

PERANCANGAN BYPASS LINE DARI INLET OXIDIZER (103-V-505) KE DESULFIDE SEPARATOR (103-V-506) DI UNIT 103 LPG MEROX PT. KILANG PERTAMINA INTERNASIONAL RU IV CILACAP

A.E. Putra^{1*}, S.P. Sari¹, B. Santoso¹, K.R. Satyodriyani², dan T. Dalimunthe³

¹Teknik Kimia, Universitas Sriwijaya, Palembang

²PT Kilang Pertamina Internasional RU IV Cilacap

³PT. Pertamina Divisi Business Development

*Corresponding author e-mail: awanekaputra.business@gmail.com

ABSTRAK: Penelitian ini membahas perancangan *bypass line* pada unit Desulfide Separator 103-V-506 di PT Kilang Pertamina Internasional RU IV Cilacap dengan tujuan mengevaluasi kelayakan hidraulik sistem melalui perbandingan dua skenario desain, yaitu rute optimal dan rute realistis. Analisis dilakukan menggunakan metode Darcy–Weisbach untuk kerugian mayor, Crane TP 410M untuk kerugian minor, serta persamaan Colebrook–White dan Von Kármán untuk penentuan faktor gesek, validasi perhitungan manual dilakukan dengan simulasi Aspen HYSYS. Hasil menunjukkan bahwa kedua skenario memenuhi kriteria kelayakan dengan tekanan akhir di atas 4,50 kg/cm²G dan kecepatan aliran rendah sebesar 0,10 m/s. Dekomposisi kerugian tekanan memperlihatkan dominasi komponen gravitasi sebesar 98,99%, kerugian mayor dan minor secara kolektif hanya berkontribusi sekitar 1%. Validasi menghasilkan kesesuaian tinggi antara perhitungan manual dan simulasi dengan selisih 0,43%. Meskipun layak secara teknis, margin tekanan yang diperoleh tipis, yaitu sekitar 0,11 kg/cm²G, sehingga direkomendasikan penurunan set point tekanan operasi di vessel tujuan menjadi 4,40 kg/cm²G untuk meningkatkan margin keamanan menjadi 0,21 kg/cm²G tanpa menimbulkan dampak terhadap proses hilir.

Kata Kunci: *Bypass line*, Hidraulik, *Pressure drop*, Aspen HYSYS, Perpipaan

ABSTRACT: This research discusses the design of a *bypass line* for the Desulfide Separator 103-V-506 unit at PT Kilang Pertamina Internasional RU IV Cilacap, with the aim of evaluating the hydraulic feasibility of the system by comparing two design scenarios: the optimal route and the realistic route. The analysis was conducted using the Darcy–Weisbach method for major losses, Crane TP 410M for minor losses, and the Colebrook–White and Von Kármán equations for determining the friction factor. Manual calculations were validated using Aspen HYSYS simulation. The results show that both scenarios meet the feasibility criteria, with final pressures above 4.50 kg/cm²G and low flow velocities of 0.10 m/s. The decomposition of pressure losses reveals the dominance of the gravity component, accounting for 98.99%, while major and minor losses collectively contribute only about 1%. Validation shows high agreement between manual calculations and simulation, with a difference of 0.43%. Although technically feasible, the resulting pressure margin is narrow, at approximately 0.11 kg/cm²G. Therefore, it is recommended to lower the operating pressure setpoint in the destination vessel to 4.40 kg/cm²G to increase the safety margin to 0.21 kg/cm²G without impacting downstream processes.

Keywords: *Bypass line*, Hydraulic, *Pressure drop*, Aspen HYSYS, Piping

1 Pendahuluan

Unit 103 LPG Merox PT Kilang Pertamina Internasional RU IV Cilacap berperan penting dalam menghilangkan senyawa sulfur, khususnya *mercaptan*, untuk menjaga kualitas produk LPG dan propilena [1]. Salah satu peralatan utama pada unit ini adalah Oxidizer (103-V-505) yang berfungsi mengoksidasi *mercaptan* menjadi disulfida sebelum dipisahkan di Desulfide

Separator (103-V-506) [2-3]. Permasalahan muncul ketika dilakukan kegiatan *Turn Around* (TA), di mana Oxidizer tidak dapat dioperasikan karena aktivitas pemeliharaan seperti penggantian *packing* internal dan pembersihan [3-5]. Kondisi ini menimbulkan potensi gangguan terhadap keberlangsungan proses dan mutu produk LPG [6]. Oleh karena itu, diperlukan solusi berupa perancangan sistem

