

Pembuatan *Pressure Reduction System* (PRS) Kapasitas 50 Nm³/jam dengan Metode PDCA

Dani Sucipto¹, Gusman Simon², Susan Kustiwan³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Pelita Bangsa

Jl. Inspeksi Kalimalang Tegal Danas, Cikarang Pusat, Kabupaten Bekasi, Jawa Barat 17530

Email: dani.sucipto@mhs.pelitabangsa.ac.id, gusman.simon@pelitabangsa.ac.id,
susan.kustiwan@pelitabangsa.ac.id

ABSTRAK

Permintaan *Compressed Natural Gas* (CNG) di Indonesia terus meningkat seiring kebutuhan industri akan energi yang lebih bersih dan efisien. PT. XYZ sebagai distributor CNG hanya memiliki unit *Pressure Reduction System* (PRS) berkapasitas 30 Nm³/jam, sementara terdapat lima calon pelanggan yang membutuhkan kapasitas 50 Nm³/jam. Penelitian ini menerapkan siklus PDCA (Plan-Do-Check-Act) dalam proses pembuatan PRS CNG kapasitas 50 Nm³/jam, menguji stabilitas dan akurasi tekanan *outlet* terhadap *set point* 4 bar dengan toleransi $\pm 5\%$, serta memverifikasi pemenuhan standar keselamatan ASME B31.8. Pendekatan yang digunakan bersifat kuantitatif dan kualitatif, dengan pengumpulan data melalui observasi, wawancara, dokumentasi, dan pengukuran tekanan *outlet* pada lima variasi tekanan *inlet* (250, 200, 150, 100, dan 50 bar). Analisis dilakukan menggunakan perhitungan persentase *error*, rata-rata, dan standar deviasi, serta uji kebocoran, fungsi *safety valve*, dan respons *shut-off valve*. Hasil penelitian menunjukkan unit PRS menghasilkan rata-rata tekanan *outlet* 4,008 bar dengan *error* maksimum $\pm 0,75\%$ dan standar deviasi 0,0192 bar, serta lolos seluruh uji keselamatan ASME B31.8. Penelitian ini berkontribusi pada penerapan metode PDCA dalam pembuatan peralatan gas bertekanan serta menghasilkan usulan standarisasi komponen dan prosedur operasional standar (SOP).

Kata kunci: *Pressure Reduction System*; CNG; PDCA; stabilitas tekanan; ASME B31.8

ABSTRACT

The demand for Compressed Natural Gas (CNG) in Indonesia continues to increase in line with the industry's need for cleaner and more efficient energy. PT. XYZ, as a CNG distributor, only owns a Pressure Reduction System (PRS) unit with a capacity of 30 Nm³/hour, while five potential customers require a capacity of 50 Nm³/hour. This research applies the PDCA (Plan-Do-Check-Act) cycle in the development of a 50 Nm³/hour CNG PRS, tests the stability and accuracy of the outlet pressure against a 4 bar set point with a $\pm 5\%$ tolerance, and verifies compliance with the ASME B31.8 safety standard. Quantitative and qualitative approaches were employed, with data collected through observation, interviews, documentation, and outlet pressure measurements at five inlet pressure variations (250, 200, 150, 100, and 50 bar). The analysis used error percentage, mean, and standard deviation calculations, as well as leak testing, safety valve function, and shut-off valve response tests. The results show that the PRS unit produced an average outlet pressure of 4.008 bar with a maximum error of $\pm 0.75\%$ and a standard deviation of 0.0192 bar, and passed all ASME B31.8 safety tests. This research contributes to the application of the PDCA method in manufacturing pressurized gas equipment and produces proposals for component standardization and standard operating procedures (SOP).

Keywords: *Pressure Reduction System*; CNG; PDCA; pressure stability; ASME B31.8

Pendahuluan

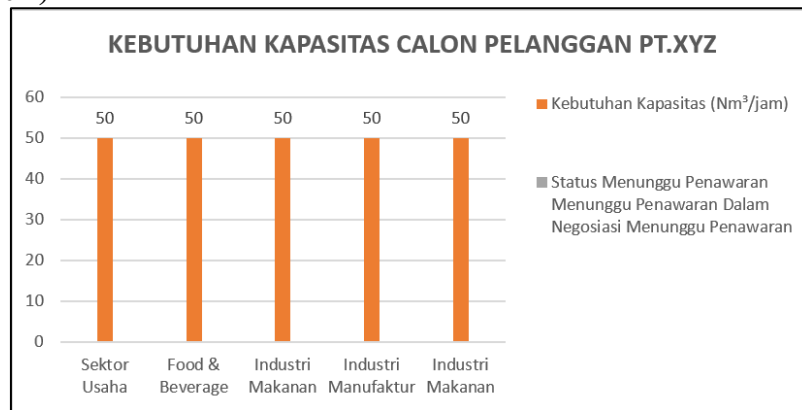
Industri manufaktur dan komersial di Indonesia dituntut menggunakan energi yang lebih bersih dan efisien seiring pertumbuhan ekonomi. Dalam konteks tersebut, *Compressed Natural Gas* (CNG) menjadi pilihan strategis karena harganya relatif stabil dan profil emisinya lebih ramah lingkungan [1]. Gas alam yang dikompresi hingga 200–250 bar harus diturunkan tekanannya secara aman dan stabil sebelum digunakan peralatan pelanggan seperti *burner* industri atau mesin pengering. Perangkat penurun tekanan tersebut dikenal sebagai *Pressure Reduction System* (PRS). Kinerja PRS menjadi faktor kritis karena ketidakstabilan tekanan keluaran dapat mengakibatkan nyala api padam, pemborosan gas, penurunan efisiensi pembakaran, hingga risiko kebocoran yang membahayakan keselamatan kerja [2].

