

ANALISIS TEGANGAN PIPA PADA SISTEM PENDINGIN SEKUNDER REAKTOR TRIGA MARK II BANDUNG

Budi Santoso, Petrus Zacharias
Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir (PRPN) - Kawasan Puspiptek Serpong
E-mail: ibed.santos@yahoo.com

ABSTRAK

ANALISIS TEGANGAN PIPA PADA SISTEM PENDINGIN SEKUNDER REAKTOR TRIGA MARK II BANDUNG. Telah dilakukan analisa tegangan pipa pada sistem pendingin sekunder reaktor Triga Mark II Bandung. Analisa yang dilakukan adalah analisa yang disebabkan oleh pengaruh beban internal terhadap kekuatan sistem perpipaan. Beban internal merupakan beban yang timbul karena efek dari tekanan dan temperatur fluida. Kedua beban tersebut bekerja secara simultan dan dapat menimbulkan tegangan, gaya dan momen serta pergeseran sistem perpipaan. Oleh karena itu dalam merancang sistem perpipaan diupayakan agar tegangan, gaya dan momen maupun pergeseran yang terjadi tidak melebihi batasan-batasan yang diijinkan. Dari hasil analisa dengan bantuan perangkat lunak CAESAR II menunjukkan bahwa tegangan, gaya, momen dan pergeseran masih dibawah batasan yang diijinkan.

Kata kunci: tegangan pipa, Triga Mark II, CAESAR II

ABSTRACT

PIPE STRESS ANALYSIS IN SECONDARY REACTOR COOLING SYSTEM TRIGA MARK II BANDUNG. Pipe stress analysis has been performed on the primary coolant system of the reactor TRIGA Mark II Bandung. Analysis due to the influence of internal load to the strength of the piping system. Internal loads are loads that arise due to the effects of pressure and fluid temperature. Both loads are working simultaneously and can cause stress, force and moment as well as a shift in the piping system. There fore, in designing the piping system aligned to the stress, force and moment as well as the shift that occurs does not exceed the allowable limits. From the analysis with the help of software CAESAR II shows that the stress, force, torque and the shift is still below the allowable limit.

Keywords: pipe stress, Triga Mark II, CAESAR II

1. PENDAHULUAN

Sistem pemipaan pendingin sekunder adalah bagian penting dari reaktor riset Triga Mark II Bandung, karena bagian ini adalah bagian yang berperan untuk mensirkulasikan air pendingin sekunder. Air pendingin sekunder berfungsi untuk mengambil panas dari pendingin primer melalui penukar panas. Panas ini berasal dari reaksi fisi di dalam teras reaktor yang disirkulasikan dari kolam reaktor melalui pipa pendingin primer, tangki tunda hingga penukar panas. Dari penukar panas ini, panas diangkut ke menara pendingin oleh air pendingin sekunder untuk selanjutnya dibuang ke udara bebas. Sebagaimana halnya dengan komponen-komponen reaktor lainnya, sistem pemipaan pendingin sekunder ini harus didesain mampu menahan semua beban yang bekerja baik beban statik maupun beban dinamik, Kemampuan sistem perpipaan untuk menahan semua beban sehingga tidak menimbulkan kegagalan dikenal sebagai fleksibilitas sistem perpipaan. Analisa tegangan pipa perlu dilakukan untuk memastikan bahwa sistem pemipaan pada kondisi operasi yang aman. Sistem pemipaan harus mempunyai fleksibilitas yang cukup sehingga ekspansi termal dan kontraksi tidak akan menyebabkan :

- a. Kegagalan akibat *over stress* atau *fatigue*

- b. Kebocoran pada sambungan flange
- c. Kelebihan beban pada *equipment nozzle*

Perkembangan teknologi computer yang sangat cepat dewasa ini sangat membantu kecepatan dan keakuratan dalam perhitungan analisa tegangan pipa. Terdapat beberapa program komputer yang dapat digunakan untuk melakukan analisa tegangan pipa diantaranya program AUTO PIPE, PS CAEPIPE, CAESAR II. Dalam makalah ini, untuk menentukan batasan tegangan pipa diambil salah satu rangkaian sistem pemipaan dengan bahan pipa non metalik. Analisa dan perhitungan menggunakan perangkat lunak CAESAR II dengan kombinasi beban temperature, tekanan dan beban mati.

