

Sistem Distribusi BBM Dengan Metode Injeksi Menggunakan Pompa Kendali On-Off

Agustinus Alexander¹, Gerald Harold², Simon Ka'ka³ dan Akhmad Taufik⁴

^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar 90245, Indonesia
*E-mail korespondensi: agustinus.alexander87@gmail.com

Abstract: This research, entitled “Fuel Distribution System Using Injection Method with On-Off Controlled Pump”, was conducted at PT Pertamina Patra Niaga Integrated Terminal Makassar. The device was developed as an effort to improve the effectiveness of the fuel distribution process and to reduce the risk of environmental pollution caused by temporary equipment that often leads to fuel spills around the temporary storage tank (sumb tank). The designed system is a permanent fuel distribution system equipped with a piping network, pump and motor control system, and digital pressure measurement. The experiment was carried out using 5,000 KL of fuel as the sample with five pressure variations, namely 10 bar (15%), 8.5 bar (25%), 7 bar (50%), 6.5 bar (80%), and 5 bar (100%), each tested for 5 minutes. The results showed that the highest flow rate occurred at 10 bar pressure with a value of 0.0096 m³/s, although this condition is not recommended because it can cause unstable fluid flow and pump irregularities. When all valves in the injection system are fully open, the pressure becomes stable and the fuel flow remains consistent. The optimal condition was obtained at 5 bar pressure (100%) with a flow rate of 0.1659 m³/s.

Keywords: Fuel distribution system, fluid injection, on-off control pump, energy efficiency, environmental control.

Abstrak: Penelitian ini berjudul “Sistem Distribusi BBM dengan Metode Injeksi Menggunakan Pompa Kendali On-Off”, yang dilaksanakan di PT Pertamina Patra Niaga Integrated Terminal Makassar. Alat ini dibuat sebagai upaya meningkatkan efektivitas proses distribusi BBM dan untuk mengurangi resiko pencemaran lingkungan akibat peralatan temporary yang dapat luberan di sekitar tangki penyimpanan sementara (sumb tank). Sistem yang dirancang merupakan sistem distribusi yang permanen yang dilengkapi dengan jalur perpipaan, sistem kontrol pompa dan motor, dan menggunakan pengukuran tekanan digital. Pengujian dilakukan dengan menggunakan BBM 5000 KL sebagai sampel dan pada lima variasi tekanan yakni 10 (15%), 8.5 (25%), 7 (50%), 6.5 (80%), dan 5 bar (100%) selama 5 menit setiap pengujian. Hasil menunjukkan tekanan tertinggi pada tekanan 10 bar sebesar 0.0096 m³/s namun tidak disarankan karena bisa membuat laju aliran fluida tidak normal serta kondisi pompa yang tidak stabil. Kondisi seluruh valve dari system injeksi semua terbuka maka tekanan akan normal dan laju aliran BBM akan stabil Pada tekanan 5 bar (100%) dengan nilai 0.1659 m³/s.

Kata kunci : Sistem distribusi BBM, injeksi fluida, pompa kendali on-off, efisiensi energi, pengendalian lingkungan.

I. PENDAHULUAN

PT Pertamina merupakan perusahaan milik negara yang bergerak di bidang eksplorasi, produksi, pengolahan, hingga distribusi minyak dan gas bumi di Indonesia sejak didirikan pada tahun 1957. Dalam menjalankan fungsinya sebagai penyedia energi nasional, PT Pertamina memiliki peran strategis dalam menjamin ketersediaan dan distribusi Bahan Bakar Minyak (BBM) yang menjadi kebutuhan utama bagi sektor transportasi, industri, serta kegiatan ekonomi masyarakat [1]. Ketersediaan dan keandalan sistem distribusi BBM sangat penting untuk menjaga stabilitas pasokan energi serta mendukung pembangunan nasional secara berkelanjutan [2].

Salah satu fasilitas penting dalam rantai distribusi BBM adalah terminal penyimpanan dan distribusi yang berfungsi sebagai pusat pengelolaan produk sebelum didistribusikan ke berbagai wilayah. PT Pertamina Patra Niaga Integrated Terminal Makassar merupakan salah satu simpul distribusi strategis yang memiliki peran penting dalam menjaga kontinuitas pasokan BBM di kawasan Indonesia Timur. Dalam operasionalnya, terminal ini menghadapi permasalahan terkait pengelolaan sisa produk BBM yang harus dikembalikan ke dalam tangki timbun melalui proses injeksi ulang atau proses daur ulang produk [3].