PT. XYZ merupakan distributor CNG di wilayah Tangerang Selatan yang telah beroperasi sejak tahun 2019. Pada periode Januari–Februari 2024 teridentifikasi kesenjangan antara kemampuan produksi dan kebutuhan pasar. Perusahaan hanya memiliki satu jenis PRS berkapasitas 30 Nm³/jam, sementara tim pemasaran mencatat lima calon pelanggan yang membutuhkan laju alir 50 Nm³/jam, sebagaimana disajikan pada Tabel 1 dan diilustrasikan pada Gambar 1. Mayoritas permintaan (tiga dari lima calon pelanggan) bersifat jangka panjang, sehingga pengadaan unit PRS kapasitas 50 Nm³/jam layak dijadikan investasi jangka panjang bagi perusahaan.

Tabel 1. Permintaan calon pelanggan PT. XYZ

No	Kode customer	Sektor usaha	Kebutuhan (nm ³ /jam)	Durasi	Status
1	Cust-001	Food & Beverage	50	Jangka panjang	Menunggu Penawaran
2	Cust-002	Industri Makanan	50	Jangka panjang	Menunggu Penawaran
3	Cust-003	Industri Manufaktur	50	Jangka menengah	Dalam Negosiasi
4	Cust-004	Industri Makanan	50	Jangka panjang	Menunggu Penawaran
5	Cust-005	Industri Manufaktur	50	Jangka menengah	Dalam Negosiasi

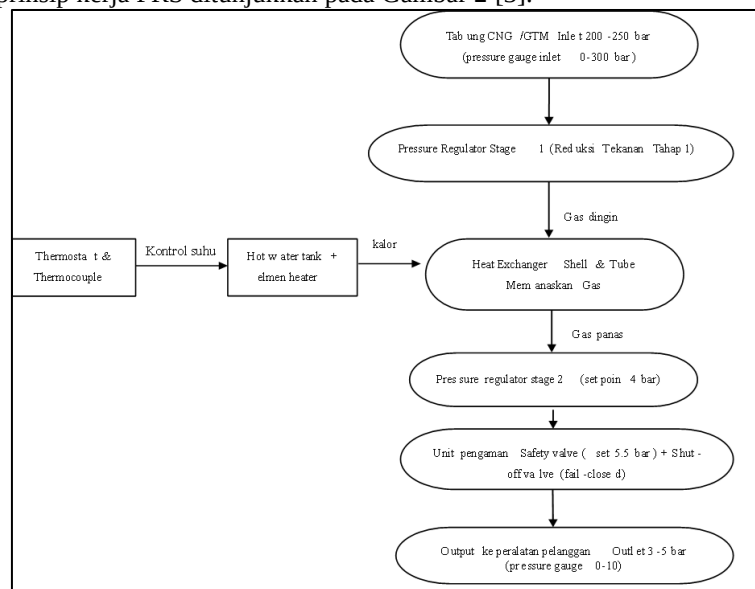
Sumber: PT. XYZ (2024)



Gambar 1. Kebutuhan kapasitas calon pelanggan PT. XYZ

Sumber: PT. XYZ (2024)

Prinsip kerja PRS pada penelitian ini menggunakan dua tahap penurunan tekanan (*two stage*). Karena penurunan tekanan yang besar menimbulkan efek pendinginan *Joule–Thomson* yang berisiko membekukan komponen, gas dipanaskan melalui *heat exchanger* yang dilengkapi *hot water tank*, *element heater*, dan *thermostat*. Skema prinsip kerja PRS ditunjukkan pada Gambar 2 [3].



Gambar 2. Prinsip kerja Pressure Reduction System (PRS)

Sumber: PT. XYZ (2024)

Permasalahan yang dihadapi perusahaan meliputi beberapa hal. Pertama, proses pembuatan PRS belum memiliki metode yang sistematis, *bill of material* yang baku, maupun prosedur operasional standar (SOP),

sehingga perakitan masih bergantung pada pengalaman teknisi. Kedua, terdapat risiko teknis dan keselamatan apabila PRS 30 Nm³/jam dipaksakan melayani beban 50 Nm³/jam, antara lain penurunan tekanan drastis, ketidakstabilan nyala api, dan potensi kebocoran. Ketiga, belum ada pengujian terstandar terhadap stabilitas dan akurasi tekanan *outlet* maupun aspek keselamatan unit yang dihasilkan.

Penelitian mengenai PRS umumnya berfokus pada aspek teknis perancangan tanpa kerangka perbaikan yang sistematis. Wibowo dkk. [2] membuat PRS CNG kapasitas 15 Nm³/jam dengan pendekatan konvensional satu tahap (*single stage*), sedangkan Ilmar dkk. [3] merancang ulang *heat exchanger shell and tube* pada *pressure reducing system* CNG kapasitas 150 m³/jam. Di sisi lain, metode PDCA banyak diterapkan untuk menurunkan kecacatan pada proses produksi massal, seperti pada industri komponen otomotif [4], proses pengecoran [5], produk roti [6], dan proses produksi tanki bahan bakar [7], bukan pada pembuatan peralatan gas bertekanan. Perawatan PRS pun umumnya dibahas secara terpisah melalui pendekatan *reliability centered maintenance* [8].

Kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada pengisian celah tersebut, yaitu memadukan metode PDCA sebagai kerangka perbaikan yang sistematis dalam pembuatan PRS CNG kapasitas 50 Nm³/jam dengan verifikasi kinerja melalui analisis statistik tekanan outlet dan pengujian keselamatan menurut standar ASME B31.8 dalam satu rangkaian kerja. Berbeda dari studi PRS terdahulu yang menekankan aspek teknis perancangan saja maupun studi PDCA yang berfokus pada pengurangan kecacatan produksi massal, penelitian ini menempatkan pembuatan peralatan gas bertekanan sebagai objek perbaikan berkelanjutan yang terukur. Secara praktis, penelitian ini diharapkan memberi manfaat langsung bagi PT. XYZ berupa tersedianya unit PRS kapasitas 50 Nm³/jam yang mampu menjaga tekanan outlet dalam toleransi $\pm 5\%$, menurunkan risiko kebocoran dan pembekuan, serta meningkatkan keandalan pasokan CNG kepada pelanggan; sekaligus menghasilkan bill of material baku, usulan standarisasi komponen, dan prosedur operasional standar yang dapat direplikasi. Sejalan dengan itu, tujuan penelitian adalah (1) menerapkan siklus PDCA secara utuh dalam proses pembuatan PRS; (2) menguji stabilitas dan akurasi tekanan outlet terhadap set point 4 bar dengan toleransi $\pm 5\%$; dan (3) memverifikasi pemenuhan standar keselamatan ASME B31.8 meliputi uji kebocoran, fungsi safety valve pada 5,5 bar, dan respons shut-off valve.

Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian terapan (*applied research*) dengan pendekatan kualitatif dan kuantitatif. Pendekatan kuantitatif digunakan karena kinerja PRS dievaluasi melalui pengukuran tekanan *outlet* yang dianalisis menggunakan persentase error, rata-rata, dan standar deviasi, sedangkan pendekatan kualitatif menggambarkan penerapan siklus PDCA pada setiap tahap pembuatan PRS. Penelitian dilaksanakan di PT. XYZ, distributor CNG di Tangerang Selatan, Banten, dengan objek berupa unit PRS kapasitas 50 Nm³/jam yang dirancang dan dirakit di perusahaan. Spesifikasi target unit PRS yang menjadi acuan tahap Plan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi target PRS kapasitas 50 Nm³/jam

Parameter	Nilai
Kapasitas aliran	50 Nm ³ /jam
Tekanan inlet (masuk)	200 – 250 bar
Tekanan outlet (keluar)	3 – 5 bar (set point 4 bar)
Media gas	CNG (metana, CH ₄)
Suhu operasi	–20 °C s/d 60 °C
Sistem pemanas	Electric heater + thermostat
Toleransi error tekanan outlet	$\leq \pm 5\%$

Sumber: PT. XYZ (2024)

Data primer diperoleh melalui observasi langsung ke area kerja teknisi dan gudang komponen, wawancara dengan pembimbing lapangan dan tim teknisi, dokumentasi proses perakitan, serta pengukuran tekanan *outlet* menggunakan *pressure gauge* terkalibrasi pada lima variasi tekanan *inlet* (250, 200, 150, 100, dan 50 bar). Data sekunder meliputi katalog teknis komponen, standar keselamatan ASME B31.8, serta data spesifikasi komponen yang tersedia di perusahaan.

Teknik Analisis Data

Kinerja PRS dievaluasi menggunakan tiga parameter statistik. Persentase error (ϵ) mengukur deviasi tekanan outlet aktual terhadap set point (Persamaan 1); rata-rata ($\bar{P}$) menggambarkan nilai tengah data pengukuran (Persamaan 2); dan standar deviasi (σ) mengukur sebaran data terhadap rata-rata sebagai indikator kestabilan (Persamaan 3). Toleransi error yang diizinkan mengacu pada standar industri regulator gas, yaitu kurang dari $\pm 5\%$ [9], [5], [10].

$$\epsilon = |(P_{out,i} - P_{set}) / P_{set}| \times 100\% \quad (1)$$

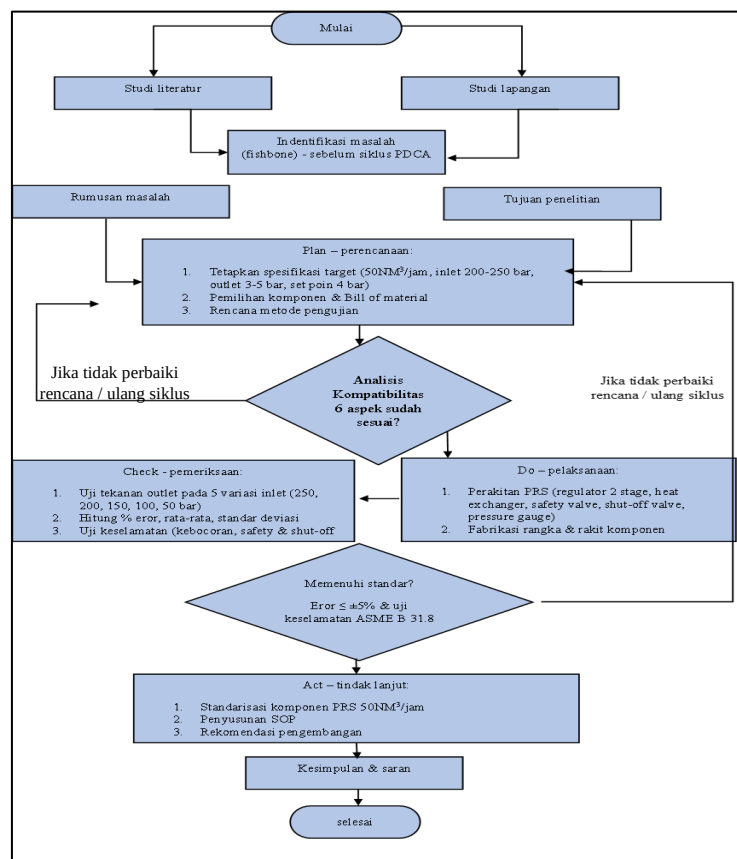
$$\bar{P} = (1/n) \sum P_{out,i} \quad , \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$\sigma = \sqrt{[\Sigma (P_{out,i} - \bar{P})^2 / (n - 1)]} \quad (3)$$