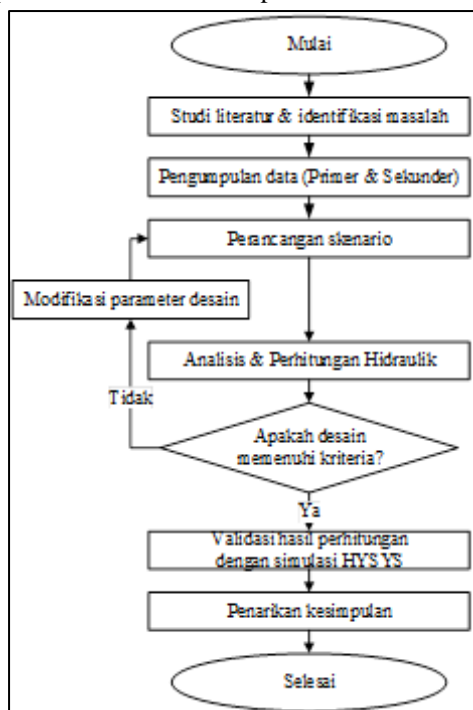
bypass line dari Inlet Oxidizer (103-V-505) menuju Desulfide Separator (103-V-506) untuk memastikan aliran tetap berlangsung selama periode pemeliharaan [7].

Rumusan masalah penelitian ini adalah bagaimana merancang bypass line yang layak secara hidraulik sehingga dapat menjamin tekanan akhir di *Desulfide Separator* memenuhi batas operasional. Tujuan penelitian adalah untuk melakukan analisis hidraulik bypass line dengan mempertimbangkan kondisi operasi aktual, validasi hasil perhitungan menggunakan simulasi HYSYS, serta memberikan rekomendasi operasional agar sistem bypass dapat berfungsi aman dan andal. Manfaat kajian ini adalah memberikan solusi teknis terhadap permasalahan operasional unit LPG Merox, sekaligus menambah wawasan akademik dalam penerapan ilmu teknik kimia pada sistem perpipaan industri migas.

2 Metodologi Penelitian

2.1 Diagram Alir

Disusun diagram alir yang menggambarkan proses mulai dari identifikasi masalah hingga evaluasi hasil. Diagram ini menunjukkan urutan kegiatan yang meliputi studi literatur, pengumpulan data-data primer dari lapangan dan sistem DCS, perhitungan hidraulik, proses validasi menggunakan simulasi HYSYS, serta penarikan kesimpulan dan rekomendasi operasional.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.2 Studi Literatur

Dilakukan studi literatur untuk memperoleh landasan teoritis mengenai mekanika fluida, sistem perpipaan, serta metode analisis kerugian tekanan. Beberapa literatur utama yang digunakan adalah *Flow of Fluids through Valves, Fittings, and Pipe* [8], yang menjadi acuan dalam menentukan koefisien kerugian *fitting dan valve*; *Fundamentals of Fluid Mechanics* [9] yang menjadi rujukan untuk perhitungan bilangan Reynold, faktor gesek Darcy, serta estimasi kerugian tekanan mayor, minor, dan total; serta *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications* [10] yang digunakan dalam penentuan faktor gesek untuk aliran turbulen penuh berdasarkan pendekatan *Von Kármán*. Literatur ini menjadi dasar perhitungan manual yang kemudian dibandingkan dengan hasil simulasi Aspen HYSYS sehingga diperoleh evaluasi menyeluruh baik dari sisi analitik maupun numerik.

2.3 Perancangan Skenario Desain

Perancangan bypass line dilakukan dengan mempertimbangkan dua alternatif jalur, yaitu skenario optimal dan skenario realistis. Skenario optimal merepresentasikan kondisi ideal dengan asumsi jalur terpendek, jumlah fitting minimum, serta tanpa adanya hambatan struktural pada layout pabrik. Jalur ini memiliki panjang pipa sebesar 3,614 m, satu buah elbow 90°, serta perbedaan elevasi bersih 0,914 m. Skenario realistis, sebaliknya, mempertimbangkan kondisi aktual di lapangan yang dipengaruhi oleh keberadaan struktur pijakan, pagar pengaman, serta keterbatasan ruang di sekitar Oxidizer 103-V-505. Jalur yang terbentuk memiliki panjang pipa 8,229 m, empat elbow 90°, dua gate valve, dua tee tipe branch, dan satu expander (2" → 3"). Dengan demikian, skenario optimal berfungsi sebagai acuan baseline teoretis, sedangkan skenario realistis digunakan untuk menilai kelayakan implementasi di lapangan.