Proses injeksi BBM yang saat ini diterapkan masih menggunakan metode konvensional, yaitu dengan memanfaatkan pompa portable dan penampungan sementara pada sumbu tank sebelum dialirkan kembali ke tangki penyimpanan. Metode ini memerlukan proses penanganan manual serta penggunaan peralatan sementara yang kurang efisien dan berpotensi menimbulkan risiko operasional [4]. Selain meningkatkan kompleksitas proses kerja, sistem tersebut juga berpotensi menyebabkan terjadinya tumpahan atau luberan BBM di sekitar area kerja yang dapat menimbulkan pencemaran lingkungan serta menurunkan tingkat keselamatan kerja di area terminal [5].

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan suatu sistem distribusi BBM yang lebih terintegrasi, aman, dan efisien. Perancangan sistem injeksi BBM permanen dapat dilakukan dengan memanfaatkan sistem perpipaan tetap yang dilengkapi dengan pompa sentrifugal sebagai penggerak utama aliran fluida. Pompa sentrifugal banyak digunakan dalam sistem transportasi fluida di industri karena memiliki efisiensi tinggi, konstruksi sederhana, serta mampu bekerja secara kontinu dalam berbagai kondisi operasional [6].

Pompa sentrifugal pada sistem distribusi fluida umumnya digerakkan oleh motor induksi yang dikenal memiliki tingkat keandalan tinggi dan banyak digunakan dalam aplikasi industri. Namun demikian, kinerja motor induksi harus dikendalikan dengan baik untuk menghindari lonjakan arus awal (inrush current) yang dapat mempengaruhi stabilitas sistem kelistrikan. Oleh karena itu, penggunaan perangkat soft starter menjadi salah satu solusi untuk mengontrol proses starting motor secara bertahap sehingga meningkatkan umur pakai peralatan serta menjaga stabilitas operasi pompa [7].

Selain sistem penggerak, sistem kontrol juga memegang peranan penting dalam menjamin keandalan operasi sistem injeksi BBM. Penerapan sistem kendali ON–OFF pada pompa dapat memberikan kontrol operasi yang sederhana namun efektif dalam mengatur proses distribusi fluida. Sistem ini dapat diintegrasikan dengan berbagai perangkat proteksi seperti circuit breaker, overload relay, serta sistem monitoring tekanan untuk memastikan bahwa proses pemompaan berjalan secara aman dan sesuai dengan parameter operasional yang ditetapkan [8].

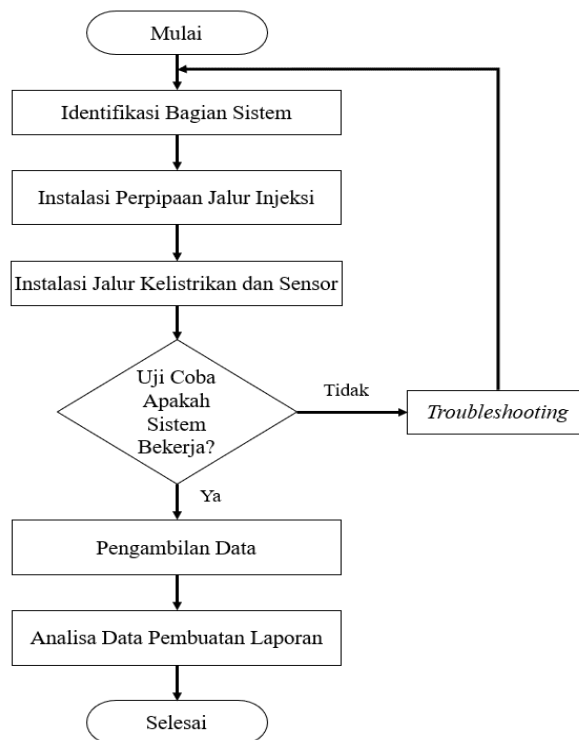
Perkembangan teknologi otomasi industri juga memungkinkan penerapan sistem monitoring dan kontrol yang lebih modern, termasuk penggunaan sensor tekanan digital dan sistem kendali jarak jauh (remote control) untuk meningkatkan fleksibilitas operasi serta keselamatan operator. Penggunaan instrumen pengukuran yang akurat sangat penting dalam memantau kondisi fluida secara real time sehingga potensi gangguan operasional dapat dideteksi lebih awal [9].

