

Pengaruh Beban *Fatigue* Terhadap Keandalan Struktur Material Pipa Pada Desain *Underground Pipeline*

Ilham Priharnanda^{1*}, Nurvita Arumsari, S.Si., M.Si.², Lely Pramesti, S.T., M.T.³

Program Studi D-IV Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1*}

Program Studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{2,3}

Email: ilhampriharnanda@student.ppns.ac.id^{1*}; arum.up3d@gmail.com^{2*}; lelypramesti@ppns.ac.id^{3*}

Abstract - In the Gas Processing Project, a pipeline is a network of pipes used as a means of transporting fluids, whether liquid or gas. The pipeline is designed at a temperature of 170 ° F and a pressure of 1020 psig where the material used is API5L Grade X60. In the design stage, the engineering party must pay attention to the resistance of the pipe material structure to internal loads. This study aims to analyze fatigue of the pipe material structure, as well as their influence on the reliability of the underground pipeline. Analysis of pipe stress and fatigue can be performed using software CAESAR II based on ASME B31.8, while the effect of fatigue on the reliability of underground pipelines uses the monte carlo method. The results of this study are expected to identify the reliability of the piping system. In addition, as a reference, the engineering division can report the results of this research to the contractor as a report with a more accurate analysis.

Keyword: *Underground Pipeline, CAESAR II, Monte Carlo.*

Nomenclature

S_u	Ultimate yield strength
μ_o	Cyclic load of fatigue
t	Waktu operasi
$g(x)$	Mode kegagalan
R	Reliability (Keandalan)

1. PENDAHULUAN

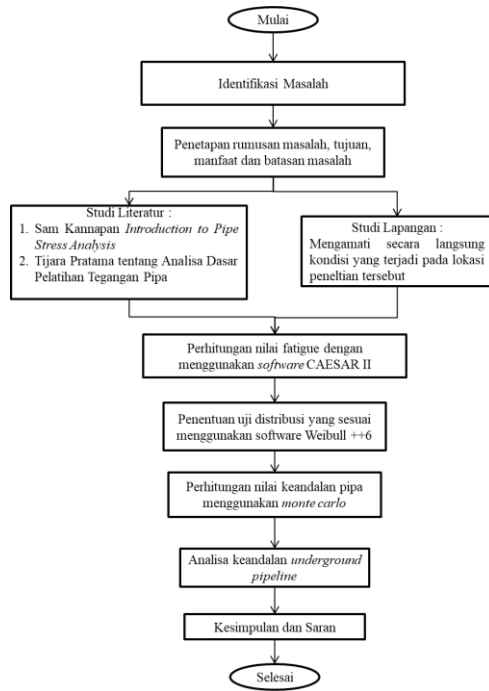
Pada zaman saat ini telah mengalami kemajuan di segala bidang teknologi yang telah menuntut kita untuk selalu berkembang. Salah satu faktor penting untuk kemajuan teknologi ini adalah adanya sumber energi. Contoh sumber energi yang sangat dibutuhkan adalah minyak bumi, gas dan masih banyak lagi. Sumber energi ini pada umumnya dimanfaatkan untuk transportasi, pembangkit listrik, produksi, dan sebagai penyokong kehidupan di era globalisasi ini. Dalam industri migas, untuk penyaluran gas biasanya menggunakan LNG (*Liquid Natural Gas*) carrier atau dengan pipa (*pipeline*) [5]. Seiring permintaan global terhadap gas yang semakin besar mendorong perusahaan migas meningkatkan produksi minyak dan gas guna memenuhi permintaan pasar dunia. Sehingga *pipeline* dipaksa untuk bekerja selama 24 jam sehari selama satu, atau bahkan sampai puluhan tahun [8]. Karena dimanfaatkan untuk menunjang pendistribusian minyak, gas, maupun air dalam jumlah yang besar dan bahkan dengan jarak yang sangat jauh, maka medan yang dilalui

oleh saluran pipa sangat beragam, mulai dari dalam laut (*offshore*), dataran rendah, lembah, dan di dalam tanah. Maka dalam fase konstruksi maupun pengoperasiannya akan banyak ditemui berbagai macam persoalan seperti contohnya kelelahan (*fatigue*). *Fatigue* dapat terjadi ketika sebuah material pipa telah mengalami siklus tegangan dan regangan yang menghasilkan kerusakan dan secara umum *fatigue* merupakan penyebab utama kegagalan pada struktur [3].

Oleh karena itu, penelitian ini menganalisa kelelahan (*fatigue*) struktur pipa pada desain *underground pipeline* yang terdapat di site Proyek Pengolahan Gas. Dari hasil perhitungan tersebut dapat ditentukan pula keandalan *pipeline* yang terkubur di dalam tanah. Prosedur yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada standart ASME B31.8. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai *report* kepada perusahaan dalam penentuan jalur, material maupun kedalaman pipa.

2. METODOLOGI.

Berikut skema metodologi penelitian yang digambarkan pada diagram alir dapat dilihat pada Gambar 1.

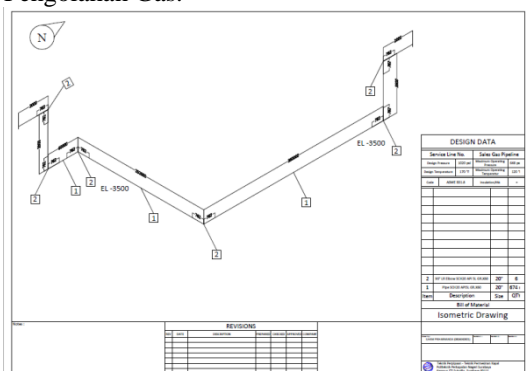


Gambar 1. Metodologi Penelitian

Tahapan-tahapan yang ada dalam penelitian seperti yang tertera pada Gambar 1 diatas akan dijelaskan sebagai berikut :

2.1 Identifikasi Fatigue

Analisis kelelahan (*Fatigue*) adalah analisis untuk mengetahui kekuatan struktur terhadap beban berulang (siklik) [2]. Proses identifikasi kegagalan berupa *fatigue* (kelelahan) struktur material pipa dalam penelitian ini menggunakan *software CAESAR II* dengan menganalisa setiap *node* pipa pada pemodelan *underground pipeline* (dapat dilihat pada Gambar 2) di *site* Proyek Pengolahan Gas.



Gambar 2. Desain Sales Gas Pipeline

2.2 Peluang Kegagalan

Probabilitas kegagalan adalah kemungkinan terjadinya suatu kegagalan dalam komponen yang akan dianalisis apabila berada dalam kondisi kerja saat ini. Risiko kegagalan akibat beban *fatigue* terhadap nilai keandalan struktur material pipa perlu diperhitungkan. Pipa dinyatakan gagal jika nilai keandalan pipa yang

didapatkan dari hasil simulasi selama *pipeline* beroperasi umur operasinya bernilai 0 [7-8]. Persamaan moda kegagalan ditunjukkan pada Persamaan 1 di bawah ini.

$$g(x) = S_u - \eta_o \times t \tag{1}$$

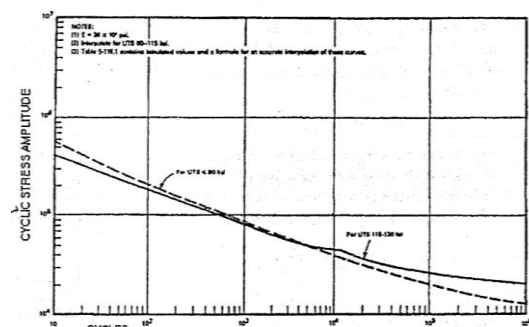
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan *fatigue* menggunakan *software CAESAR II*

Suatu material memiliki ketahanan terhadap tegangan berulang (tegangan statis) yang disebut dengan *cycle stress amplitude*. Perlu diperhatikan bahwa kegagalan karena metal leleh ini adalah kegagalan yang terjadi ketika tegangan pipa lebih rendah dari pada tegangan leleh (*Syield*) [4]. *Cycle stress amplitude* pada penelitian ini meliputi *longitudinal stress*, *hoop stress*. Berdasarkan umur *fatigue* (N), *fatigue* dapat diklasifikasikan menjadi 2 yaitu :

1. *Fatigue* siklus rendah (*low cycles fatigue*) untuk umur *fatigue* $10^0 < N < 10^5$.
2. *Fatigue* siklus tinggi (*low cycles fatigue*) untuk umur *fatigue* $N > 10^5$.

Nilai tegangan (*cycle stress amplitude*) yang diambil berdasarkan perhitungan tegangan didapatkan nilai sebesar 41366.4 psi atau 41,3664 ksi. Dari nilai tersebut kemudian di plot ke diagram *S-N curves* seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. S-N Curves

Berdasarkan Gambar 3 diatas, dapat disimpulkan bahwa desain *underground pipeline* memiliki umur siklus sebesar 2×10^4 siklus dan tergolong *fatigue* siklus rendah (*low cyclic fatigue*). Dari nilai *cycle* yang telah diketahui, kemudian didapatkan nilai *stress range reduction factor*. *Stress range reduction factor* merupakan faktor batasan tegangan dari tegangan berulang yang terjadi pada sistem perpipaan yang nilainya tergantung pada jumlah siklus beban yang telah ditetapkan. Nilai dari *stress range reduction factor* pada desain *underground pipeline* sebesar 0,4. Pada Tabel 1 tersebut dapat diketahui nilai berbagai beban *cyclic of fatigue* yang dimiliki desain *pipeline* ini secara kesatuan gaya terhadap waktu. Untuk mengetahui besarnya nilai *fatigue*, kondisi tegangan pada desain *pipeline* harus dalam keadaan aman.

Tabel 1. *Cyclic Failure of Underground Pipeline Code Allowance Stress are Designed to Prevent Failure of Underground Pipeline*

No	Sc (psi)	S _H (psi)	Cycle Load	Cycle Time (Hr)	S _A (lb/in ²)
1	20000	18900	17200	1	17225
2	20000	18900	17600	2	19725
3	20000	18900	18400	3	19725
4	20000	18900	13800	4	22225
5	20000	18900	15040	5	22225
6	20000	18900	19200	6	22225
7	20000	18900	17028,571	7	22225
8	20000	18900	18900	8	24725
9	20000	18900	19466,667	9	24725
10	20000	18900	17520	10	24725
11	20000	18900	15927,273	11	24725
12	20000	18900	14600	12	24725
13	20000	18900	13476,923	13	27225
14	20000	18900	12514,286	14	27225
15	20000	18900	11680	15	27225
16	20000	18900	10950	16	27225
17	20000	18900	10305,882	17	27225
18	20000	18900	9733,333	18	27225
19	20000	18900	9221,053	19	27225
20	20000	18900	8760	20	27225
21	20000	18900	8342,857	21	27225
22	20000	18900	7963,636	22	27225
23	20000	18900	7617,391	23	27225
24	20000	18900	7300	24	27225

3.2 Peluang Kegagalan

Pada bagian ini akan dilakukan perhitungan peluang kegagalan pada segmen pipa yang memiliki nilai beban fatigue paling tinggi menggunakan simulasi *monte carlo* untuk mengetahui nilai *reliability* struktur pipa untuk 10 tahun mendatang yang dimulai dari tahun 2020 yang merupakan tahun pertama *pipeline* beroperasi. Namun, sebelum dilakukannya simulasi menggunakan *monte carlo* diperlukan uji distribusi data yang sesuai dengan menggunakan *software* Weibull++ 6.

Pelaksanaan penentuan model distribusi yang akan digunakan dalam studi ini akan didasarkan pada data *cyclic load of fatigue* yang terdapat pada Tabel 1. Berikut merupakan hasil dari uji distribusi data yang dimuat dalam Tabel 2 di bawah ini.

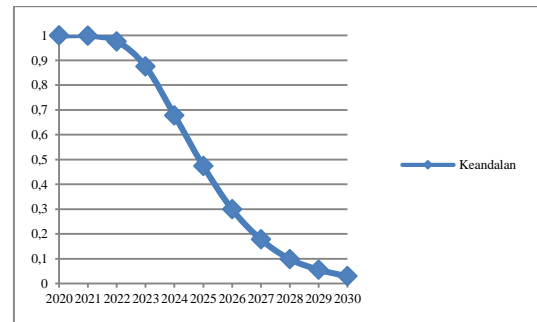
Tabel 2. Uji Distribusi Data Menggunakan *Software* Weibull++ 6

Distribusi	Standart Deviasi	Mean
Lognormal	0,749862	7,45525254

Dari hasil uji distribusi data yang telah dilaksanakan, didapatkan nilai-nilai yang nantinya akan digunakan sebagai parameter dalam perhitungan keandalan struktur pipa dengan menggunakan simulasi *monte carlo*. Dapat dilihat bahwa untuk studi ini distribusi yang sesuai adalah jenis distribusi Lognormal.

Setelah memperoleh jenis distribusi yang sesuai, maka akan dilakukan simulasi *monte carlo* dengan meng-generate variabel acak 10000 iterasi yang disimulasikan untuk tiap-tiap tahun *cyclic load of fatigue* dengan menggunakan fungsi *cumulative distribution*

function yang dapat dilihat pada Persamaan 1, sehingga mampu didapatkan fluktuasi probabilitas yang mendetail pada tiap tahun-nya, Penggambaran grafik dari simulasi ini dapat dilihat pada Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4 Grafik Reliability Struktur Pipa

Dapat dilihat di grafik diatas menunjukkan bahwa indeks keandalan dari pipa pendam tersebut mengalami penurunan setiap tahunnya Hal ini karena dinding pipa yang semakin tipis yang disebabkan faktor internal dari pipa seperti beban fatigue, temperatur dan tekanan berlebihan pada saat *pipeline* beroperasi. Pelaksanaan simulasi *monte carlo* pada tiap tahun operasi, diharapkan dapat memberikan gambaran yang mendetail mengenai besarnya nilai keandalan struktur material pipa tiap tahun operasi yang terdapat pada jalur pipa gas pendam di *site* Proyek Pengolahan Gas. Hal itu bertujuan agar menjadi report kepada pihak perusahaan terkait dalam melakukan perawatan (*maintenance*) pada *sales gas pipeline*.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Dari analisis menggunakan *S-N curve*, nilai tegangan yang diambil berdasarkan perhitungan tegangan pada desain *underground pipeline* didapatkan nilai tegangan tertinggi sebesar 41366.4 psi atau 41,3664 ksi, sehingga disimpulkan bahwa desain jalur perpipaan ini memiliki umur siklus sebesar 2×10^4 dan tergolong fatigue siklus lemah (*low cyclic fatigue*).
2. Nilai keandalan struktur material pipa pada desain *underground pipeline* mengalami penurunan setiap tahun-nya selama *pipeline* tersebut beroperasi dikarenakan desain tersebut memiliki nilai *cyclic load of fatigue* tinggi sehingga hal tersebut akan berpengaruh terhadap struktur material pipa.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyusunan dan penulisan penelitian ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis dengan senang hati menyampaikan terima kasih kepada yang terhormat :

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Drs.Hari Prijono dan Ibu Dra.Wiwin Haryani atas jasa-jasa, kesabaran, doa serta tidak pernah lelah dalam mendidik penulis semenjak kecil.
2. Bapak George Endri Kusuma, S.T., M.Sc.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Permesinan Kapal.
3. Bapak Raden Dimas Endro Witjonarko, S.T., M.T. selaku Koordinator Program Studi D4-Teknik Perpipaan.
4. Ibu Nurvita Arumsari, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing I yang telah sabar dalam menuntun penulis dan memberikan ilmu-ilmunya dalam penyusunan tugas akhir ini.
5. Ibu Lely Pramesti, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang telah sabar dalam menuntun penulis dan memberikan ilmu-ilmunya dalam penyusunan tugas akhir ini.

6. PUSTAKA

- [1] Ajidan, R. (2018). *ANALISA TEGANGAN DAN FATIGUE PIPA VENTING CONTROL VALVE LINE 6-MPS-3A-004 JALUR STEAM HEADER GAS COGENERATION PLANT*.
- [2] B31.8. (2016). *Gas Transmission and Distribution Piping Systems*. U.S.A: The American Society of Mechanical Engineering.
- [3] Chamsudi, A. (2005). *Diktat Piping Stress Analysis*. Jakarta: Pusdiklat-Batan.
- [4] Kannapan, S. (1985). *Introduction To Pipe Stress Analysis*. U.S.A: John Willey & Sons Inc.
- [5] Liu, H. (2005). *Pipeline Engineering*. Boca Raton: Lewis Publishers CRC Press Company.
- [6] Pratama, T. (2004). *Analisa Dasar Pelatihan Tegangan Pipa*. Jakarta: Tijara Pratama Inc.
- [7] Rosyid, D. (2007). *Pengantar Rekayasa Keandalan*. Surabaya: Airlangga University Press.
- [8] Soegiono. (2007). *Pipa Laut*. Surabaya: Airlangga University Press.
- [9] Suprobo, P. (2012). *Analisa Resiko dan Keandalan*. Surabaya: ITS Press.