Dengan $P_{out,i}$ adalah tekanan outlet pada pengukuran ke- i , $\bar{P}$ rata-rata tekanan outlet, P_{set} tekanan set point (4 bar), dan n jumlah data pengukuran. Kriteria keberhasilan ditetapkan berupa persentase *error* tidak melebihi $\pm 5\%$ dan nilai standar deviasi yang kecil. Selain analisis statistik, dilakukan pengujian keselamatan berdasarkan ASME B31.8 [11], [12] meliputi uji kebocoran, uji fungsi *safety valve* pada tekanan 5,5 bar, dan uji respons *shut-off valve*, dengan hasil dikategorikan “Lolos” atau “Tidak Lolos”[13].

Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian disusun mengikuti siklus PDCA dan digambarkan dalam diagram alir (*flowchart*) pada Gambar 3. Identifikasi akar penyebab masalah menggunakan diagram sebab-akibat (*fishbone*) dilakukan sebelum siklus dimulai [13]. Tahap Plan menetapkan spesifikasi target, memilih komponen yang dituangkan dalam *bill of material* (BOM), serta menganalisis kompatibilitas antarkomponen. Tahap Do merealisasikan perakitan PRS. Tahap Check menguji tekanan *outlet* dan aspek keselamatan. Apabila kriteria (*error* $\leq \pm 5\%$ dan lolos uji keselamatan) belum terpenuhi, siklus kembali ke tahap Plan; apabila terpenuhi, dilanjutkan ke tahap Act berupa standarisasi komponen, penyusunan SOP, dan rekomendasi pengembangan.



Gambar 3. Diagram alir (*flowchart*) tahapan penelitian siklus PDCA
Sumber: diolah penulis (2024)

Hasil dan Pembahasan

Identifikasi Akar Penyebab Masalah

Sebelum siklus PDCA dimulai, dilakukan identifikasi akar penyebab masalah menggunakan diagram sebab-akibat (*fishbone*) dengan enam kategori, yaitu Man, Method, Measurement, Machine, Material, dan Environment (Gambar 4). Hasil pemetaan menunjukkan akar penyebab utama meliputi keterbatasan kapasitas mesin (hanya tersedia PRS 30 Nm³/jam), belum adanya BOM dan SOP baku, ketergantungan pada pengalaman teknisi, serta belum adanya standar pengujian tekanan. Penelusuran lebih lanjut hingga akar penyebab terkecil pada tiap kategori memberikan arah perbaikan yang lebih jelas. Pada kategori Machine, keterbatasan kapasitas regulator bukan disebabkan kerusakan, melainkan karena nilai koefisien aliran (C_v) dan orifice regulator memang dirancang untuk beban lebih kecil, sementara unit 50 Nm³/jam belum tersedia karena pengadaannya belum pernah

diinvestasikan. Pada kategori Method, ketiadaan BOM dan SOP berakar pada proses pembuatan yang belum pernah distandarkan dan masih bersifat satuan mengikuti pesanan. Pada kategori Man, ketergantungan pada pengalaman teknisi merupakan konsekuensi dari tidak adanya BOM/SOP tertulis dan belum terdokumentasinya proses perakitan. Pada kategori Measurement, belum adanya standar pengujian berakar pada kriteria lolos/gagal yang belum ditetapkan dan jadwal kalibrasi alat ukur yang belum tersusun. Adapun pada kategori Material dan Environment, variasi mutu komponen bersumber dari spesifikasi rating yang belum dibakukan, sedangkan risiko pembekuan bersumber dari penurunan tekanan yang besar (dari 250 bar menjadi 4 bar) yang memicu efek pendinginan *Joule-Thomson* apabila tidak dikompensasi pemanas. Pemetaan akar penyebab hingga tingkat terkecil ini menjadi dasar penyusunan tindakan perbaikan pada tahap-tahap PDCA berikutnya.



Gambar 4. Diagram *fishbone* analisis akar penyebab masalah

Tahap Plan (Perencanaan)

Tahap Plan mencakup penetapan spesifikasi target (Tabel 2), pemilihan komponen yang dituangkan dalam *bill of material* (Tabel 3), dan analisis kompatibilitas antarkomponen. Analisis kompatibilitas ditinjau dari enam aspek — tekanan kerja, kapasitas aliran, dimensi/sambungan, material, suhu operasi, dan fungsional/set point — untuk memastikan komponen dapat dirakit dan dioperasikan bersama secara aman [14], [13], [15]. Hasil analisis (Tabel 4) menunjukkan keenam aspek dinyatakan sesuai, sehingga rancangan dapat dilanjutkan ke tahap perakitan tanpa penggantian komponen.