2.4 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini seluruhnya berasal dari data primer yang diperoleh langsung melalui Distributed Control System (DCS) Unit 103 LPG Merox dan hasil observasi lapangan, serta data sekunder yang diambil dari literatur standar industri untuk mendukung perhitungan hidraulik. Data primer mencakup parameter aliran proses, sifat fisik fluida, dan konfigurasi geometri pipa. Data sekunder meliputi spesifikasi material pipa dan koefisien kerugian fitting yang diacu dari standar Crane Technical Paper No. 410M [8].

Parameter aliran proses diperoleh dari instrumen DCS yang terpasang pada jalur bypass, termasuk laju alir volumetrik, temperatur operasi, serta tekanan sistem. Laju alir diperoleh dari *Flow Indicating Controller* (103-FIC-009), temperatur dari *Temperature Indicator* (103-TI-004), sedangkan tekanan awal diambil dari data desain outlet *Heat Exchanger* dan tekanan tujuan dari *Pressure Indicator* (103-PI-003). Nilai rata-rata dari parameter ini digunakan sebagai basis perhitungan, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Aliran Proses

Parameter	Nilai	Satuan
Densitas (ρ)	1172,1	kg/m ³
Viskositas (μ)	1,66	cP

Properti fluida digunakan sebagai input untuk menghitung bilangan Reynold dan kerugian tekanan. Nilai densitas diperoleh dari sistem DCS melalui analisator online yang mencatat fluktuasi harian, sementara viskositas diambil dari data desain. Kedua parameter ini disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Properti Fluida

Parameter	Nilai	Satuan
Densitas (ρ)	1172,1	kg/m ³
Viskositas (μ)	1,66	cP

Selain kondisi aliran dan sifat fisik fluida, penelitian ini juga mempertimbangkan konfigurasi fisik pipa berdasarkan hasil survei lapangan dan interpretasi P&ID. Dari pengamatan tersebut dirumuskan dua skenario perancangan, yaitu skenario optimal dan skenario realistis. Perbedaan utama antara keduanya terletak pada panjang jalur dan jumlah fitting digunakan. Rincian geometri pipa untuk kedua skenario ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Konfigurasi Geometri Pipa

Parameter	Skenario Optimal	Skenario Realistis
Panjang pipa (L)	3,614 m 73,66 mm	8,229 m
Diameter dalam (D)	(3" Sch 80)	73,66 mm (3" Sch 80)
Elevasi (Δh)	0,914 m	0,914 m
Jumlah elbow 90°	1 buah	4 buah
Gate valve	2 buah	2 buah

Tee (branch)	2 buah	2 buah
Expander (2" → 3")	1 buah	1 buah

Untuk melengkapi data primer, penelitian ini juga menggunakan data sekunder berupa informasi material pipa dan koefisien kerugian fitting. Material yang digunakan adalah *Carbon Steel ASTM A106 Grade B* dengan nilai kekasaran absolut 0,045 mm, yang sesuai dengan standar industri untuk pipa baja baru. Koefisien kerugian fitting diperoleh dari Crane Technical Paper No. 410M, sedangkan metode perhitungan faktor gesek dan bilangan Reynold [9-10]. Data sekunder tersebut telah dirangkum pada Tabel 4.

Tabel 4. Data Sekunder

Aspek	Referensi
Material pipa	Carbon Steel ASTM A106 Gr. B
Kekasaran absolut (ϵ)	0,045 mm
Koefisien kerugian fitting	Crane TP 410M
Faktor gesek Darcy (f)	Munson et al. (2013)
Faktor gesek turbulen penuh	Çengel & Cimbala (2018)

Seluruh data primer pada penelitian ini diperoleh dari *Distributed Control System* (DCS) dengan vendor Honeywell yang beroperasi di Unit 103 LPG Merox. Data laju alir volumetrik, temperatur operasi, tekanan tujuan, dan densitas fluida dikumpulkan secara kontinu selama 30 hari (1–30 Juli 2025) dan diolah menjadi nilai rata-rata sebagai representasi kondisi operasi stabil. Sementara itu, parameter lain seperti tekanan awal, viskositas, serta sebagian konfigurasi geometri pipa menggunakan data desain ditetapkan perusahaan.

