasi : 1.5295 (kg/cm²)
7. Densitas cairan : 0.9992 (kg/mm³)



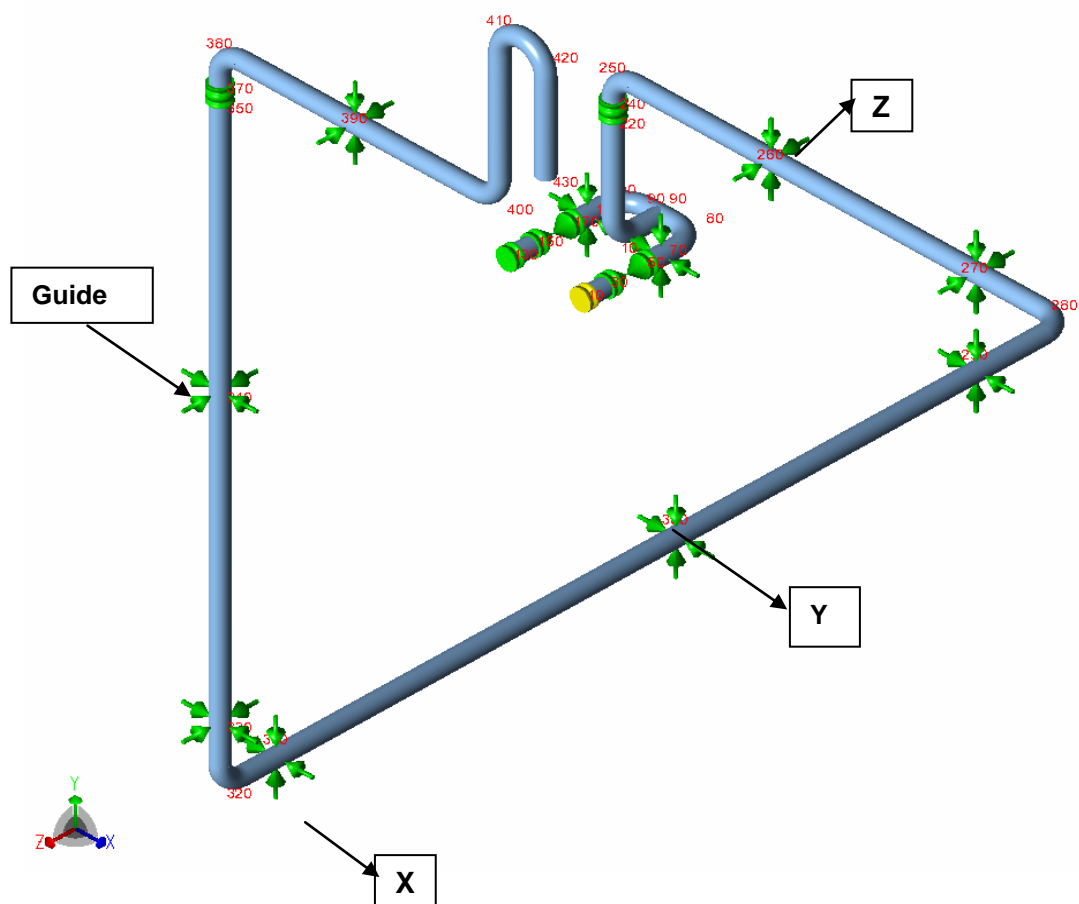
Gambar 2. Koordinat nozzle pompa

3.2 PEMODELAN STRUKTUR

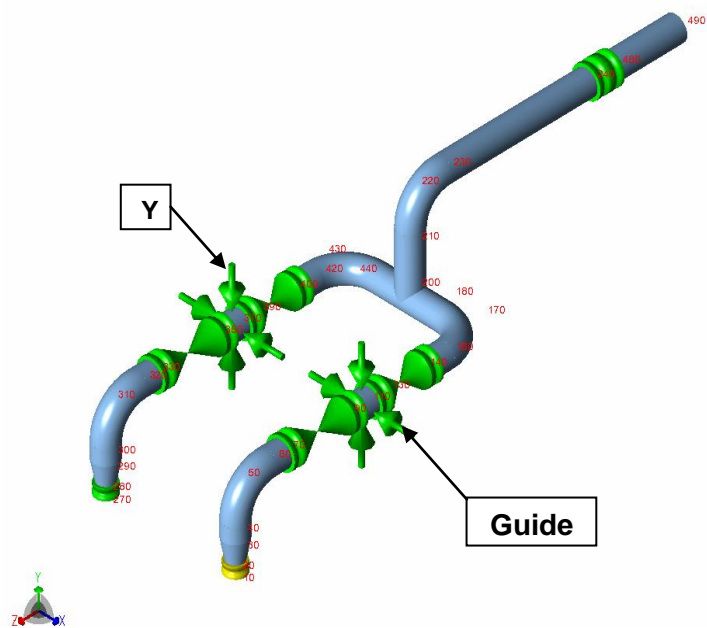
Struktur dimodelkan sesuai dengan keadaan di lapangan dengan bantuan software CAESAR II versi 5.10. Tahapan selanjutnya setelah pemodelan adalah melakukan analisa tegangan yang terjadi pada sistem pemipaan. Berikut ini adalah gambar tampilan pemodelan setelah dilakukan analisa tegangan pada sistem perpipaan sistem pendingin primer pompa *suction* dan *discharge*.