Tabel 3. Bill of material (BOM) unit PRS kapasitas 50 Nm³/jam

No	Nama komponen	Spesifikasi teknis	Jml	Material
1	Shut-off valve inlet	Tekanan kerja $\leq$ 300 bar, koneksi ½" NPT	1	Stainless steel 316
2	Pressure gauge inlet	Rentang 0–300 bar, koneksi ¼" NPT	1	Stainless steel
3	Pressure regulator tahap 1	Inlet 0–250 bar, outlet 10–15 bar	1	Kuningan / SS
4	Heat exchanger (shell & tube)	Media air panas, kapasitas $\geq$ 50 Nm³/jam	1	Stainless steel
5	Hot water tank	Kapasitas $\pm$ 20 liter	1	Stainless steel
6	Element heater	Daya 2.000 W, tegangan 220 V	1	—
7	Thermostat	Rentang atur 0–90 °C	1	—
8	Thermocouple	Tipe K	1	—
9	Pressure regulator tahap 2	Inlet 0–16 bar, outlet 0–6 bar (set 4 bar)	1	Kuningan / SS
10	Pressure safety valve	Tekanan bukaan 5,5 bar	1	Stainless steel
11	Pressure gauge outlet	Rentang 0–10 bar, koneksi ¼" NPT	1	Stainless steel
12	Shut-off valve outlet	Tekanan kerja $\leq$ 16 bar, tipe <i>fail-closed</i>	1	Stainless steel
13	Panel kontrol	Kendali heater & indikator suhu/tekanan	1	—
14	Pipa/tubing & fitting	Tubing SS 316, sambungan NPT/kompresi	1 set	Stainless steel 316

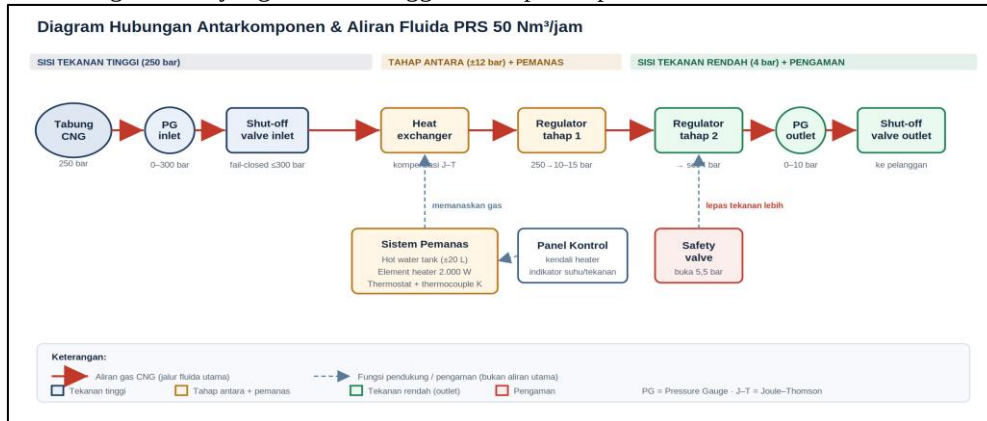
Sumber: PT. XYZ (2024)

Tabel 4. Hasil analisis kompatibilitas antar komponen PRS

No	Aspek	Hasil pemeriksaan	Status
1	Tekanan kerja	Sisi <i>inlet</i> mampu menahan $\geq$ 250 bar (<i>gauge</i> 0–300 bar); sisi <i>outlet</i> menahan $\geq$ 5,5 bar (<i>gauge</i> 0–10 bar)	Sesuai
2	Kapasitas aliran	Cv regulator dan katup mencukupi untuk 50 Nm³/jam dengan margin $\pm$ 15%; bukaan kerja 20–80%	Sesuai
3	Dimensi & sambungan	Seluruh sambungan ulir NPT selaras; tidak diperlukan adapter tambahan	Sesuai
4	Material	Kuningan dan SS 316 tahan korosi terhadap CH ₄ ; <i>seal elastomer</i> kompatibel gas alam	Sesuai
5	Suhu operasi	Sistem pemanas (heater 2.000 W + heat exchanger) mengompensasi pendinginan; suhu gas terjaga –20 s/d 60 °C	Sesuai

6	Fungsional & set point	Tekanan antara ± 12 bar masuk rentang regulator tahap 2; set point 4 bar < safety valve 5,5 bar < MAWP hilir; shut-off valve fail-closed	Sesuai
Sumber: PT. XYZ (2024)			

Untuk memperjelas keterkaitan antarkomponen hasil analisis kompatibilitas pada Tabel 4, hubungan fungsional dan jalur aliran fluida antarkomponen PRS digambarkan pada Gambar 5. Diagram tersebut memperlihatkan aliran gas mengalir berurutan dari sisi tekanan tinggi (250 bar) menuju sisi tekanan rendah (set point 4 bar) melalui dua tahap penurunan tekanan, sementara sistem pemanas dan *safety valve* berperan sebagai fungsi pendukung dan pengaman yang tidak dilalui aliran utama. Susunan ini memastikan setiap komponen bekerja pada rentang tekanan yang sesuai sehingga unit dapat dioperasikan secara aman.



Gambar 5. Diagram hubungan antarkomponen PRS kapasitas 50 Nm³/jam
Sumber: diolah penulis (2024)

Tahap Do (Pelaksanaan)

Tahap Do merupakan realisasi rencana, meliputi fabrikasi rangka dudukan unit *portable*, perakitan komponen (pressure regulator dua tahap, safety valve, shut-off valve, heat exchanger, pressure gauge, thermostat, serta sistem pemipaan SS316), dan instalasi sistem pemanas listrik. Perakitan mengikuti urutan aliran fluida: tabung CNG → pressure gauge inlet → shut-off valve → heat exchanger → pressure regulator dua tahap → safety valve → pressure gauge outlet → jaringan pipa distribusi. Seluruh sambungan menggunakan fitting SS316 dengan rating 300 bar untuk menjamin ketahanan terhadap tekanan tinggi. Unit PRS hasil perakitan ditunjukkan pada Gambar 6.

Selama tahap Do teridentifikasi dua kendala utama yang sesuai dengan antisipasi pada analisis akar penyebab, yaitu kebocoran pada sambungan dan risiko pembekuan akibat efek *Joule–Thomson*. Kendala pertama muncul saat uji tekan awal, ketika ditemukan rembesan gas pada beberapa sambungan ulir bertekanan tinggi. Tindakan yang dilakukan adalah membongkar sambungan terkait, membersihkan ulir, memasang ulang menggunakan *thread sealant* yang sesuai untuk gas, serta melakukan pengencangan dengan torsi terkontrol; perbaikan diverifikasi melalui uji busa sabun hingga tidak ditemukan gelembung dan tidak terjadi penurunan tekanan. Kendala kedua berupa potensi pembekuan pada titik ekspansi tekanan, yang ditangani dengan mengaktifkan sistem pemanas — *hot water tank* dengan *element heater* 2.000 W yang dikendalikan *thermostat* — sehingga suhu gas terjaga pada rentang aman dan tidak terbentuk bunga es pada badan regulator. Penyelesaian kedua kendala inilah yang kemudian diverifikasi pada tahap Check dan menjadi dasar klaim keandalan unit pada bagian simpulan. Penentuan kapasitas aliran katup dan regulator mengacu pada praktik pemilihan *control valve* berbasis koefisien aliran (Cv) [16].



Gambar 6. Unit PRS kapasitas 50 Nm³/jam hasil perakitan
Sumber: PT. XYZ (2024)

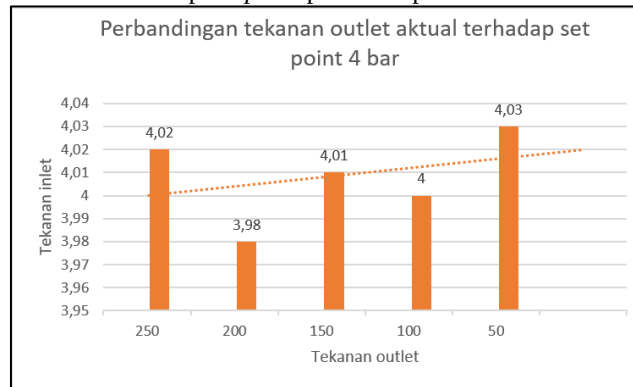
Tahap Check (Pemeriksaan dan Pengujian)

Tahap Check mengevaluasi kinerja unit PRS terhadap kriteria keberhasilan. Pengujian stabilitas dan akurasi tekanan outlet dilakukan pada lima variasi tekanan inlet dengan set point dijaga pada 4 bar; hasilnya disajikan pada Tabel 5. Seluruh nilai error berada jauh di bawah toleransi $\pm 5\%$.

Tabel 5. Hasil uji tekanan outlet dan perhitungan error

No	Tekanan inlet (bar)	Tekanan outlet (bar)	Error (%)	Keterangan
1	250	4,02	+0,50	Tabung penuh
2	200	3,98	-0,50	Tekanan tinggi
3	150	4,01	+0,25	Tekanan menengah
4	100	4,00	0,00	Tekanan rendah
5	50	4,03	+0,75	Tabung hampir habis

Berdasarkan Persamaan (2) dan (3), perhitungan menghasilkan rata-rata tekanan outlet $\bar{P} = 4,008$ bar, standar deviasi $\sigma = 0,0192$ bar, dan error maksimum $\pm 0,75\%$. Nilai ini jauh lebih kecil dibandingkan toleransi $\pm 5\%$ yang ditetapkan pada tahap Plan, sehingga unit PRS dinyatakan memenuhi kriteria stabilitas dan akurasi tekanan outlet. Perbandingan tekanan outlet aktual terhadap set point pada setiap variasi tekanan inlet disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Perbandingan tekanan outlet aktual terhadap set point 4 bar

Sumber: diolah penulis (2024)

Selain kinerja tekanan, dilakukan pengujian keselamatan yang mengacu pada standar ASME B31.8 meliputi uji kebocoran (*leak test*), uji fungsi *safety valve*, dan uji respons *shut-off valve*. Seluruh pengujian dinyatakan lolos (Tabel 6): tidak ditemukan kebocoran setelah perbaikan sambungan, *safety valve* membuka tepat pada 5,5 bar dan menutup kembali saat tekanan normal, serta aliran gas terputus kurang dari 2 detik saat *shut-off valve* diaktifkan.

Tabel 6. Hasil pengujian keselamatan berdasarkan ASME B31.8

Sumber: data pengujian PT. XYZ (2024)

No	Jenis pengujian	Kriteria keberhasilan	Hasil pengujian	Status
1	Uji kebocoran (<i>leak test</i>)	Tidak terdapat gelembung pada sambungan dan tidak ada penurunan tekanan	Tidak ditemukan kebocoran setelah perbaikan sambungan	Lolos
2	Uji fungsi <i>safety valve</i>	Katup membuka pada tekanan 5,5 bar	Katup membuka tepat pada 5,5 bar dan menutup kembali saat tekanan normal	Lolos
3	Uji respons <i>shut-off valve</i>	Aliran gas terputus cepat pada kondisi darurat	Aliran gas terputus kurang dari 2 detik saat katup diaktifkan	Lolos

Ditinjau dari sisi keselamatan, unit PRS menerapkan skema pengaman berlapis (*redundansi*) sehingga kegagalan satu komponen tidak langsung berujung pada kondisi berbahaya. Regulator dua tahap membatasi tekanan secara bertingkat, *safety valve* pada 5,5 bar melepaskan kelebihan tekanan bila regulator tahap kedua gagal menahan tekanan, sedangkan *shut-off valve* bertipe *fail-closed* memutus aliran dalam kondisi darurat. Kombinasi pembatasan bertingkat, pelepasan tekanan, dan pemutusan aliran ini menurunkan probabilitas terjadinya tekanan berlebih maupun kebocoran ke sisi pelanggan. Untuk mitigasi risiko jangka panjang, direkomendasikan pemeriksaan dan pengujian ulang fungsi *safety valve* serta *shut-off valve* secara berkala sebagai bagian dari perawatan preventif.