2.5 Analisis Hidraulik

Analisis hidraulik pada penelitian ini bertujuan untuk menghitung tekanan akhir yang terbentuk di *Desulfide Separator* setelah melewati bypass line. Secara umum, hubungan antara tekanan awal, kerugian tekanan, dan tekanan akhir dapat dituliskan dalam bentuk persamaan gabungan:

$$P_1 = P_0 - \left(f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho v^2}{2} + \sum K \cdot \frac{\rho v^2}{2} + \rho g \Delta h \right) \quad (1)$$

Persamaan ini menunjukkan bahwa tekanan akhir (P_1) sama dengan tekanan awal (P_0) dikurangi total kerugian tekanan sepanjang jalur bypass. Total kerugian tekanan terdiri atas tiga komponen. Kerugian mayor

$\left(f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho v^2}{2}\right)$ yang timbul akibat gesekan fluida sepanjang pipa. Faktor gesek Darcy (f) dihitung dengan persamaan Colebrook–White [9], dan untuk kondisi turbulen penuh divalidasi menggunakan pendekatan Von Kármán [10]

Lerugian minor $\left(\sum K \cdot \frac{\rho v^2}{2}\right)$ yang dihasilkan oleh keberadaan fitting, valve, elbow, tee, dan expander di dalam sistem. Nilai koefisien kerugian (K) setiap komponen diambil dari *Flow of Fluids Through Valves, Fittings, and Pipe* [8] yang merupakan standar industri global dalam analisis aliran fluida pada perpipaan. Dengan demikian, perhitungan kerugian minor ini memiliki dasar yang konservatif dan sesuai dengan praktik rekayasa industri.

Kerugian elevasi ($\rho g \Delta h$) akibat perbedaan ketinggian antara titik awal dan titik akhir aliran. Besar kerugian ini proporsional terhadap densitas fluida dan perbedaan elevasi yang diperoleh dari survei lapangan. Selanjutnya, hasil perhitungan manual divalidasi dengan simulasi menggunakan modul *Pipe Segment* pada Aspen HYSYS, diperoleh verifikasi antara metode analitik dan numerik.

2.6 Perancangan Skenario Desain

Tahap akhir dari metodologi penelitian ini adalah penarikan kesimpulan berdasarkan hasil perhitungan hidraulik dan validasi simulasi. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan tekanan akhir yang diperoleh dari analisis dengan tekanan tujuan pada *Desulfide Separator* 103-V-506, yaitu 4,50 kg/cm²G. Suatu desain bypass line dinyatakan memenuhi syarat apabila tekanan akhir lebih besar atau sama dengan tekanan tujuan, dengan mempertimbangkan margin keamanan yang cukup untuk mengantisipasi variasi operasi.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

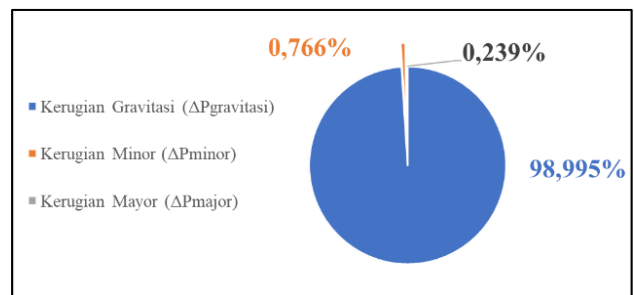
Analisis hidraulik menunjukkan bahwa kedua skenario desain bypass line, baik skenario rute optimal maupun realistik, secara teknis memenuhi kriteria kelayakan yang telah ditetapkan. Tekanan akhir yang diperoleh dari kedua perhitungan berada di atas tekanan tujuan sebesar 4,50 kg/cm²G, sementara kecepatan aliran berada di angka 0,10 m/s. Hasil perhitungan akhir meliputi total kerugian tekanan, tekanan akhir, margin, dan kecepatan aliran ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Data Pengamatan Proses Hidrogenasi

Variabel	Nilai		Satuan
	Optimal	Realistik	
ΔP_{minor}	33,7714	81,3359	Pa

ΔP_{major}	11,1236	25,3254	Pa
$\Delta P_{\text{gravitasi}}$	10509,447	10509,447	Pa
ΔP_{total}	10554,342	10616,108	Pa
P_1	553644,54	553582,77	Pa
P_1	4,6124	4,6117	kg/cm ² G
Margin	0,1124	0,1117	kg/cm ² G
Tekanan			
V	0,1016	0,1016	m/s

Meskipun hasil perhitungan menegaskan bahwa kedua skenario dapat diterima, margin tekanan yang diperoleh relatif kecil. Skenario optimal menghasilkan margin 0,1124 kg/cm²G, sedangkan skenario realistik menghasilkan margin 0,1117 kg/cm²G. Perbedaan yang minim ini tetap muncul meskipun konfigurasi pipa pada skenario realistik memiliki panjang lebih dari dua kali lipat dan jumlah fitting yang lebih banyak. Hal ini mengindikasikan bahwa kerugian akibat gesekan sepanjang pipa maupun fitting tidak menjadi komponen dominan dalam sistem yang dianalisis.



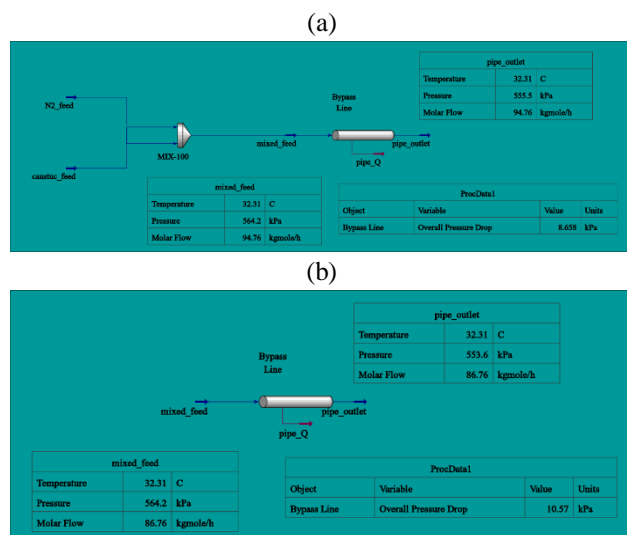
Gambar 2. Diagram Lingkaran Persentase Komponen Penurunan Tekanan

Dekomposisi total penurunan tekanan memperlihatkan bahwa kerugian gravitasi merupakan faktor utama. Kontribusi kerugian gravitasi mencapai 98,99% dari total, sedangkan kerugian mayor dan minor secara kolektif hanya sekitar 1%. Distribusi proporsi ini divisualisasikan pada Gambar 3.3 dalam bentuk diagram lingkaran. Kondisi tersebut disebabkan oleh kecepatan aliran yang rendah, sehingga kerugian gesek yang berbanding lurus dengan kuadrat kecepatan (v^2) menjadi kecil, sementara komponen gravitasi yang bergantung pada densitas fluida dan perbedaan elevasi tetap signifikan.

Validasi dilakukan menggunakan perangkat lunak Aspen HYSYS. Proses validasi ini dilakukan dalam dua tahap untuk menggambarkan alur analisis rekayasa secara

sistematis dan sesuai dengan praktik evaluasi teknis di industri proses.

Tahap pertama adalah melakukan simulasi dengan menggunakan komponen fluida aktual (H_2O , $NaOH$, N_2 , dll.) dan fluid package Peng-Robinson [11]. Simulasi awal ini menghasilkan penurunan tekanan sebesar 8.658 Pa, yang menunjukkan selisih signifikan sebesar 18,05% dibandingkan dengan hasil perhitungan manual (10.616 Pa). Perbedaan disebabkan oleh ketidaksesuaian penentuan densitas, di mana HYSYS menghitung densitas campuran dua fasa secara dinamis sebesar $955,8 \text{ kg/m}^3$, sedangkan perhitungan manual menggunakan nilai tetap dari data desain sebesar $1172,1 \text{ kg/m}^3$. Untuk memperoleh perbandingan yang setara, dapat dibuat duplikat simulasi dengan menambahkan komponen hipotetis. Sifat komponen tersebut, khususnya *molecular weight*, diatur secara iteratif hingga densitas fluida di dalam simulasi tepat sesuai dengan data desain ($1172,1 \text{ kg/m}^3$).



Gambar 3. a) Flowsheet HYSYS sebelum menggunakan komponen hipotetis b) Flowsheet HYSYS sesudah menggunakan komponen hipotetis

Tabel 6. Perbandingan Hasil Perhitungan Manual vs. HYSYS Terkalibrasi

Parameter	Manual	Simulasi HYSYS	Selisih	Akurasi
ΔP_{total} (Pa)	10.616,11	10.570,00	46,11	99,57%

Worksheet	Name	mixed_feed	pipe_outlet	pipe_Q
Conditions	Phase	liquid	liquid	liquid
Properties	Temperature (C)	32.3100	32.3100	32.3100
Properties	Pressure (kPa)	564.2	553.6	553.6
Composition	Molar Flow (kgmole/h)	94.76	94.76	94.76
PT Data	Molar Flow (kg/h)	1826.0000	1826.0000	1826.0000
	Logical Flow (kg/h)	12000	12000	12000
	Molar Enthalpy (kJ/kgmole)	-2.806e+005	-2.806e+005	-2.806e+005
	Molar Entropy (kJ/kgmole-C)	91.60	91.60	91.60
	Input Flow (kg/h)	2.47700e+007	2.47700e+007	2.47700e+007

Gambar 4. Worksheet dari Pipe Segment Simulasi HYSYS

Tingkat kesesuaian sebesar 99,57% ini secara definitif memvalidasi bahwa model perhitungan manual yang telah dibangun sangat akurat dan dapat diandalkan untuk analisis kelayakan teknis [12]. Proses validasi dua tahap ini berhasil mengonfirmasi akurasi perhitungan, serta menyoroti sensitivitas sistem terhadap definisi properti fluida.

Selain memastikan kelayakan bypass line pada kondisi aktual, temuan bahwa kerugian gravitasi menjadi faktor dominan memiliki implikasi penting. Pada sistem perpipaan industri, literatur umumnya menekankan bahwa kerugian gesekan mayor maupun minor sering kali menjadi komponen penentu dalam analisis hidraulik, terutama pada aliran dengan kecepatan menengah hingga tinggi [1][2]. Namun, hasil analisis pada studi ini menunjukkan perbedaan yang signifikan, di mana dominasi gravitasi hampir mencapai 99% dari total kerugian tekanan. Fenomena ini menegaskan bahwa konfigurasi sistem dengan laju alir rendah dan perbedaan elevasi dapat menghasilkan pola distribusi kerugian tekanan yang sangat berbeda dari asumsi umum.

Analisis sensitivitas dilakukan untuk menilai konsistensi hasil pada kondisi operasi yang berbeda. Karena kerugian mayor dan minor berbanding lurus dengan kuadrat kecepatan alir (v^2), peningkatan laju alir dua kali lipat dapat meningkatkan kontribusi gesekan hingga empat kali lipat. Dengan demikian, meskipun pada kondisi aktual friksi tampak tidak signifikan, pada variasi operasi dengan laju alir yang lebih tinggi, peran gesekan dapat meningkat secara substansial dan mengubah keseimbangan kerugian tekanan. Catatan ini menegaskan bahwa desain bypass line perlu dievaluasi kembali apabila kondisi operasi mengalami deviasi besar dari asumsi dasar.

Meskipun desain dinyatakan memenuhi kriteria kelayakan, margin tekanan yang diperoleh berada di bawah rentang aman yang umum direkomendasikan (0,2–0,5 $\text{kg/cm}^2\text{G}$). Oleh karena itu, diperlukan langkah untuk

meningkatkan margin keamanan tanpa menimbulkan biaya modifikasi desain yang signifikan. Setelah mengevaluasi beberapa alternatif, solusi yang paling efektif adalah menurunkan set point tekanan operasi pada vessel 103-V-506 dari 4,50 menjadi 4,40 kg/cm²G selama periode bypass digunakan. Penyesuaian ini mampu meningkatkan margin menjadi 0,21 kg/cm²G, yang berada dalam rentang aman, tidak menimbulkan gangguan berarti terhadap unit hilir karena aliran dari vessel ini sudah ditangani oleh pompa terpisah.

4 KESIMPULAN

Perancangan *bypass line* menggunakan pipa berdiameter 3 inci Schedule 80 dinyatakan layak secara teknis. Tekanan akhir yang diperoleh berada di atas tekanan tujuan 4,50 kg/cm²G, sementara kecepatan aliran sebesar 0,10 m/s jauh di bawah batas maksimum 3 m/s yang direkomendasikan. Analisis menunjukkan bahwa kinerja hidraulik didominasi oleh tekanan statis akibat gravitasi, yang menyumbang hampir 99% dari total kerugian tekanan. Kerugian mayor dan minor dapat diabaikan karena kecepatan aliran yang rendah, sehingga faktor pembatas utama sistem ini adalah elevasi, bukan panjang pipa atau jumlah fitting.

Meskipun desain dinyatakan layak, margin tekanan yang dihasilkan tipis, yakni sekitar 0,11 kg/cm²G. Kondisi ini menandakan perlunya penyesuaian secara operasional untuk memastikan keandalan sistem, terutama dalam menghadapi fluktuasi proses. Opsi yang direkomendasikan adalah penurunan set point tekanan operasi di vessel 103-V-506 menjadi 4,40 kg/cm²G, yang terbukti meningkatkan margin hingga 0,21 kg/cm²G tanpa menimbulkan dampak signifikan terhadap proses hilir. Validasi terhadap simulasi Aspen HYSYS menunjukkan konsistensi hasil dengan selisih 0,43%, sehingga mendukung keabsahan metode perhitungan yang digunakan.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih diucapkan kepada pihak-pihak yang telah menjadi mitra penelitian ini. Terutama pihak PT. Kilang Pertamina Internasional RU IV Cilacap yang telah memberi atensi khusus berupa kerjasama penelitian dengan outcome tulisan ilmiah.

Daftar Pustaka

[1] S. Borgquist *et al.*, "Mercaptan removal with electroscrubbing pilot," *Sep. Purif. Technol.*, vol. 343, p. 127145, 2024.

[2] Z. Gao *et al.*, "Kinetics and mechanism of catalytic oxidation desulfurization of gasoline liquefied petroleum gas in MeroxTM process with

microfluidics," *Chem. Eng. Technol.*, vol. 45, no. 12, pp. 2186–2194, 2022.

- [3] G. Martinez-Zuniga *et al.*, "Methyl mercaptan removal from methane using metal-oxides and aluminosilicate materials," *Catalysts*, vol. 14, no. 12, p. 907, 2024.
- [4] K. A. Nikmatul, G. Yudoko, and A. F. Firman, "Improvement of turnaround maintenance project execution through long-term specific contracting strategy (a case study: Gas processing plant in Indonesia)," *Eur. J. Bus. Manag. Res.*, vol. 8, no. 4, pp. 202–208, 2023.
- [5] J. L. Tai *et al.*, "Enhancing turnaround maintenance in process plants through on-stream phased array corrosion mapping: A review," *Appl. Sci.*, vol. 14, no. 15, p. 6707, 2024.
- [6] E. Wari, W. Zhu, and G. Lim, "Maintenance in the downstream petroleum industry: A review on methodology and implementation," *Comput. Chem. Eng.*, vol. 172, p. 108177, 2023.
- [7] S. Aghaei, M. Hamidi, A. Malekpour, and M. Besharat, "A numerical investigation into the performance of bypass systems during filling and air removal in partially drained pipelines," *Water*, vol. 17, no. 10, p. 1544, 2025.
- [8] Crane Co., *Flow of Fluids Through Valves, Fittings, and Pipe*, Tech. Paper 410, USA: Crane Co., 2018.
- [9] B. R. Munson, T. H. Okiishi, W. W. Huebsch, and A. P. Rothmayer, *Fundamentals of Fluid Mechanics*, 7th ed. Canada: John Wiley & Sons, Inc., 2013.
- [10] Y. A. Cengel and J. M. Cimbala, *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications*, 4th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2018.
- [11] H. Mohammadpour, A. Pivrikas, K. Y. Cheng, and G. Ho, "Electrolytic regeneration of spent caustic soda from CO₂ capture systems," *Processes*, vol. 12, no. 4, p. 723, 2024.
- [12] D. H. Kang, S. W. Choi, E. B. Lee, and S. -O. Kang, "Auto-routing systems (ARs) with 3D piping for sustainable plant projects based on artificial intelligence (AI) and digitalization of 2D drawings and specifications," *Sustainability*, vol. 16, no. 7, p. 2770, 2024.