Gambar 3. Flow chart pengujian dengan Caesar II 5.1



Gambar 4. Gambar pemodelan pompa suction



Gambar 5. Gambar pemodelan pompa Discharge



4.HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebagai acuan analisis pemipaan untuk sistem pendingin primer reaktor TRIGA MARK Bandung digunakan *code* untuk *power piping* yaitu ASME B31.1. Setelah dilakukan pemodelan langkah selanjutnya adalah melakukan *running*. Jika hasil *running caesar* yang dihasilkan masih gagal atau masih terjadi *over stress* dari pemodelan karena melebihi batasan *allowable* dari *code* yang digunakan yaitu B31.1, maka model yang sudah dibuat harus dievaluasi lagi dengan merubah besarnya gap pada sistem penyangga (*support*). kemudian dilanjutkan menganalisa *displacement* serta *restraint* yang ada. Analisa *displacement* dimaksudkan untuk mengetahui berapa besarnya penurunan atau kenaikan dari pipa sedangkan untuk analisa *restrain* dimaksudkan untuk mengetahui berapa besarnya gaya dan momen pada tiap titik *support*. Kemudian dilanjutkan dengan menganalisa beban aktual yang diperbolehkan pada masing-masing *nozzle* yang ada pada pompa *suction* (hisap) maupun *discharge* (sembur) dari sistem pendingin primer reaktor TRIGA MARK Bandung.

Batasan beban aktual yang diperbolehkan pada masing-masing *nozzle* yang tersambung dengan pompa telah ditetapkan dalam *standard*, yaitu *standard API (American Petroleum Institute)* 610 untuk pompa sentrifugal. Dari analisa diperoleh besarnya gaya dan momen yang diterima oleh *nozzle* pompa seperti terlihat dalam tabel 2. Gaya dan momen tersebut kemudian dibandingkan dengan gaya dan momen maksimum yang diizinkan untuk *nozzle* pompa berdasarkan API 610.

Tabel 2. Gaya dan moment hasil run caesar untuk pompa A

Nozzle	Ukuran Nozzle	Node	Case	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
				(Kg)			(Kg-m)		
SUCTION (END)	6"	10	1 (OPE)	-178	-93	245	-13.09	28.73	12.6
			2 (OPE)	-137	-94	313	-13.38	22.18	12.87
			3 (OPE)	-218	-87	169	-12.2	35.22	11.74
			4 (SUS)	0	-74	-5	-10.01	0.01	8.32
DISCH. (TOP)	4"	10	1 (OPE)	-108	-66	140	41.7	3.31	53.19
			2 (OPE)	-87	-90	233	78.47	6.4	34.99
			3 (OPE)	-131	6	-18	-5.59	0.53	71.31
			4 (SUS)	3	0	-7	-1.65	-0.97	0.28

Tabel 3. Gaya dan moment hasil run caesar untuk pompa B

Nozzle	Ukuran Nozzle	Node	Case	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
				(Kg)			(Kg-m)		
SUCTION (END)	6"	130	1 (OPE)	217	-28	259	-2.63	-35.03	-14.61
			2 (OPE)	257	-26	186	-2.35	-41.58	-14.99
			3 (OPE)	176	-25	322	-2.17	-28.44	-13.67
			4 (SUS)	-1	-73	0	-9.91	0.11	-8.34
DISCH. (TOP)	4"	270	1 (OPE)	110	-65	144	43.54	-3.45	-54.02
			2 (OPE)	133	7	-18	-5.67	-0.67	-72.12
			3 (OPE)	89	-89	239	81.04	-6.53	-35.8
			4 (SUS)	-3	0	-7	-1.65	0.97	-0.28