1.1. TEORI

Analisis tegangan pipa adalah suatu cara perhitungan tegangan pada pipa yang diakibatkan oleh beban statik maupun beban dinamik yang merupakan efek resultan dari gaya gravitasi, perubahan temperature, tekanan di dalam pipa dan di luar pipa, perubahan jumlah debit fluida yang mengalir di dalam pipa dan pengaruh gaya seismik. Tegangan yang diijinkan dalam desain dan rumus perhitungan tegangan pipa mengacu pada standard ASME atau data dari vendor. Apabila dari analisa yang dilakukan didapatkan hasil yang disyaratkan maka sistem perpipaan tersebut dapat diterima untuk kondisi operasi.

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

$$\frac{PD_o}{4t_n} + \frac{0.75iM_a}{Z} \leq 1.0Sh \dots\dots\dots(1)$$

Tegangan yang diakibatkan oleh adanya tekanan, berat, beban occasional dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{PD_o}{4t_n} + \frac{0.75iM_a}{Z} + \frac{0.75iM_b}{Z} \leq 1.0KSh \dots\dots\dots(2)$$

Tegangan akibat termal ekspansi dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$S_e = 1000 \left(\frac{iM_o}{Z} \right) \leq S_a + f(S_h + S_L) \dots\dots\dots(3)$$

Beban operasi yaitu tegangan akibat gabungan beban sustain dan beban ekspansi termal dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$S_{is} + S_e = \frac{PD_o}{4t_n} + \frac{0.75iM_a}{Z} + \frac{iM_c}{Z} \leq (S_h + S_a) \dots\dots\dots(4)$$

Tegangan yang diakibatkan oleh adanya pergeseran S_e dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

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

Batas tegangan yang diijinkan S_A dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

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

dengan :

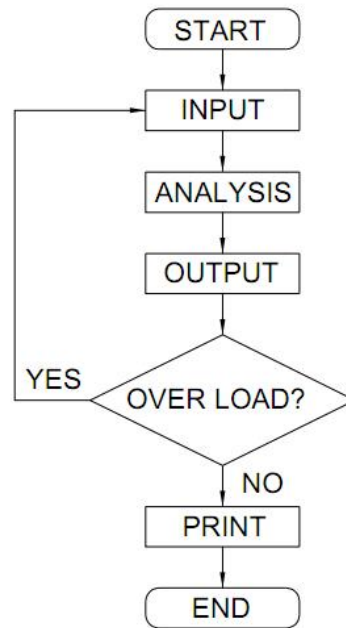
- Do : Diameter luar pipa, mm
- P : Tekanan dari dalam pipa, kg/mm²
- tn : Tebal minimum dinding pipa, mm
- i : Faktor intensifikasi tegangan
- Z : Seksi modulus pipa, mm³
- Ma : Resultan momen pada kondisi sustain, kg-mm
- Mb : Resultan momen pada kondisi ekspansi, kg-mm
- Mc : Resultan momen pada kondisi *occasional*, kg-mm
- Sb : Tegangan bending, kg/mm²
- Sc : Tegangan melingkar, kg/mm²
- St : Tegangan torsi, kg/mm²
- Sa : Allowable stress range, kg/mm²
- f : *stress range reduction faktor*

2. METODOLOGI

Data yang perlu disiapkan sebelum melakukan analisa tegangan pipa dapat berupa gambar isometric, informasi proses, spesifikasi material pipa dan equipment yang digunakan, dokumen spesifikasi perancangan equipment, standard yang digunakan, catalog untuk : pipa, *valve*, *elbow*, *flange*, *tee*, data dari *vendor*. Kondisi operasi yang digunakan adalah sebagai berikut :