Berdasarkan permasalahan operasional yang terjadi di PT Pertamina Patra Niaga Integrated Terminal Makassar serta perkembangan teknologi pada sistem pemompaan dan kontrol industri, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem distribusi BBM dengan metode injeksi menggunakan pompa kendali ON–OFF melalui jalur perpipaan permanen. Sistem ini diharapkan mampu meningkatkan efisiensi proses injeksi BBM, mengurangi risiko pencemaran lingkungan, serta meningkatkan tingkat keselamatan dan keandalan operasi distribusi BBM.

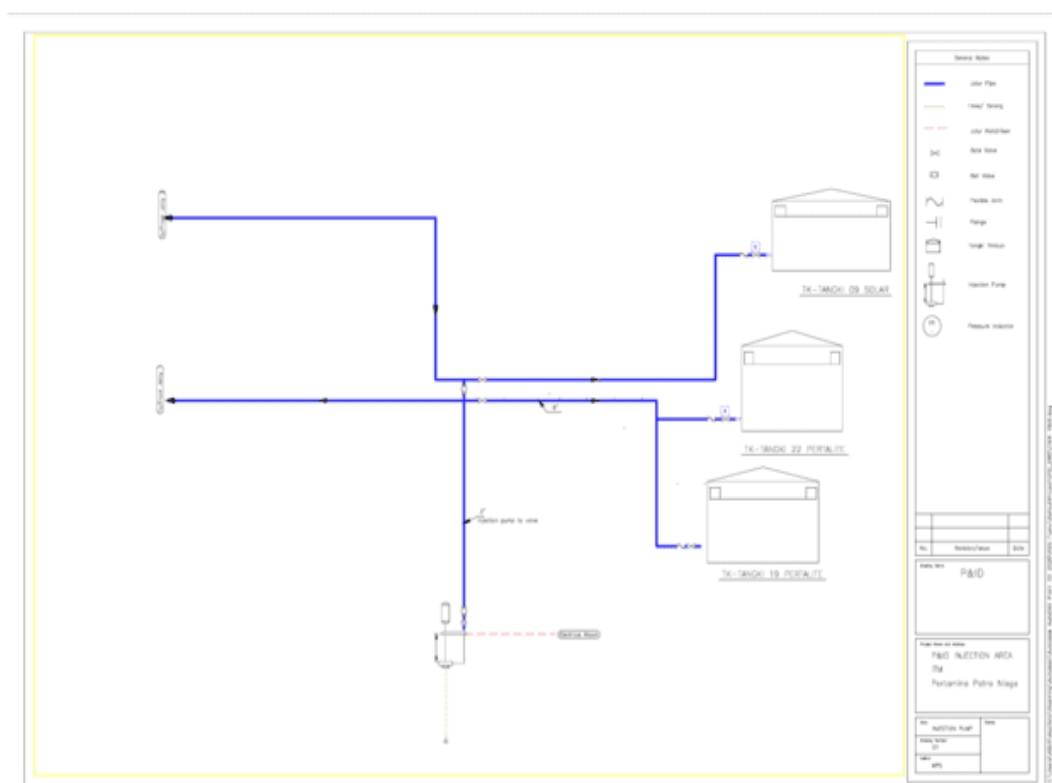
II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di PT Pertamina Patra Niaga Integrated Terminal Makassar. Waktu pelaksanaan penelitian berlangsung pada bulan Februari hingga Agustus 2025. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem distribusi BBM dengan metode injeksi menggunakan pompa kendali on–off melalui jalur perpipaan permanen.

Tahapan penelitian dimulai dari perancangan dan pembuatan jalur injeksi BBM, dilanjutkan dengan pembuatan sistem kontrol pompa produk, serta dilakukan pengujian untuk mengetahui kinerja sistem distribusi BBM yang telah dirancang. Alur tahapan penelitian secara umum ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Piping and Instrumentation Diagram (P&ID) Pembuatan Jalur Injeksi BBM

Sistem distribusi BBM yang dirancang menggunakan jalur perpipaan permanen yang dilengkapi dengan pompa sentrifugal sebagai penggerak aliran fluida, sistem kontrol pompa berbasis kendali ON–OFF, serta instrumen pengukuran tekanan digital untuk memantau kondisi operasi selama proses injeksi. Rancangan sistem perpipaan dan instrumen yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.