Dari hasil *running* Caesar didapatkan gaya dan momen yang bervariasi untuk setiap *nozzle* pompa. Secara individual masing-masing pompa baik itu pompa *discharge* maupun pompa *suction* ada yang melebihi *allowable* pada kondisi operasi 2 dan kondisi operasi 3 hal itu bisa dilihat untuk pompa *discharge* di node 10 dan node 270 untuk gaya ke arah Z dan gaya ke arah X melebihi *allowable*. Sedangkan untuk pompa *suction* pada kondisi operasi 2 dan kondisi operasi 3 pada node 130 gaya ke arah X dan gaya ke arah Z melebihi *allowable*. Setelah dibandingkan dengan tabel API 610 bisa diketahui bahwa gaya dan moment yang ada pada setiap *nozzle* pompa kurang dari 2 kali tabel. Sehingga perlu dilakukan perhitungan gabungan (kombinasi) sesuai kriteria F1.2b dan F1.2c untuk pompa A dan pompa B berdasarkan API 610 antara pompa *suction* dan pompa *discharge*. Berikut hasil perhitungan berdasarkan kriteria F1.2b dan F1.2c adalah :

Tabel. 4 Persamaan F1.2b untuk pompa A

Kriteria F1.2.b	Kondisi Operasi 2	Kondisi Operasi 3
F.1	0.9889	0.59814
F.2	0.57755	0.50373

Tabel 5. Persamaan F1.2c untuk pompa A

Kriteria F1.2.c	Kondisi Operasi 2	Kondisi Operasi 3
F.3	$618.18 < 1,076.68$	$388.8 < 1,076.68$
F.4	$126.52 < 379$	$-31.96 < 379$
F.5	$152.70 < 753.55$	$139.4 < 753.55$

Tabel 6. Persamaan F1.2b untuk pompa B

Kriteria F1.2.b	Kondisi Operasi 2	Kondisi Operasi 3
F.1	0.6063	1.013
F.2	0.557	0.6028

Tabel 7. Persamaan F1.2c untuk pompa B

Kriteria F1.2.c	Kondisi Operasi 2	Kondisi Operasi 3
F.3	$425.07 < 1,076.68$	$630.83 < 1,076.68$
F.4	$-16.09 < 379$	$149.03 < 379$
F.5	$145.41 < 753.55$	$175.580 < 753.55$

setelah dilakukan kombinasi antara pompa *suction* dan pompa *discharge* untuk pompa A dan juga pompa B bisa dilihat bahwa berdasarkan kriteria F12.b pada kondisi operasi 2 dan 3 kurang dari 2 dan berdasarkan kriteria F12.c untuk pompa A dan pompa B *nozzle* pompa masih dalam batas yang diijinkan.

1. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. *Nozzle* pompa masih dalam batas yang diijinkan berdasarkan tabel API 610 yaitu kurang dari 2 kali tabel API 610.
2. Kombinasi pompa A dan Pompa B berdasarkan kriteria F12.b dan kriteria F12.c masih dalam batas yang diijinkan.



2. DAFTAR PUSTAKA

1. Rahardjo, Henky Poedjo, "Pengaruh Gempa Patahan Lembang Terhadap Tegangan Pipa Sistem Pendingin Primer Reaktor TRIGA 2000 Bandung", Prosiding Seminar Nasional ke-15 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir, Surakarta, 17 Oktober 2009.
2. Anhar R. Antariksawan, Aliq, Puradwi, Ismu Handoyo, "EVALUASI DISAIN SISTEM PENDINGIN REAKTOR TRIGRA MARK II BANDUNG DAYA 2 MW", Prosiding Presentasi Ilmiah Teknologi Keselamatan Nuklir-V, Serpong, 28 Juni 2000.
3. <http://pipestress2009.wordpress.com/2008/04/09/pengantar-dynamic-analysis-pada-caesar-ii/>
4. Priyoasmoro, Cahyo Hardo, " CARA MENGAJI PIPING & INSTRUMENTATION DIAGRAM", Milis Migas Indonesia, diakses pada tanggal 5 Mei 2011.
5. API Standard 610, 1995, Centrifugal Pumps for Petroleum, Heavy Duty Chemical, and Gas Industry , American PetroleumInstitute, Washington, DC.
6. Perangkat lunak Caesar II 5.10

PERTANYAAN :

1. Beban Nozzle pompa pada item peningn primer memenuhi kriteria (aman dan memenuhi syarat untuk pendinginan reactor pada daya berapa? Mohon dijelaskan (SUWARDIYONO)

JAWABAN :

1. Berdasarkan temperature yang kami pakai yaitu 45,3°C, untuk system pendingin primer pada saat itu kondisi operasi daya, 2000 kW. Berdasarkan data yang ada walaupun pada saat survey kondisi reactor shut-down tetapi untuk analisis yang ada memasukan temperature dan tekanan pada daya 2000 kW.