Tahap Act (Tindak Lanjut)

Karena unit PRS telah memenuhi seluruh kriteria keberhasilan, tahap Act difokuskan pada standardisasi solusi agar hasil dapat dipertahankan dan direplikasi. Usulan standardisasi enam komponen kritis disajikan pada Tabel 7, mencakup regulator tahap 1 dan 2, *safety valve*, *heat exchanger* dengan *heater*, *pressure gauge*, dan *shut-off valve*. Keenam komponen tersebut dipilih karena secara langsung menentukan keberhasilan atau kegagalan operasi PRS pada fungsi penurunan tekanan, keselamatan, pendukung kritis, dan pemantauan.

Tabel 7. Usulan standardisasi komponen utama PRS kapasitas 50 Nm³/jam

NO	KOMPONEN	SPESIFIKASI STANDAR	KETERANGAN
1	Regulator tahap 1	<i>Inlet</i> 0–250 bar, <i>outlet</i> 10–15 bar	Penurun tekanan awal (komponen kritis)
2	Regulator tahap 2	<i>Inlet</i> 0–16 bar, <i>outlet</i> 0–6 bar (set 4 bar)	Penentu akurasi set point
3	<i>Safety valve</i>	Tekanan bukaan 5,5 bar	Pengaman utama sisi outlet
4	<i>Heat exchanger + heater</i>	<i>Heater</i> 2.000 W, media air panas	Kompensasi efek <i>Joule–Thomson</i>
5	<i>Pressure gauge</i>	<i>Inlet</i> 0–300 bar; <i>outlet</i> 0–10 bar	Pemantauan tekanan
6	<i>Shut-off valve</i>	<i>Inlet</i> SS ≤ 300 bar; <i>outlet</i> fail-closed	Pemutus aliran darurat

Selain standardisasi, disusun prosedur operasional standar (SOP) sebagai pedoman baku pengoperasian unit yang mencakup lima tahap, yaitu persiapan (*pre-start*), pengoperasian (*start-up*), pemantauan, pematian (*shutdown*), dan penanganan kondisi darurat (*emergency*). Sebagai tindak lanjut untuk pengembangan berkelanjutan, direkomendasikan penerapan SOP dan standardisasi komponen secara konsisten, penjadwalan perawatan berkala (kalibrasi pressure gauge dan pemeriksaan sambungan), serta pengembangan kapasitas yang lebih besar maupun integrasi sistem kontrol digital berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk pemantauan tekanan dan suhu secara *real-time*.

Pembahasan

Hasil penelitian menjawab ketiga tujuan yang ditetapkan. Pertama, siklus PDCA berhasil diterapkan secara utuh: tahap Plan menghasilkan spesifikasi target, BOM, dan analisis kompatibilitas; tahap Do menghasilkan unit terakit sekaligus penyelesaian kendala kebocoran dan pembekuan; tahap Check menghasilkan verifikasi kinerja dan keselamatan; serta tahap Act menghasilkan standardisasi komponen dan SOP. Penyelesaian kendala pada tahap Do memperlihatkan bahwa PDCA bukan sekadar prosedur linear, melainkan kerangka perbaikan berkelanjutan.

Kedua, unit PRS mampu menjaga stabilitas dan akurasi tekanan *outlet* dengan rata-rata 4,008 bar (mendekati *set point* 4 bar), *error* tertinggi ±0,75%, dan standar deviasi 0,0192 bar. Stabilitas ini sejalan dengan teori bahwa konfigurasi regulator dua tahap (*two stage*) mampu mengurangi penurunan tekanan keluaran (*droop*) dan meredam pengaruh fluktuasi tekanan pasokan dibandingkan konfigurasi satu tahap. Ketiga, unit PRS memenuhi standar keselamatan ASME B31.8 yang dibuktikan dengan lolosnya uji kebocoran, fungsi *safety valve* pada 5,5 bar, dan respons *shut-off valve*. Keberhasilan sistem pemanas dalam mencegah pembekuan menegaskan pentingnya *heat exchanger* untuk mengompensasi efek *Joule–Thomson*.

Dibandingkan penelitian terdahulu, Wibowo dkk. [2] membuat PRS kapasitas 15 Nm³/jam dengan pendekatan konvensional satu tahap, dan Ilmar dkk. [3] berfokus pada perancangan ulang *heat exchanger shell and tube* untuk PRS kapasitas 150 m³/jam; keduanya menonjolkan aspek teknis tanpa kerangka perbaikan berkelanjutan. Di sisi lain, penerapan PDCA pada industri lain umumnya bertujuan menurunkan kecacatan pada produksi massal, seperti pada komponen otomotif [6], proses pengecoran [17], produk roti [6], proses produksi tanki bahan bakar [7], dan produk pakaian [6]. Dengan demikian, baik pada kapasitas PRS yang lebih kecil (15 Nm³/jam) maupun jauh lebih besar (150 m³/jam), belum ditemukan penerapan PDCA sebagai kerangka pembuatan PRS yang sekaligus memverifikasi kinerja dan keselamatannya. Penelitian ini memadukan keduanya — menggunakan PDCA sebagai kerangka sistematis dalam pembuatan PRS CNG kapasitas 50 Nm³/jam sekaligus melakukan verifikasi kinerja melalui analisis statistik dan pengujian keselamatan — sehingga sesuai dengan kebaruan yang dinyatakan.

Simpulan

Siklus PDCA (Plan-Do-Check-Act) berhasil diterapkan secara utuh dalam proses pembuatan *Pressure Reduction System* (PRS) CNG kapasitas 50 Nm³/jam di PT. XYZ, mulai dari penetapan spesifikasi target, *bill of material*, dan analisis kompatibilitas antarkomponen pada tahap Plan; perakitan unit beserta penyelesaian kendala kebocoran dan pembekuan pada tahap Do; verifikasi kinerja dan keselamatan pada tahap Check; hingga standardisasi komponen, penyusunan SOP, dan rekomendasi pengembangan pada tahap Act. Unit PRS yang dihasilkan mampu menjaga stabilitas dan akurasi tekanan *outlet* terhadap *set point* 4 bar, dibuktikan dengan rata-rata tekanan *outlet* 4,008 bar, persentase *error* tertinggi ±0,75% yang masih berada dalam toleransi ±5%, serta standar deviasi 0,0192 bar yang menunjukkan tekanan *outlet* stabil. Unit PRS juga memenuhi standar keselamatan ASME B31.8, dibuktikan dengan lolosnya uji kebocoran, uji fungsi *safety valve* pada tekanan 5,5 bar, dan uji respons *shut-off valve*. Dengan demikian, penerapan metode PDCA terbukti efektif sebagai kerangka sistematis dalam pembuatan peralatan gas bertekanan. Untuk pengembangan selanjutnya disarankan penerapan SOP dan standardisasi komponen secara konsisten, penambahan parameter pengukuran seperti suhu outlet dan laju alir aktual, serta pengembangan PRS berkapasitas lebih besar atau integrasi sistem kontrol digital berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk pemantauan tekanan dan suhu secara *real-time*.

Daftar Pustaka

- [1] I. Fitriana *et al.*, “Bahan Bakar Gas Terbarukan Di Indonesia Techno Economic Analysis Of Biocng As Renewable Gas Fuel In Indonesia”.
- [2] C. Wibowo, F. M. Dewadi, And D. Setiawan, “Pembuatan Compressed Natural Gas (Cng) Pressure Reduction System (Prs) Kapasitas 15 Nm³ / H,” Vol. 6, No. 1, Pp. 14–21, 2024.
- [3] A. Ilmar, E. Diniardi, And D. Sumiyarsono, “Rancang Ulang Heat Exchanger Shell And Tube Pada Pressure Reducing System Untuk Compressed Natural Gas KAPASITAS 150 m³ / Jam,” vol. 17, no. 3, pp. 114–119, 2015.
- [4] F. Sumasto, C. P. Maharani, B. H. Purwojatmiko, F. Imansuri, and S. Aisyah, “PDCA Method Implementation to Reduce the Potential Product Defects in the Automotive Components Industry,” vol. 4, no. 2, pp. 87–98, 2023, doi: 10.22441/ijiem.v4i2.19527.
- [5] D. C. Montgomery, “Introduction to statistical quality control,” 2009, *John Wiley & Sons, New York*.
- [6] A. Z. Al-faritsy, A. Luthfi, and N. Falah, “Implementasi PDCA Untuk Meningkatkan Kualitas Produk Roti Implementation Of PDCA To Improve The Quality Of Bread Products,” pp. 40–48.
- [7] P. T. Menara and C. Metalindo, “Analisis Pengendalian Kualitas Pada Proses Produksi Tanki Bahan Bakar Dump Truck HD 785 Menggunakan Metode PDCA di PT . Menara Cipta Metalindo,” vol. 6, no. 2, pp. 119–127, 2023.
- [8] S. Kasus, P. T. Affandra, and E. Indonesia, “Perencanaan Pemeliharaan Pressure Reducing System Dengan Metode Reliability Centered Maintenance,” vol. 4, no. 3, pp. 881–887, 2025.
- [9] W. Deming, *Out of the Crisis*. 2000.
- [10] R. E. Walpole, R. H. Myers, S. L. Myers, and K. Ye, “Probability & statistics for engineers & scientists: MyStatLab update,” *Probab. DAN Stat.*, 2017, [Online]. Available: <https://www.mendeley.com/catalogue/82817f14-7e21-33e7-b720-87a72876b77e/>
- [11] D. D. Mackintosh, “Pipeline Dent Strain Assessment Using ASME B31 . 8,” pp. 1–23, 2020.
- [12] A. S. of M. Engineers, “ASME B31.8-2003: Gas Transmission and Distribution Piping Systems,” *Am. Soc. Mech. Eng.*, vol. 552, no. 1, p. 203, 2004.
- [13] T. Nps and I. Standard, “Pipe Flanges and Flanged Fittings,” 2020.
- [14] F. Edition, K. T. Ulrich, and S. D. Eppinger, *No Title*.
- [15] F. Edition, “CONTROL VALVE”.
- [16] S. Edition, “CONTROL VALVE Sixth Edition”.
- [17] M. Prasetyawati, L. Dewiyani, and W. Sudarwati, “Upaya Penurunan Defect Porosity Pada PT. EPI Menggunakan Metode PDCA Efforts to Reduce Defect Porosity at PT. EPI Uses the PDCA Method,” vol. 10, no. 1, pp. 22–33, 2024.