1. Pengujian Jalur Pipa (Hydrotest)

Pengujian pertama yang dilakukan adalah hydrotest pada jalur pipa injeksi. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem perpipaan yang telah dipasang tidak mengalami kebocoran serta mampu menahan tekanan operasi yang direncanakan. Prosedur pengujian hydrotest meliputi beberapa tahapan, yaitu persiapan pengujian, pengisian air ke dalam pipa, peningkatan tekanan secara bertahap, serta pengamatan dan pemeriksaan kondisi pipa selama pengujian berlangsung.

2. Pengujian Running Pompa (Functional Test)

Pengujian kedua adalah running pompa atau functional test, yaitu proses pengujian yang dilakukan untuk memastikan pompa bekerja sesuai dengan spesifikasi teknis sebelum digunakan dalam operasi distribusi BBM. Pengujian ini dilakukan setelah proses instalasi pompa selesai sebagai bagian dari Site Acceptance Test (SAT). Pada tahap ini dilakukan pengamatan terhadap kinerja pompa, kestabilan aliran fluida, serta respon sistem kontrol pompa saat dioperasikan.

3. Pengujian Instalasi Kelistrikan Pompa

Pengujian selanjutnya adalah pengujian instalasi kelistrikan pompa, yang bertujuan untuk memastikan bahwa sistem kelistrikan yang menghubungkan pompa dengan sumber daya listrik dapat berfungsi dengan baik, aman, dan sesuai dengan standar operasional. Pengujian ini meliputi pemeriksaan terhadap sistem proteksi listrik, rangkaian kontrol pompa, serta kestabilan suplai daya listrik. Pengujian ini penting untuk mencegah gangguan operasional, kegagalan sistem, serta risiko keselamatan seperti korsleting dan overheating sebelum pompa digunakan dalam operasi penuh.

4. Prosedur Pengujian Sistem Distribusi BBM

Pengujian sistem distribusi BBM dilakukan dengan menggunakan BBM sebanyak 5.000 KL sebagai sampel pengujian. Pengujian dilakukan dengan lima variasi pembukaan ball valve, yaitu 15%, 25%, 50%, 80%, dan 100% untuk mengetahui pengaruh perubahan bukaan valve terhadap tekanan sistem dan laju aliran fluida.

Pengukuran tekanan fluida dilakukan menggunakan digital pressure gauge yang terpasang pada jalur perpipaan sistem injeksi. Alat ukur ini digunakan untuk memantau nilai tekanan fluida selama proses distribusi berlangsung. Nilai tekanan dicatat pada setiap kondisi pembukaan ball valve selama pengujian.

Sementara itu, laju aliran fluida (flow rate) dihitung berdasarkan volume fluida yang mengalir dalam interval waktu tertentu selama proses pengujian. Setiap pengujian dilakukan selama 300 detik (5 menit) untuk setiap variasi pembukaan valve. Nilai flow rate (Q) dihitung menggunakan persamaan dasar debit fluida sebagai berikut:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (1)$$

di mana:

Q = debit aliran fluida (m³/s)

V = volume fluida yang mengalir (m³)

t = waktu aliran (s)

Proses pengambilan data dimulai dengan mengoperasikan pompa injeksi dan mengatur pembukaan ball valve sesuai variasi yang telah ditentukan. Selanjutnya tekanan fluida yang terbaca pada digital pressure gauge dicatat, sedangkan waktu pengujian diukur menggunakan timer selama 300 detik. Data tekanan

dan debit aliran yang diperoleh kemudian dianalisis untuk mengetahui hubungan antara tekanan sistem dan laju aliran BBM pada sistem distribusi yang dikembangkan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan rancangan dan implementasi sistem distribusi BBM berbasis metode injeksi menggunakan pompa kendali on-off yang diaplikasikan di PT Pertamina Patra Niaga Integrated Terminal Makassar. Sistem ini dirancang untuk menggantikan metode konvensional yang sebelumnya menggunakan sumb tank sebagai penampungan sementara sebelum BBM dikembalikan ke tangki penyimpanan.