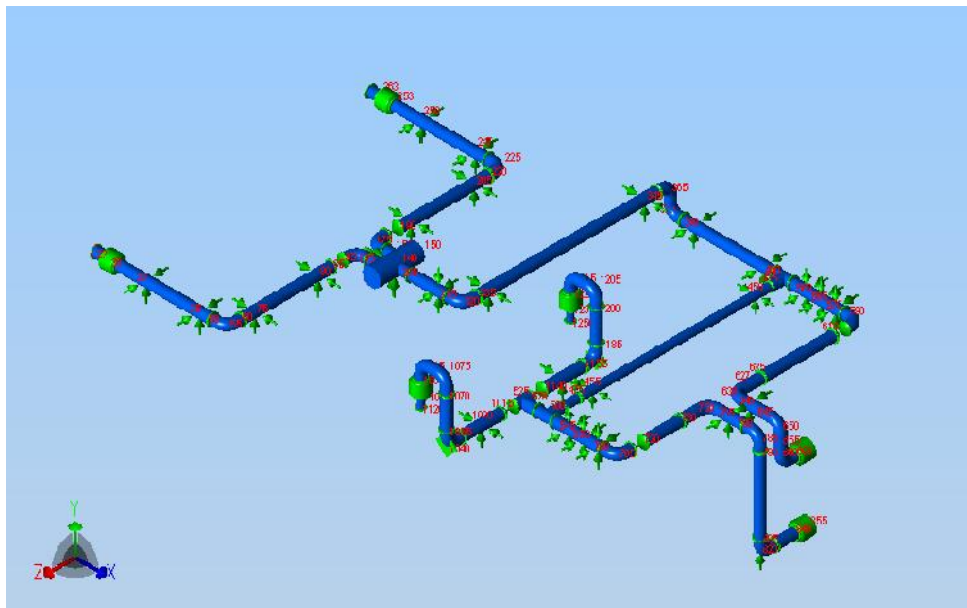
- Tekanan desain : 3 kg/cm²
- Suhu desain : 35⁰C
- Diameter pipa : 8 inchi
- Ketebalan pipa : 8.179 mm
- Material pipa : A53B
- E modulus axial : 2.0741 x 10⁺⁶kg/cm²
- Densitas : 1000 kg/m³
- Code : ASME B31.1

Setelah semua data yang diperlukan lengkap maka berdasarkan gambar isometrik dimodelkan kedalam perangkat lunak CAESAR II baik node, dimensi, jenis komponen pipa, temperature, tekanan fluida, jenis material pipa, densitas pipa, densitas insulasi maupun densitas fluida. Blok diagram alir analisa tegangan pipa seperti ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir analisa tegangan pipa

Dari hasil pemodelan diperoleh model tiga dimensi seperti pada gambar berikut:



Gambar 2. Model tiga dimensi sistem pendingin sekunder

Tahap selanjutnya adalah melakukan kalkulasi dan evaluasi terhadap tegangan maksimum yang terjadi dibandingkan dengan batas tegangan yang diijinkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut hasil analisa tegangan pipa pada sistem pendingin sekunder reaktor Triga Mark II Bandung

Tabel 1. Pergeseran statik

| Nodal | Case | DX | DY | DZ | RX | RY | RZ |
|-------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | (mm) | (mm) | (mm) | deg | deg | deg |
| 10 | Sustain | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 15 | Sustain | -0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 20 | Sustain | -0.003 | 0.000 | 0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 23 | Sustain | -0.003 | 0.000 | 0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 25 | Sustain | 4.219 | -0.036 | 2.654 | 0.001 | 0.053 | 0.003 |
| 27 | Sustain | 4.219 | -0.033 | 2.634 | 0.001 | 0.053 | 0.003 |
| 30 | Sustain | 4.219 | -0.033 | 2.616 | 0.001 | 0.053 | 0.003 |
| 33 | Sustain | 4.214 | 0.000 | 2.080 | 0.001 | 0.055 | 0.002 |
| 35 | Sustain | 4.204 | 0.000 | 0.820 | 0.001 | 0.066 | -0.002 |
| 37 | Sustain | 4.204 | -0.010 | 0.490 | 0.001 | 0.070 | -0.002 |
| 40 | Sustain | 4.204 | -0.010 | 0.467 | 0.001 | 0.070 | -0.002 |
| 45 | Sustain | 4.204 | -0.010 | 0.445 | 0.001 | 0.070 | -0.002 |
| 50 | Sustain | 4.201 | -0.015 | 0.335 | 0.001 | 0.072 | -0.002 |
| 55 | Sustain | 3.833 | -0.015 | 0.013 | 0.002 | 0.112 | 0.000 |
| 60 | Sustain | 3.655 | -0.010 | 0.013 | 0.002 | 0.112 | 0.000 |
| 65 | Sustain | 3.620 | -0.010 | 0.013 | 0.002 | 0.112 | 0.000 |
| 70 | Sustain | 3.584 | -0.010 | 0.013 | 0.002 | 0.112 | 0.000 |
| 75 | Sustain | 3.000 | 0.000 | 0.013 | 0.002 | 0.106 | 0.000 |
| 80 | Sustain | 0.853 | 0.000 | 0.015 | -0.003 | 0.068 | 0.002 |
| 85 | Sustain | 0.536 | -0.020 | 0.018 | -0.004 | 0.062 | 0.002 |
| 90 | Sustain | 0.518 | -0.020 | 0.018 | -0.004 | 0.062 | 0.002 |
| 95 | Sustain | 0.236 | -0.036 | 0.018 | -0.004 | 0.062 | 0.002 |
| 100 | Sustain | 0.218 | -0.038 | 0.018 | -0.004 | 0.062 | 0.002 |
| 105 | Sustain | -0.005 | -0.036 | -0.053 | -0.001 | 0.001 | 0.004 |
| 110 | Sustain | -0.005 | -0.028 | -0.053 | 0.000 | 0.000 | 0.004 |
| 115 | Sustain | -0.005 | -0.028 | -0.053 | 0.000 | 0.000 | 0.004 |
| 120 | Sustain | -0.005 | -0.025 | -0.053 | 0.000 | 0.000 | 0.004 |
| 125 | Sustain | -0.005 | -0.015 | -0.051 | 0.000 | -0.001 | 0.004 |
| 130 | Sustain | -0.005 | 0.000 | -0.043 | 0.000 | -0.001 | 0.003 |
| 135 | Sustain | -0.013 | 0.000 | -0.043 | 0.000 | -0.001 | 0.003 |
| 140 | Sustain | 0.000 | 0.000 | -0.043 | 0.000 | -0.001 | 0.003 |
| 145 | Sustain | 0.005 | -0.003 | -0.043 | 0.000 | -0.001 | 0.003 |
| 150 | Sustain | 0.013 | -0.003 | -0.043 | 0.000 | -0.001 | 0.003 |
| 155 | Sustain | 0.005 | -0.015 | -0.046 | 0.000 | -0.002 | 0.004 |
| 160 | Sustain | 0.005 | -0.025 | -0.048 | 0.000 | -0.003 | 0.004 |
| 165 | Sustain | 0.005 | -0.028 | -0.051 | 0.000 | -0.003 | 0.004 |
| 170 | Sustain | 0.005 | -0.028 | -0.051 | 0.000 | -0.003 | 0.004 |
| 175 | Sustain | 0.135 | -0.043 | -0.130 | 0.004 | -0.060 | 0.002 |
| 180 | Sustain | 0.229 | -0.038 | -0.127 | 0.004 | -0.062 | 0.002 |

Tabel 1. Pergeseran statik (lanjutan)

| Nodal | Case | DX | DY | DZ | RX | RY | RZ |
|-------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | (mm) | (mm) | (mm) | deg | deg | deg |
| 1035 | Sustain | -0.020 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.006 | -0.002 |
| 1040 | Sustain | 0.089 | 0.003 | -0.005 | -0.003 | 0.022 | -0.065 |
| 1045 | Sustain | 0.193 | 0.003 | -0.010 | -0.003 | 0.022 | -0.069 |
| 1050 | Sustain | 0.216 | 0.003 | -0.010 | -0.003 | 0.022 | -0.069 |
| 1055 | Sustain | 0.236 | 0.003 | -0.010 | -0.003 | 0.022 | -0.069 |
| 1060 | Sustain | 1.204 | 0.008 | -0.041 | -0.003 | 0.021 | -0.098 |
| 1065 | Sustain | 1.234 | 0.008 | -0.043 | -0.003 | 0.021 | -0.098 |
| 1070 | Sustain | 1.265 | 0.008 | -0.043 | -0.003 | 0.021 | -0.098 |
| 1075 | Sustain | 1.974 | 0.696 | 0.020 | -0.003 | 0.021 | -0.236 |
| 1080 | Sustain | 1.974 | 1.072 | 0.053 | -0.003 | 0.021 | -0.239 |
| 1085 | Sustain | 1.062 | 2.350 | 0.168 | -0.002 | 0.021 | -0.259 |
| 1090 | Sustain | 0.655 | 2.350 | 0.170 | -0.002 | 0.021 | -0.259 |
| 1095 | Sustain | 0.574 | 2.350 | 0.170 | -0.002 | 0.021 | -0.259 |
| 1100 | Sustain | 0.475 | 2.350 | 0.173 | -0.002 | 0.021 | -0.259 |
| 1110 | Sustain | 0.000 | -0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 1115 | Sustain | 0.000 | -0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 1120 | Sustain | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 1125 | Sustain | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 1130 | Sustain | -0.036 | -0.033 | 0.003 | 0.002 | -0.005 | 0.001 |
| 1135 | Sustain | -0.036 | -0.033 | 0.003 | 0.002 | -0.005 | 0.001 |
| 1140 | Sustain | -0.010 | -0.023 | 0.003 | 0.002 | -0.005 | 0.001 |
| 1145 | Sustain | -0.010 | -0.023 | 0.003 | 0.002 | -0.005 | 0.001 |
| 1150 | Sustain | 0.008 | 0.000 | 0.003 | 0.002 | -0.001 | 0.001 |
| 1155 | Sustain | 0.005 | 0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.001 |
| 1160 | Sustain | 0.005 | 0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.001 |
| 1165 | Sustain | 0.005 | 0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.001 |
| 1170 | Sustain | 0.089 | 0.003 | 0.005 | 0.002 | -0.022 | -0.065 |
| 1175 | Sustain | 0.193 | 0.003 | 0.010 | 0.003 | -0.022 | -0.069 |
| 1180 | Sustain | 0.216 | 0.003 | 0.010 | 0.003 | -0.022 | -0.069 |
| 1185 | Sustain | 0.236 | 0.003 | 0.010 | 0.003 | -0.022 | -0.069 |
| 1190 | Sustain | 1.204 | 0.008 | 0.041 | 0.003 | -0.021 | -0.098 |
| 1195 | Sustain | 1.234 | 0.008 | 0.041 | 0.003 | -0.021 | -0.098 |
| 1200 | Sustain | 1.265 | 0.008 | 0.041 | 0.003 | -0.021 | -0.098 |
| 1205 | Sustain | 1.974 | 0.696 | -0.020 | 0.002 | -0.021 | -0.236 |
| 1210 | Sustain | 1.974 | 1.072 | -0.053 | 0.002 | -0.021 | -0.239 |
| 1215 | Sustain | 1.062 | 2.350 | -0.168 | 0.002 | -0.021 | -0.259 |
| 1220 | Sustain | 0.655 | 2.350 | -0.173 | 0.002 | -0.021 | -0.259 |
| 1225 | Sustain | 0.574 | 2.350 | -0.173 | 0.002 | -0.021 | -0.259 |
| 1230 | Sustain | 0.475 | 2.350 | -0.173 | 0.002 | -0.021 | -0.259 |
| 1235 | Sustain | 0.000 | -0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 1240 | Sustain | 0.000 | -0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 1245 | Sustain | 0.000 | -0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 1250 | Sustain | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1255 | Sustain | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6000 | Sustain | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Dari Tabel 1. dapat dilihat untuk *case sustain* pergeseran arah vertikal sangat kecil sehingga sistem perpipaan tersebut tidak perlu ada penambahan penyangga. Gaya yang terjadi pada *anchor* nodal 1125, 1255, 275 dan nodal 6000 untuk *case sustain* dan operasi seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. *Restraint summary*

| Nodal | Case | FX | FY | FZ | MX | MY | MZ |
|-------|----------------|------|------|------|--------|--------|--------|
| | | (kg) | (kg) | (kg) | (kg-m) | (kg-m) | (kg-m) |
| 275 | <i>Operasi</i> | -232 | -118 | -84 | 0 | 31.7 | -18.1 |
| 275 | <i>Sustain</i> | -285 | -118 | -76 | 0 | 28.6 | -18 |
| 1125 | <i>Operasi</i> | -6 | -298 | 5 | 2.3 | 0 | 1.9 |
| 1125 | <i>Sustain</i> | -4 | -305 | 5 | 2.2 | 0 | 0.9 |
| 1255 | <i>Operasi</i> | -6 | -279 | -5 | -1.9 | 0 | 1.9 |
| 1255 | <i>Sustain</i> | -4 | -299 | -5 | -1.8 | 0 | 0.9 |
| 6000 | <i>Operasi</i> | -275 | -118 | 82 | 0 | -30.9 | -18.1 |
| 6000 | <i>Sustain</i> | -246 | -118 | 75 | 0 | -28.2 | -18 |

Gaya dan moment yang terjadi pada nodal 275, 1125, 1255 maupun nodal 6000 masih dibawah batasan yang diijinkan sebesar 317 kgf untuk gaya dan 235 kgf-m untuk momen. Tegangan yang terjadi akibat beban sustain dan operasi seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. *Stress summary (Kpa)*

| Nodal | Case | Code Stress | Allowable | Ratio |
|-------|----------------|-------------|-----------|--------|
| 755 | <i>Sustain</i> | 64961 | 117898 | 55.1 % |
| 1040 | <i>Operasi</i> | 78437 | 287643 | 27.3 % |

Dari Tabel 3. Diatas terlihat bahwa untuk *case sustain* tegangan yang terjadi adalah 64961 Kpa atau 55.1% dari tegangan yang diijinkan sedangkan untuk *case ekspansi* sebesar 78437 Kpa atau sebesar 27.3% dari tegangan yang diijinkan sehingga sistem perpipaan tersebut masih aman.

4. KESIMPULAN.

Dari hasil analisa menunjukkan bahwa tegangan maksimum yang terjadi pada sistem pemipaan diatas untuk masing-masing pembebanan masih dibawah tegangan maksimum yang diijinkan sehingga sistem pemipaan tersebut cukup aman untuk dioperasikan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. SAM KANNAPAN, P E. *Introducion to Pipe Stress Analysis*, John Wiley & Sons, new York, 1985.
- [2]. SHERWOOD, DAVID R., *The Piping Guide*, Syentek Book Coy, San Fransisko. Engineer, 1976.
- [3]. Anonymous, *The American Society of Mechanical Engineer, ASME B31.3 Process Piping*, ASME International, 2002.
- [4]. Anonymous, *The American Society of Mechanical Engineer, ASME B31.3 Process Piping*, ASME Internasional, 2002.