

ANALISIS FLANGE LEAKAGE SISTEM PIPA GAS SALES RECEIVER BERBASIS SIMULASI DAN MANUAL

Ni'matut Tamimah¹⁾, Heroe Poernomo²⁾, Tegar Aryo Wicaksono³⁾, dan Aslam Chitami Priawan Siregar⁴⁾

^{1,2,3}Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

⁴Jurusan Fisika, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan “Veteran” Jawa Timur
E-mail: nimatuttamimah@ppns.ac.id

Abstract

Flange leakage assessment is a crucial step in ensuring the safety and reliability of piping systems, particularly in critical equipment such as Shut Down Valves (SDV). This study aims to analyze the flange leakage values at two key locations, namely node 110 and node 120, in a gas pipeline system. Simulation results show leakage values of 1457.45 lb/in² and 1471.93 lb/in², respectively—both below the allowable limit of 1480 lb/in². Additionally, manual calculations yielded leakage values of 1453.32 lb/in² and 1468.76 lb/in². The error percentages between simulation and manual methods are relatively small, at 0.22% and 0.28%. Therefore, it can be concluded that the piping system in the Gas Sales Receiver is safe and suitable for operation under its designated conditions.

Keywords: Flange Leakage, Shut Down Valve (SDV), Gas Sales Receiver, Simulation Analysis, Manual Calculation,

PENDAHULUAN

Sistem perpipaan memiliki peran penting dalam transportasi fluida, baik dalam sektor industri minyak dan gas, energi, maupun kimia (A. Setyani et al., 2025). Salah satu komponen kritis dalam sistem ini adalah flange, yang berfungsi sebagai sambungan antar pipa atau antara pipa dan peralatan seperti Shut Down Valve (SDV) (O. Aneziris et al, 2022). Keandalan flange sangat menentukan keamanan sistem, karena kegagalan flange, khususnya berupa kebocoran (flange leakage) dapat menimbulkan konsekuensi serius seperti kehilangan fluida, risiko kebakaran, pencemaran lingkungan, dan kerusakan operasional (F. Paolacci et al, 2021).

Pada sistem Gas Sales Receiver, evaluasi terhadap flange leakage menjadi sangat penting karena sistem ini beroperasi pada tekanan tinggi dan berfungsi sebagai titik serah terima gas (B. Cloostermans et al, 2025). Untuk memastikan integritas sistem, diperlukan pendekatan analitis yang mengombinasikan simulasi numerik berbasis elemen hingga dan perhitungan manual. Pendekatan ini tidak hanya memungkinkan pemodelan beban kompleks secara realistik, tetapi juga memberikan validasi terhadap hasil simulasi (U. Sarwar et al., 2024).

Penelitian terdahulu menyatakan bahwa penggunaan simulasi dapat mengidentifikasi potensi kebocoran flange berdasarkan distribusi tegangan dan deformasi, namun hasilnya tetap perlu diverifikasi agar dapat dijadikan dasar keputusan teknis (F. Zhou et al., 2023). Validasi melalui perhitungan manual dengan formula teknik klasik memungkinkan deteksi awal

terhadap deviasi hasil dan memastikan ketepatan input desain (D. Buede et al, 2024). Nilai flange leakage juga harus dikaji terhadap batas izin tertentu yang didasarkan pada kondisi operasi seperti tekanan dan temperatur desain.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi nilai flange leakage pada dua titik, yaitu node 110 dan node 120, dalam sistem perpipaan *Gas Sales Receiver* (T. A. Wicaksono et al., 2023). Analisis dilakukan melalui dua metode: simulasi numerik dan perhitungan manual. Hasil dari analisis ini akan digunakan untuk menilai apakah sistem tersebut masih aman dioperasikan berdasarkan parameter tekanan dan temperatur desain yang telah ditentukan (A.C.P. Siregar et al, 2022). Selain itu, perbandingan antara hasil simulasi dan perhitungan manual dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi dan validitas analisis yang dilakukan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis flange leakage pada sistem perpipaan Gas Sales Receiver, khususnya pada dua titik sambungan flange yaitu node 110 dan node 120 yang terkoneksi dengan SDV. Metode penelitian terdiri dari dua pendekatan utama: simulasi numerik menggunakan perangkat lunak analisis teknik, serta perhitungan manual untuk validasi.

Objek yang dianalisis adalah segmen perpipaan berdiameter 12 inci pada line PG-101-D-12" yang menghubungkan SDV dengan sistem distribusi utama gas. Spesifikasi Flange dan beban fluida dapat dilihat pada Tabel 1. Analisis difokuskan pada dua titik kritis, yaitu node 110 dan 120, tempat terjadi konsentrasi tegangan pada flange.

Tabel 1
Spesifikasi Flange dan Beban Pada Fluida

Parameter	Unit	Nilai
<i>Flange Material</i>		A105
<i>Flange Class</i>	600	#
<i>Flange Grade</i>	1,1	-
<i>Fluid Density</i>	lb/in ³	0,0035
<i>Operating Temperature</i>	°F	80,006
<i>Design Temperature</i>	°F	99,89
<i>Operating Pressure</i>	lb/in ²	350
<i>Design Pressure</i>	lb/in ²	1300
<i>Allowable Pressure</i>	In	13,82

Perhitungan manual dilakukan mengacu pada rumus teknis perhitungan gaya flange leakage berdasarkan prinsip tekanan internal dan gaya baut, pendekatan dengan semi-empiris. Rumus dasar perhitungan flange leakage menggunakan Persamaan (1) yang diperoleh dengan menggunakan metode *Kellogg Equivalent Pressure Method* (Datta et al., 2022).

$$P_{eq} = \frac{16M}{\pi G^3} + \frac{4F}{\pi G^2} + P_D \quad (1)$$

Keterangan:

P_{eq} = Equivalent Pressure (lb/in²)

M = Bending moment pada flange (lb/in²)

G = Diameter luar gasket (in)

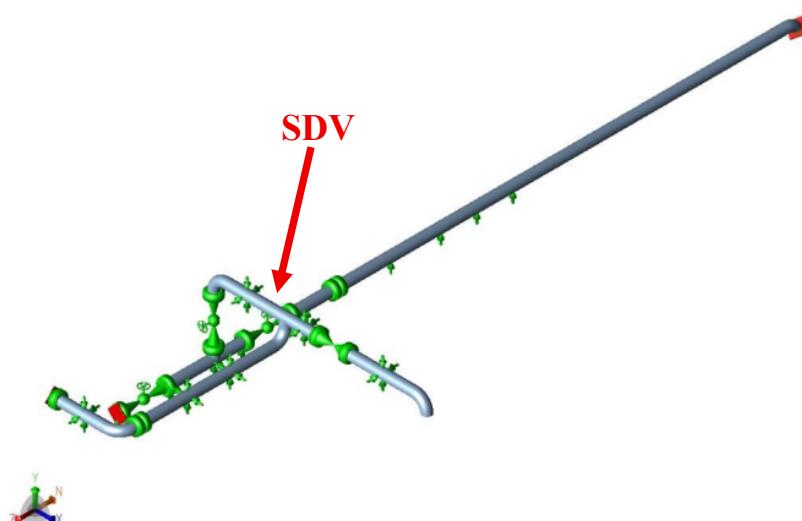
F = Axial force pada flange (lb/in²)

P_D = Design Pressure (lb/in²)

Perhitungan dilakukan untuk dua node yang sama dan dibandingkan dengan hasil simulasi. Selisih antara keduanya dihitung dalam bentuk persen sebagai nilai eror. Hasil simulasi dan perhitungan manual dibandingkan terhadap nilai batas izin flange leakage, yang ditetapkan berdasarkan standar desain pabrik. Jika nilai flange leakage lebih kecil dari batas izin, maka sambungan dinyatakan aman. Selain itu, perbedaan antara hasil simulasi dan manual digunakan untuk menilai akurasi metode dan kesesuaian model.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa flange leakage pada sistem perpipaan line gas sales receiver dilakukan menggunakan analisa pada Software dan dilakukan dengan perhitungan manual. Perhitungan manual dilakukan untuk validasi terhadap nilai pada software yang diharapkan dapat membuktikan ketepatan nilai yang didapat pada software. Nilai dari flange leakage diharapkan lebih kecil dari nilai allowable flange yang terdapat pada ASME B16.5 dan memiliki eror yang relatif kecil terhadap perhitungan manual.



Gambar 1. Simulasi Software pada SDV (Node 110 dan 120)

Analisis numerik menggunakan perangkat lunak teknik menghasilkan nilai flange leakage pada dua titik SDV Seperti pada Gambar 1. Pada node 110, nilai flange leakage yang diperoleh adalah sebesar 1457,45 lb/in², sedangkan pada node 120 sebesar 1471,93 lb/in². Kedua nilai ini masih berada di bawah batas maksimum yang diperbolehkan, yaitu 1480 lb/in², yang ditetapkan berdasarkan standar ASME B16.5. Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun terjadi gaya internal akibat tekanan operasi sebesar 1300 psi dan temperatur 99,89 °F, flange mampu menahan beban tanpa menunjukkan gejala kebocoran melebihi batas izin.

Berikutnya dengan menggunakan Persamaan (1), analisis manual dilakukan dan menghasilkan nilai flange leakage pada node 110 sebesar 1453,32 lb/in². Sedangkan untuk node 120 diperoleh nilai flange leakage sebesar 1468,76 lb/in². Hasil analisis manual ini dapat digunakan untuk memvalidasi keakuratan dari hasil yang diperoleh dari simulasi software dengan cara membandingkan kedua hasil tersebut dan menghitung persentase erornya.