Hasil implementasi sistem menunjukkan bahwa penggunaan jalur perpipaan permanen yang dilengkapi pompa sentrifugal dan sistem kontrol pompa mampu meningkatkan efektivitas proses distribusi BBM serta mengurangi potensi pencemaran lingkungan. Bentuk fisik alat distribusi injeksi BBM yang telah dirancang ditunjukkan pada Gambar 3.



a. Tampak depan



b. Tampak samping

Gambar 3. Alat Distribusi Injeksi BBM



(a) *Sumb Tank*



(b) Alat Distribusi Injeksi BBM

Gambar 4. Perbedaan saat menggunakan *Sumb Tank* dan Alat Distribusi Injeksi BBM

Perbandingan antara metode konvensional menggunakan sumbu tank dan sistem distribusi BBM berbasis injeksi dapat dilihat pada Gambar 4. Pada metode konvensional, proses pengembalian BBM ke tangki penyimpanan masih berpotensi menyebabkan tumpahan atau luberan BBM di sekitar area tangki penampungan sementara. Kondisi ini dapat menimbulkan pencemaran lingkungan serta kerugian material akibat berkurangnya volume BBM.

Sebaliknya, pada sistem distribusi BBM berbasis injeksi yang dikembangkan dalam penelitian ini, proses distribusi dilakukan melalui jalur perpipaan permanen dengan sistem tertutup sehingga BBM dapat langsung dialirkan kembali ke tangki penyimpanan tanpa melalui sumbu tank. Dengan demikian, risiko kebocoran maupun tumpahan BBM dapat diminimalkan.

A. Analisis Hasil Pengujian Sistem

Pengujian sistem distribusi BBM dilakukan dengan menggunakan BBM sebanyak 5.000 KL sebagai sampel pengujian. Variasi pengujian dilakukan dengan mengatur pembukaan ball valve sebesar 15%, 25%, 50%, 80%, dan 100% untuk mengetahui pengaruh perubahan bukaan valve terhadap tekanan sistem dan laju aliran fluida. Hasil pengujian sistem distribusi BBM dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian

Jumlah (Quantity) BBM	Pengamatan pembukaan <i>Ball Valve</i>	Tekanan (P) (Bar)	Waktu (S)	Flow Rate (Q) (m^3/s)	Flow Rate (L/s)	Keterangan
5000 KL	15 %	10	300 s (5 menit)	0.0096	9.6	Kondisi Upnormal (tidak disarankan)
5000 KL	25%	8.5	300 s (5 menit)	0.0206	20.6	Kondisi Upnormal (tidak disarankan)
5000 KL	50%	7	300 s (5 menit)	0.0587	58.7	Kondisi Upnormal (tidak disarankan)
5000 KL	80%	6.5	300 s (5 menit)	0.1189	118.9	Kondisi Upnormal (tidak disarankan)
5000 KL	100%	5	300 s (5 menit)	0.1659	165.9	Kondisi Normal

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 1, terlihat bahwa perubahan pembukaan ball valve memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai tekanan sistem dan laju aliran (flow rate) BBM. Pada kondisi ball valve terbuka 100%, tekanan sistem tercatat sebesar 5 bar dengan flow rate 0,1659 m^3/s , yang menunjukkan kondisi operasi paling stabil.

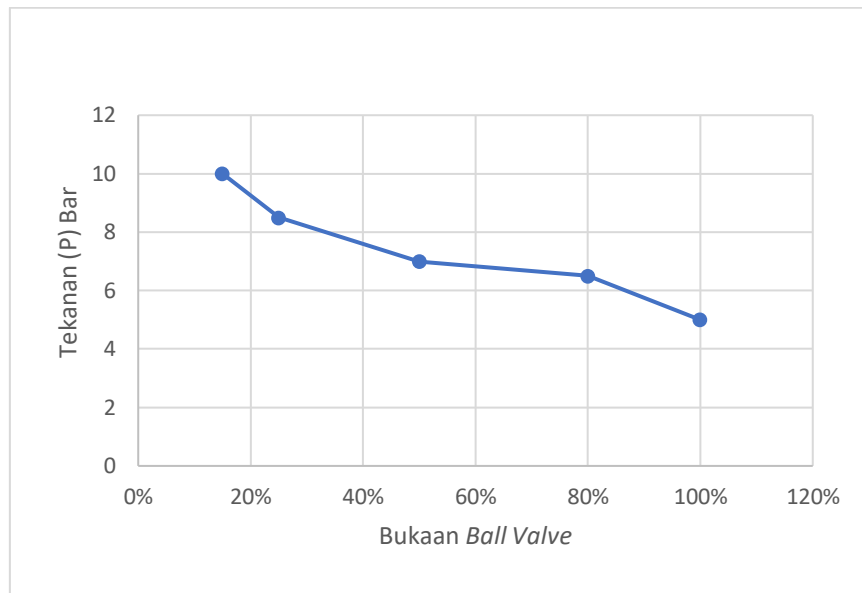
Sebaliknya, ketika bukaan valve diperkecil hingga 80%, 50%, 25%, dan 15%, tekanan sistem meningkat hingga mencapai 6,5–10 bar, tetapi nilai flow rate mengalami penurunan. Kondisi ini menunjukkan bahwa penyempitan jalur aliran menyebabkan peningkatan hambatan aliran (flow resistance) pada sistem perpipaan sehingga energi pompa lebih banyak digunakan untuk meningkatkan tekanan dibandingkan untuk meningkatkan debit fluida.

Fenomena tersebut sejalan dengan teori mekanika fluida yang menyatakan bahwa pada sistem perpipaan, penyempitan jalur aliran dapat meningkatkan kehilangan energi akibat gesekan fluida dengan dinding pipa maupun komponen sistem lainnya. Hal ini menyebabkan tekanan sistem meningkat sementara laju aliran fluida cenderung menurun.

Selain itu, karakteristik tersebut juga sesuai dengan kurva performa pompa sentrifugal, di mana pada kecepatan putar pompa yang tetap, peningkatan tekanan (head) umumnya diikuti oleh penurunan laju aliran fluida. Prinsip ini banyak dijelaskan dalam literatur mengenai sistem pemompaan industri, seperti pada Karassik et al. dalam Pump Handbook [6], yang menyatakan bahwa kinerja pompa dipengaruhi oleh kondisi sistem perpipaan dan resistansi aliran.

B. Analisis Hubungan Tekanan dan Flow Rate

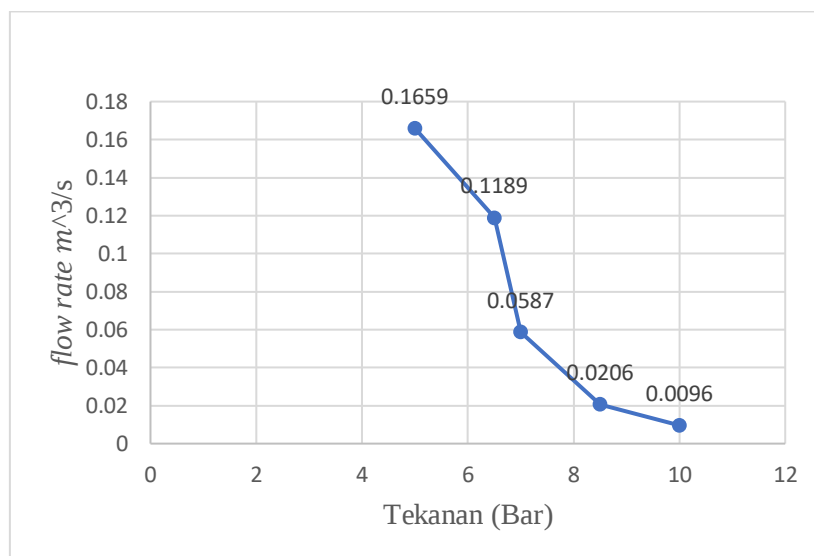
Hubungan antara tekanan sistem dan laju aliran fluida ditunjukkan pada Gambar 5. Berdasarkan grafik tersebut terlihat bahwa kondisi tekanan paling stabil terjadi pada tekanan 5 bar ketika ball valve terbuka 100%. Pada kondisi ini aliran fluida dapat mengalir secara lebih lancar sehingga sistem distribusi BBM bekerja secara optimal.



Gambar 5. Pengamatan Pembukaan Ball Valve dan Tekanan (P)

Pada kondisi tekanan yang lebih tinggi yaitu 6,5–10 bar, bukaan valve menjadi lebih kecil sehingga jalur aliran fluida mengalami penyempitan. Akibatnya terjadi peningkatan tekanan dalam sistem namun laju aliran menjadi tidak stabil. Kondisi ini dapat menyebabkan ketidakseimbangan operasi pompa serta berpotensi menurunkan efisiensi sistem distribusi BBM.

Hubungan antara tekanan dan flow rate juga dapat dilihat pada Gambar 6. Grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai flow rate tertinggi diperoleh pada tekanan 5 bar, sedangkan pada tekanan yang lebih tinggi nilai flow rate mengalami penurunan secara signifikan.



Gambar 6. Tekanan dan Flow Rate m^3/s

Hasil ini menunjukkan bahwa kondisi operasi optimal sistem distribusi BBM terjadi pada tekanan yang lebih rendah dengan jalur aliran yang terbuka penuh, sehingga hambatan aliran dalam sistem dapat diminimalkan.

C. Efektivitas Sistem Injeksi BBM

Penerapan sistem distribusi BBM berbasis metode injeksi memberikan beberapa keuntungan operasional dibandingkan metode konvensional menggunakan *sumb tank*, antara lain:

1. Mengurangi risiko tumpahan BBM, karena distribusi dilakukan melalui sistem perpipaan tertutup.
2. Meningkatkan efisiensi proses distribusi, karena BBM dapat langsung diinjeksi kembali ke tangki penyimpanan.
3. Meningkatkan keselamatan kerja, karena mengurangi interaksi operator dengan BBM selama proses distribusi.
4. Mendukung pengendalian lingkungan, karena meminimalkan potensi pencemaran akibat tumpahan BBM.

Dengan demikian, sistem distribusi BBM berbasis metode injeksi menggunakan pompa kendali on-off tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional, tetapi juga mendukung aspek keselamatan kerja dan keberlanjutan lingkungan dalam operasi terminal distribusi BBM.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan serta kajian terhadap alat sistem distribusi BBM dengan metode injeksi menggunakan pompa kendali *On-Off* pada Pertamina Patra Niaga Makassar (IT Makassar) dapat disimpulkan bahwa:

1. Dengan adanya alat sistem distribusi BBM proses injeksi lebih efektif. Ini dapat dibuktikan dengan adanya alat injek BBM, BBM yang tidak memenuhi kualifikasi dan bekas operasi dapat di injek kembali ke tangki penyimpanan BBM tanpa melalui *sumb tank* (penyimpanan sementara). Ini juga dapat dibuktikan dengan data hasil pengujian dimana ada BBM sekitar 5000 KL diinjeksi pada tekanan 5 bar (*Ball valve* terbuka 100%), dengan debit aliran $0,1659 \text{ m}^3/\text{s}$. Dengan kondisi seluruh *valve* dari sistem injeksi semua terbuka maka tekanan akan normal dan laju aliran BBM akan stabil.
2. Selain itu dengan adanya alat ini juga dapat mengurangi pencemaran terhadap lingkungan sekitar karena BBM sudah tidak lagi disimpan di *sumb tank* yang dapat luber ke area sekitar yang sangat berpotensi mencemari lingkungan sekitar. Dan alat ini juga dilengkapi dengan sistem *relay remote wireless* yang dapat mempermudah operator pompa lapangan mengontrol pompa untuk berjalannya injek BBM.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. J. Chapman, *Electric Machinery Fundamentals*, 5th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2012.
- [2] BP Statistical Review, *Statistical Review of World Energy 2023*, London, U.K.: BP Energy, 2023.
- [3] PT Pertamina (Persero), *Laporan Tahunan PT Pertamina (Persero) 2023*. Jakarta, Indonesia: PT Pertamina, 2023.
- [4] F. M. White, *Fluid Mechanics*, 8th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill Education, 2016.
- [5] D. A. Crowl and J. F. Louvar, *Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications*, 3rd ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall, 2019.
- [6] I. J. Karassik, J. P. Messina, P. Cooper, and C. Heald, *Pump Handbook*, 4th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2008.
- [7] W. Bolton, *Programmable Logic Controllers*, 6th ed. Oxford, U.K.: Elsevier, 2015.
- [8] A. S. Morris and R. Langari, *Measurement and Instrumentation: Theory and Application*, 2nd ed. Amsterdam, Netherlands: Academic Press, 2016.

- [9] PT Pertamina Patra Niaga, *Operational Handbook Integrated Terminal*, Jakarta, