



EVALUASI DISAIN INSTALASI PIPA FRESH FIRE WATER STORAGE TANK

Ir. Budi Santoso, Ir. Petrus Zacharias

PRPN BATAN, Kawasan PUSPIPEK, Gedung 71, Tangerang Selatan, 15310

ABSTRAK

EVALUASI DISAIN INSTALASI PIPA FRESH FIRE WATER STORAGE TANK. Dalam makalah ini disampaikan hasil analisis dan evaluasi instalasi pipa Fresh Fire Water Storage Tank. Evaluasi dilakukan menggunakan program pipe stress analisis CAESAR II. Program ini dapat menghitung tegangan, gaya dan momen yang terjadi pada sistem pemipaan dengan cepat dan akurat. Program ini dirancang khusus untuk menganalisis disain instalasi pemipaan baik pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) maupun pada Oil and Gas, Petrochemical Plant, Geothermal Plant. Untuk instalasi pipa Fresh Fire Water Storage Tank analisis dilakukan dengan kombinasi beban statik dan dinamik sesuai dengan data-data desain pada instalasi pemipaan. Hasil analisis berupa tegangan, gaya, momen, lendutan dievaluasi dengan batas-batas yang diijinkan menurut ASME Code B31.3

Kata kunci : PLTN, instalasi pemipaan, evaluasi disain.

ABSTRACT

EVALUATION DESIGN PIPELINE INSTALLATION FIRE FRESH WATER STORAGE TANK. In this paper presented the results of the analysis and evaluation of pipeline installation Fresh Fire Water Storage Tank. The evaluation was done using the program CAESAR II pipe stress analysis. This program can calculate the stress, force and moment that occurs in the piping system quickly and accurately. The program is designed specifically to analyze the design of piping installations both nuclear power plants and the Oil and Gas, Petrochemical Plant, Geothermal Plant. For pipe installation Fresh Water Storage Tank Fire analysis was performed with a combination of static and dynamic loads in accordance with the data on the installation of piping design. The results of the analysis in the form of stress, force, moment, deflection evaluated by the allowable limits according to ASME B31.3 Code

Keyword : PLTN, piping installation, design evaluation.

1. PENDAHULUAN

Integritas struktur sistem perpipaan baik itu Oil and Gas, Petrochemical Plant, Geothermal Plant, maupun Nuclear Power Plant merupakan sistem konstruksi yang besar dan kompleks. Sistem perpipaan ini harus mampu menahan semua beban yang bekerja, baik beban statik maupun dinamik ^[1]. Kemampuan sistem perpipaan untuk menahan beban yang bekerja seharusnya tidak menimbulkan kegagalan Hal ini terkait dengan faktor keselamatan terhadap manusia, lingkungan dan perlindungan investasi akibat kesalahan rancangan sistem. Salah satu hal yang penting adalah rancangan sistem pemipaan. Kecelakaan sering diakibatkan oleh kegagalan fungsi sistem pemipaan saat terjadi kombinasi beban statik dan dinamik menyebabkan terjadinya tegangan dan



pergeseran melampaui batas yang diizinkan. Analisis fleksibilitas sistem pemipaan perlu dilakukan untuk memastikan bahwa sistem perpipaan pada kondisi operasi yang aman, khususnya pada power plant mengingat fluida kerja yang berupa uap air dengan tekanan dan temperatur tinggi

Sistem perpipaan harus mempunyai fleksibilitas yang cukup sehingga ekspansi termal dan kontraksi tidak akan menyebabkan :

- a. Kegagalan akibat overstress atau fatigue
- b. Kebocoran pada sambungan
- c. Kelebihan beban pada support dan equipment nozzle

Pembahasan dalam makalah ini diarahkan pada evaluasi sistem instalasi pipa evaluasi disain instalasi pipa fresh fire water storage tank dengan melakukan analisis tegangan pipa. Tegangan pipa terjadi akibat perlakuan beban statik dan dinamik secara berulang-ulang. Pelaksanaan analisis menggunakan program CAESAR II. Program ini mampu menghitung besaran tegangan pipa baik pada arah lateral maupun aksial dengan sangat teliti. Prinsip dasar evaluasi adalah memperhitungkan kemampuan sistem pemipaan menerima perlakuan beban statik dan dinamik pada kondisi-kondisi pelayanan operasi normal, maupun abnormal.

2. DASAR TEORI

Dalam suatu sistem pemipaan ada beberapa kondisi pembebanan yang mengakibatkan timbulnya tegangan pipa, yaitu pembebanan primer dan pembebanan sekunder. Pembebanan primer adalah pembebanan yang dipengaruhi oleh beban statik, sedangkan pembebanan sekunder dipengaruhi oleh beban dinamik.

Kombinasi beban statik dan dinamik pada suatu sistem pemipaan akan menimbulkan momen dan gaya yang dapat melampaui batas tegangan pipa yang diijinkan. Untuk melakukan analisa tegangan harus ditaati suatu ketentuan standar internasional ASME B31.1 Power Piping yang antara lain memuat tentang :

- a. Tegangan sustain akibat beban tekanan, berat dan beban mekanik lain
- b. Tegangan occasional akibat beban tekanan, berat, beban sustain dan beban seismik
- c. Tegangan ekspansi thermal
- d. Tegangan longitudinal akibat tekanan, beban sustain, occasional dan beban ekspansi thermal



- e. Tegangan ijin maksimum material akibat internal pressure dan efisiensi sambungan pada temperature desain
- f. *Allowable stress* dan basic material *allowable stress*

Tegangan yang terjadi pada beban sustain merupakan beban yang diakibatkan oleh adanya berat pipa, komponen pipa, fluida, insulasi dan tekanan yang terjadi terus menerus, dinyatakan dengan persamaan 1 sebagai berikut :

$$\frac{PD_o}{4t_n} + \frac{0.75iMa}{Z} \leq 1.0Sh \quad (\text{USCS unit})$$

$$\left(\frac{PD_o}{4t_n} \right) + 1000 \frac{0.75iMa}{Z} \leq 1.0S_h \quad (\text{SI unit})$$

(1)

dengan

- Do : Diameter luar aktual pipa, mm
- P : Tekanan dari dalam, kg/mm²
- Sh : Tegangan yg diijinkan pada temperatur operasi, kg/mm²
- t_n : Tebal minimum dinding pipa, mm
- i : Faktor intensifikasi tegangan
- Z : Seksi modulus pipa, mm³
- Ma : Resultan momen pada beban sustain, kg-mm

Tegangan yang diakibatkan oleh adanya tekanan, berat, beban sustain yang lain, dan beban *occasional* dinyatakan dengan persamaan 2 :

$$\left(\frac{PD_o}{4t_n} \right) + \left(\frac{0.75iMa}{Z} \right) + \left(\frac{0.75iMb}{Z} \right) \leq kS_h \quad (\text{USCS unit})$$

$$\left(\frac{PD_o}{4t_n} \right) + 1000 \left(\frac{0.75iMa}{Z} \right) + 1000 \left(\frac{0.75iMb}{Z} \right) \leq kSh \quad (\text{SI unit})$$

(2)



Tegangan akibat *thermal expansion* dinyatakan dengan persamaan 3 :

$$S_e = 1000 \left(\frac{iMo}{Z} \right) \leq S_a + f(S_h - S_L) \quad (\text{USCS unit})$$

$$S_e = 1000 \left(\frac{iMo}{Z} \right) \leq S_a + f(S_h - S_L) \quad (\text{SI unit})$$

(3)

Beban operasi yaitu tegangan akibat gabungan beban sustain dan beban ekspansi termal, $S_{is} + S_e$, dihitung dengan persamaan 4

$$S_{is} + S_e = \left(\frac{PDo}{4t_n} \right) + \left(\frac{0.75iMa}{Z} \right) + \left(\frac{iMc}{Z} \right) \leq (S_h + S_a) \quad (\text{USCS unit})$$

$$S_{is} + S_e = \left(\frac{PDo}{4t_n} \right) + 1000 \left(\frac{0.75iMa}{Z} \right) + 1000 \left(\frac{iMc}{Z} \right) \leq (S_h + S_a) \quad (\text{SI unit})$$

(4)

Tegangan yang terjadi akibat beban *occasional* merupakan jumlah tegangan longitudinal akibat tekanan, berat dan beban sustain lain serta tegangan yang dihasilkan oleh beban *occasional* misalnya angin atau seismik. Tegangan ini tidak melebihi $1.33 S_h$. Tegangan yang diakibatkan oleh adanya pergeseran S_e dihitung dengan persamaan 5

$$S_e = \left((S_h)^2 + 4(S_r)^2 \right)^{1/2} \quad (5)$$

Allowable Stress Range S_A for Expansion Stresses dinyatakan dengan persamaan 6 :

$$S_A = f(1.25 S_c + 0.25 S_h) \quad (6)$$

dengan :

D_o : Diameter luar aktual pipa, mm

P : Tekanan dari dalam, kg/mm^2

S_h : Tegangan yg diijinkan pada temperatur operasi, kg/mm^2

S_c : Tegangan yg diijinkan pada temperatur instalasi, kg/mm^2



- t_n :Tebal minimum dinding pipa,mm
 i :Faktor intensifikasi tegangan
 Z :Seksi modulus pipa, mm³
 M_a : Resultan momen pada beban sustain, kg-mm
 M_b : Resultan momen pada beban ekspansi, kg-mm
 M_c : Resultan momen pada beban occasional, kg-mm
 S_b :Tegangan bending, kg/mm²
 S_c :Tegangan melingkar, kg/mm²
 S_t :Tegangan torsi, kg/mm²
 S_a :Allowable stress range kg/mm²
 S_{is} :Beban *sustain*
 k :Faktor untuk beban *occasional*
 f : *stress range reduction factor*

Tabel 1. Hubungan siklus N dengan harga f

No.	Siklus N	f
1.	Sampaidengan 7.000	1.0
2.	7.000 – 14.000	0.9
3.	14.000 – 22.000	0.8
4.	22.000 – 45.000	0.7
5.	45.000 – 100.000	0.6
6.	Diatas 100.000	0.5

3. TATA KERJA

Data masukan yang perlu dipersiapkan sebelum dilakukan pemodelan dapat berupa gambar isometrik, informasi proses, spesifikasi material pipa dan equipment yang digunakan, dokumen spesifikasi perancangan pipa, dokumen spesifikasi perancangan *equipment*, ASME Code yang digunakan, ASTM spesifikasi material yang digunakan, *Piping material catalog* untuk : pipa, *elbow*, *valve*, *flange*, *tee*, dan lain-lain. Data-data dari gambar isometrik, gambar P & ID dan data lainnya dimodelkan ke dalam program Caesar II kemudian dilakukan analisa.

Kondisi operasi yang digunakan adalah sebagai berikut :

Tekanan operasi = 1600 Kpa

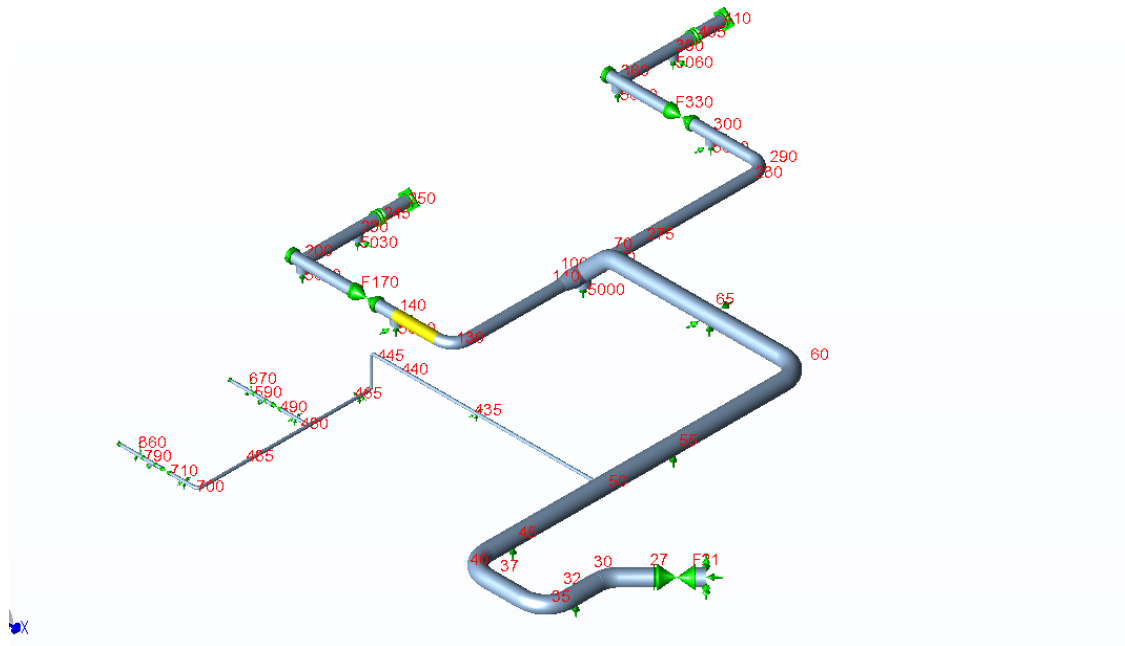
Suhu operasi = 60⁰ C

Kode desain = ASME B31.3



Dia. Pipa = 4" SCH. STD, 24" SCH. 10S

Material = A790 S 32750



Gambar 1. Konfiguraasi sistem pemipaan fresh fire water storage tank

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut hasil analisa perpipaan sistem *fresh fire water storage tank* seperti ditunjukkan pada Tabel 2, 3, dan 4.

Tabel 2. Code stress

Node	Load Case	Stress (N/sq.mm)		Ratio (%)
		Code	Allowable	
300	(EXP) L10=L2-L9	99.6	437.7	22.8
34	(EXP) L11=L3-L9	39.5	627.2	6.3
300	(EXP) L12=L4-L9	86.8	443.4	19.6
300	(EXP) L13=L5-L9	87.0	448.1	19.4
140	(EXP) L14=L6-L9	379.7	522.6	6.3
34	(EXP) L15=L7-L9	39.5	627.2	6.3
34	(EXP) L16=L8-L9	39.5	627.2	6.3
300	(EXP) L17=L10+L13	186.6	437.7	42.6
140	(EXP) L18=L12+L14	459.2	509.9	90.1



Tabel 3. Displacement case (OPE) W+D2+T2+P

NODE	DX mm.	DY mm.	DZ mm.	RX deg.	RY deg.	RZ deg.
5	-3.010	-25.000	3.010	-0.2717	-0.0109	-0.2717
9	-6.088	-25.000	6.088	0.0389	-0.0000	0.0389
10	-3.050	-22.984	2.967	-0.2780	-0.0109	-0.2681
27	-3.218	-14.505	2.797	-0.2799	-0.0108	-0.2667
29	-3.317	-5.487	2.673	-0.2610	0.0128	-0.2137
30	-3.179	-3.691	2.694	-0.2419	0.0285	-0.1988
32	-2.724	-0.000	2.689	-0.2357	0.0279	-0.1734
33	-2.562	1.352	2.689	-0.2321	0.0268	-0.1636
34	-2.478	3.877	2.686	-0.1092	-0.0142	-0.0900
35	-2.606	4.321	2.301	-0.0497	-0.0496	0.0667
37	-2.605	2.682	1.176	-0.0519	-0.0515	0.0765
38	-2.605	2.292	0.917	-0.0524	-0.0516	0.0770
39	-2.378	1.163	0.354	-0.0493	-0.0446	0.0719
40	-1.980	0.419	0.171	-0.0236	-0.0248	0.0593
45	-1.531	-0.000	0.169	-0.0191	-0.0222	0.0541
50	-0.424	-0.364	0.164	0.0072	-0.0118	0.0361
55	-0.013	-0.000	0.161	-0.0066	-0.0048	0.0213
58	0.117	-1.923	0.160	-0.0268	-0.0001	-0.0017
59	0.116	-2.097	0.161	-0.0089	-0.0003	-0.0137
60	0.120	-1.807	0.146	0.0003	-0.0024	-0.0378
65	0.119	-0.000	0.005	-0.0025	-0.0028	-0.0173
68	0.121	-0.116	-0.178	-0.0059	-0.0028	0.0066
69	0.124	-0.141	-0.186	-0.0064	-0.0020	0.0006
70	0.113	-0.126	-0.167	-0.0080	-0.0002	-0.0071
80	-0.006	-0.005	-0.044	-0.0090	-0.0003	-0.0087
85	-0.006	-0.005	-0.044	-0.0090	-0.0003	-0.0087
90	-0.004	-0.093	-0.044	-0.0120	-0.0003	-0.0092
100	-0.008	0.044	-0.044	-0.0062	-0.0002	-0.0089
110	-0.009	0.072	-0.044	-0.0011	-0.0001	-0.0094
120	0.020	-0.658	-0.044	0.0090	0.0007	-0.0166
129	0.026	-0.610	-0.042	-0.0032	0.0008	-0.0215
130	0.029	-0.431	-0.036	-0.0035	0.0006	-0.0187
140	0.029	-0.006	-0.020	-0.0028	0.0004	-0.0018
150	0.029	-0.076	-0.015	-0.0025	0.0003	0.0053
180	0.029	-0.161	-0.010	-0.0024	0.0003	0.0047
270	-0.001	-0.231	-0.044	-0.0175	-0.0003	-0.0106
275	0.013	-1.006	-0.044	-0.0293	-0.0006	-0.0190
280	0.054	-1.693	-0.042	0.0124	-0.0001	-0.0425
289	0.047	-1.392	-0.038	0.0242	0.0021	-0.0483
290	0.039	-0.962	-0.018	0.0206	0.0023	-0.0397
300	0.039	-0.008	0.036	0.0123	0.0006	-0.0110
310	0.039	-0.015	0.035	0.0096	-0.0005	0.0033
340	0.039	-0.073	0.026	0.0093	-0.0006	0.0033
350	0.039	-0.080	0.025	0.0093	-0.0006	0.0032
410	0.000	-0.000	0.000	0.0000	0.0000	-0.0000
421	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	-0.0000
430	-0.424	-0.557	0.102	0.0072	-0.0117	0.0363
435	-0.417	-0.000	-0.000	-0.0068	-0.0027	-0.0155
440	-0.415	-0.441	-0.384	-0.0153	-0.0085	-0.0048
445	-0.415	-0.268	-0.512	-0.0181	-0.0058	-0.0109
449	-0.416	-0.225	-0.523	-0.0198	-0.0023	0.0016
450	-0.402	-0.229	-0.485	-0.0218	-0.0008	0.0128



NODE	DX mm.	DY mm.	DZ mm.	RX deg.	RY deg.	RZ deg.
458	-0.087	-0.227	-0.071	-0.0256	0.0053	0.0185
459	-0.051	-0.206	-0.020	-0.0281	0.0051	0.0152
460	-0.030	-0.152	0.002	-0.0270	0.0050	0.0134
465	-0.000	-0.000	0.002	-0.0203	0.0040	0.0091
470	0.000	-0.157	0.003	0.0279	-0.0007	-0.0170
475	0.000	-0.000	-0.000	0.0223	-0.0001	-0.0080
480	-0.001	-0.213	0.003	0.0315	-0.0006	-0.0170
485	-0.006	-1.391	0.002	0.0001	0.0002	-0.0171
565	0.001	-0.038	-0.038	0.0145	0.0000	0.0004
580	0.001	-0.038	-0.052	0.0145	0.0000	0.0004
630	0.005	-0.011	0.012	0.0099	0.0000	-0.0036
640	0.011	-0.011	0.029	0.0099	0.0000	-0.0036
650	0.022	-0.011	0.060	0.0099	0.0000	-0.0036
660	0.029	-0.011	0.078	0.0099	0.0000	-0.0036
670	0.033	-0.011	0.091	0.0099	0.0000	-0.0036
698	0.000	-0.227	0.002	-0.0501	0.0000	-0.0171
699	0.000	-0.123	0.002	-0.0458	-0.0002	-0.0156
700	0.000	-0.063	0.002	-0.0424	-0.0003	-0.0112
705	0.000	-0.000	0.000	-0.0355	-0.0002	-0.0032
775	-0.002	-0.049	0.057	-0.0222	0.0000	-0.0007
780	-0.002	-0.049	0.078	-0.0222	0.0000	-0.0007
820	0.006	-0.014	-0.018	-0.0144	0.0001	-0.0046
830	0.014	-0.014	-0.044	-0.0144	0.0001	-0.0046
840	0.028	-0.014	-0.088	-0.0144	0.0001	-0.0046
850	0.036	-0.014	-0.114	-0.0144	0.0001	-0.0046
860	0.042	-0.014	-0.133	-0.0144	0.0001	-0.0046

Tabel 4. Restraint summary

NODE	Load Case	FX N.	FY N.	FZ N.	MX N.m.	MY N.m.	MZ N.m.
5	Flex Z; Rigid Y; Rigid X; Flex RX; Flex RY; Rigid RZ						
	2 (OPE)	12064	-1226	-14778	-32412	-157	14670
	3 (OPE)	10792	-1421	-14496	-31698	-182	15660
	4 (OPE)	12418	-1156	-15086	-32577	-187	14744
	9 (SUS)	-7	-14056	6	-3556	0	3835
	MAX	12418/4	-14056/9	-15086/4	-32577/4	-187/4	15660/3
32	Rigid +Y						
	2 (OPE)	-10385	-49915	10788	0	0	0
	3 (OPE)	-10651	-49890	10515	0	0	0
	4 (OPE)	-10633	-50049	10601	0	0	0
	9 (SUS)	2	-24579	5	0	0	0
	MAX	10651/3	-50049/4	10788/2			
45	Rigid +Y						
	2 (OPE)	-1059	-3843	456	0	0	0
	3 (OPE)	-1213	-4067	134	0	0	0
	4 (OPE)	-1098	-3851	359	0	0	0



	9 (SUS)	15	-20579	171	0	0	0
	MAX	-1213/3	-20579/9	456/2			
55	Rigid +Y						
	2 (OPE)	385	-35350	7233	0	0	0
	3 (OPE)	-228	-34118	2815	0	0	0
	4 (OPE)	-1473	-35104	7174	0	0	0
	9 (SUS)	166	-30362	180	0	0	0
	MAX	-1473/4	-35350/2	7233/2			
65	Rigid +Y; Rigid Z w/gap						
	2 (OPE)	8369	-31297	-4256	0	0	0
	3 (OPE)	2076	-34002	90	0	0	0
	4 (OPE)	8785	-31767	-3695	0	0	0
	9 (SUS)	909	-35012	-716	0	0	0
	MAX	8785/4	-35012/9	-4256/2			
F260	Rigid ANC						
	2 (OPE)	2658	-817	-7055	-1807	985	997
	3 (OPE)	210	-2798	-103	1005	349	-507
	4 (OPE)	2079	-1470	-6879	-876	778	742
	9 (SUS)	228	-2801	-105	1006	361	-512
	MAX	2658/2	-2801/9	-7055/2	-1807/2	985/2	997/2
261	Displ. Reaction						
	2 (OPE)	2658	-817	-7055	-1807	985	997
	3 (OPE)	210	-2798	-103	1005	349	-507
	4 (OPE)	2079	-1470	-6879	-876	778	742
	9 (SUS)	228	-2801	-105	1006	361	-512
	MAX	2658/2	-2801/9	-7055/2	-1807/2	985/2	997/2
F420		Rigid ANC					
	2 (OPE)	2298	-787	-5607	-1825	264	1903
	3 (OPE)	10	-3006	351	1130	169	-345
	4 (OPE)	2351	-1510	-4741	-850	480	1606
	9 (SUS)	4	-3016	371	1137	167	-347
	MAX	2351/4	-3016/9	-5607/2	-1825/2	480/4	1903/2
421		Displ. Reaction					
	2 (OPE)	2298	-787	-5607	-1825	264	1903
	3 (OPE)	10	-3006	351	1130	169	-345
	4 (OPE)	2351	-1510	-4741	-850	480	1606
	9 (SUS)	4	-3016	371	1137	167	-347
	MAX	2351/4	-3016/9	-5607/2	-1825/2	480/4	1903/2



435		Rigid +Y; Rigid Z					
	2 (OPE)	-233	-777	-292	0	0	0
	3 (OPE)	-388	-1293	-54	0	0	0
	4 (OPE)	-276	-919	-244	0	0	0
	9 (SUS)	85	-1138	-31	0	0	0
	MAX	-388/3	-1293/3	-292/2			
465		Rigid +Y; Rigid GUI					
	2 (OPE)	-2366	-1491	-447	0	0	0
	3 (OPE)	-283	-1112	42	0	0	0
	4 (OPE)	-1776	-1387	-416	0	0	0
	9 (SUS)	-217	-1154	32	0	0	0
	MAX	-2366/2	-1491/2	-447/2			
475		Rigid +Y; Rigid Z					
	2 (OPE)	450	-1502	-4519	0	0	0
	3 (OPE)	5	-1812	-30	0	0	0
	4 (OPE)	474	-1582	-2873	0	0	0
	9 (SUS)	3	-1813	-22	0	0	0
	MAX	474/4	-1813/9	-4519/2			
615		Rigid +Y					
	2 (OPE)	373	-1366	170	0	0	0
	3 (OPE)	2	-1014	-1	0	0	0
	4 (OPE)	365	-1318	151	0	0	0
	9 (SUS)	1	-982	-1	0	0	0
	MAX	373/2	-1366/2	170/2			
F690		Rigid ANC					
	2 (OPE)	-96	114	505	63	-399	-52
	3 (OPE)	41	105	0	76	0	35
	4 (OPE)	-327	154	269	67	-230	-9
	9 (SUS)	31	90	0	78	0	32
	MAX	-327/4	154/4	505/2	78/9	-399/2	-52/2

Dari tabel 2, 3, dan 4 diatas terlihat bahwa untuk kasus *ekspansi* tegangan yang terjadi masih di bawah batas yang diijinkan. Beban penyangga seperti terlihat pada Tabel 4 harus diinformasikan ke disiplin sipil untuk keperluan pondasi sedangkan beban nozzle



pada node 5 Tabel 4 harus diinformasikan ke vendor untuk memastikan bahwa beban nozzle masih aman.

5. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan analisa tegangan pipa untuk sistem fresh fire water storage tank dapat disimpulkan bahwa sistem perpipaan tersebut aman untuk dioperasikan

6. DAFTAR PUSTAKA

1. SHERWOOD, DAVID R. 1976, "The Piping Guide", Syntex Book Coy, San Fransisco, Engineer
2. SAM KANNAPAN. PE, 1985. "Introduction to Pipe Stress Analysis", John Wiley & Sons, New York
3. Anonymous, The American Society of Mechanical Engineer. "ASME B31.1, Power Piping", ASME International, 2000