Tabel 2
Validasi Nilai Flange Leakage Pada SDV

Node	Flange Leakage (lb/in ²)		Eror (%)
	Software	Manual	
110	1457,45	1453,32	0,28
120	1457,93	1468,76	0,22

Berdasarkan Tabel 2 di atas didapat nilai eror persentase terbesar 0.28 %. Semakin kecil nilai persentase eror ketika melakukan validasi maka semakin valid juga nilai yang dihasilkan. Berdasarkan nilai persentase eror dari Tabel di atas yang relatif kecil, maka menandakan bahwa nilai pada software sudah benar dan dapat dipercaya. Selisih ini menunjukkan bahwa model simulasi cukup akurat dan dapat diandalkan untuk mengevaluasi kebocoran flange, asalkan didukung dengan data input teknis yang valid.

Dengan mempertimbangkan hasil dari kedua pendekatan, dapat disimpulkan bahwa sistem perpipaan, khususnya pada sambungan flange SDV, berada dalam kondisi aman. Nilai flange leakage yang dihasilkan tidak melampaui batas izin dan perbedaannya dengan hasil manual tergolong sangat kecil. Temuan ini memberikan justifikasi teknis bahwa penyanga yang ada masih mampu menjaga kestabilan sambungan SDV. Sehingga tidak diperlukan perubahan desain pada sistem flange selama sistem beroperasi dalam tekanan dan temperatur desain. Selain itu, proses validasi perhitungan manual juga sangat penting dalam memperkuat hasil analisis numerik, terutama untuk sistem perpipaan bertekanan tinggi.

SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa sambungan flange pada sistem perpipaan Gas Sales Receiver, khususnya pada area yang terhubung dengan Shut Down Valve (SDV), berada dalam kondisi yang aman untuk dioperasikan. Berdasarkan hasil analisis, baik melalui simulasi maupun perhitungan manual, tidak ditemukan indikasi kebocoran yang melebihi batas aman. Hasil dari kedua metode juga menunjukkan tingkat kesesuaian yang tinggi, sehingga dapat disimpulkan bahwa pendekatan kombinasi antara analisis numerik dan validasi manual merupakan metode yang efektif dalam mengevaluasi integritas sambungan flange.

Selain itu, sistem perpipaan dinyatakan memenuhi persyaratan teknis berdasarkan kondisi operasionalnya, baik dari sisi tekanan maupun suhu kerja. Temuan ini mendukung pentingnya proses evaluasi berkala terhadap komponen kritis seperti flange dan SDV dalam menjaga keselamatan serta keandalan operasional fasilitas.

DAFTAR PUSTAKA

- Aneziris, O., Koromila, I. A., & Nivolianitou, Z. (2022). Risk assessment for ship-to-ship LNG bunkering. *Chemical Engineering Transactions*, 90, 19-24.
- Buede, D. M., & Miller, W. D. (2024). *The engineering design of systems: models and methods*. John Wiley & Sons.
- Cloostermans, B., Pronk, D., Bruckenburg, B., Goossens, S., Baghdasaryan, T., & Berghmans, F. (2025). Bolted Flange Connection Leakage: a Systematic Review of Monitoring Challenges and Technologies. *IEEE Sensors Reviews*.
- Datta, Anirban & Bhattacharya, Pranab. (2022). Comparative Analysis and Pros & Cons of Evaluation of Different Methods for Flange Leakage in Process Plant Critical Piping. *Conference: 37th Indian Engineering Congress*: Chennai Tamilnadu, India
- Paolacci, F., Quinci, G., Nardin, C., Vezzari, V., Marino, A., & Ciucci, M. (2021). Bolted flange joints equipped with FBG sensors in industrial piping systems subjected to seismic loads. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 72, 104576.
- Sarwar, U., Mokhtar, A. A., Muhammad, M., Wassan, R. K., Soomro, A. A., Wassan, M. A., & Kaka, S. (2024). Enhancing pipeline integrity: a comprehensive review of deep learning-enabled finite element analysis for stress corrosion cracking prediction. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 18(1), 2302906.
- Setyani, A., Hermawan, M. A. J. S., Prabowo, I., & Amin, N. (2025). Investigasi Korosi Pipa Flowline Carbon Steel Pada Sistem Produksi Migas Dan Penerapan Solusi Protektif. *J-ENSITEC*, 11(02), 10207-102015.

Siregar, A. C. P., & Tamimah, N. M. (2022). *Fisika Dasar Jilid 2: Mekanika Lanjut* (Vol. 2). CV. Kanaka Media.

Wicaksono, T. A., Poernomo, H., & Tamimah, N. M. (2023, November). Redesign Support dan Analisis Tegangan pada Sistem Perpipaan Line Gas Sales Receiver Akibat Soil Settlement. In *Proceedings of National Conference on Piping Engineering and Its Application* (Vol. 8, No. 1, pp. 104-106).

Zhou, F., Dong, X. L., Jiang, W. C., Wang, X., & Xie, Y. T. (2023). Contact mechanical behavior and leakage prediction of metal lenticular gaskets in bolt flange joints of ultrahigh pressure pipelines. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 206, 105038.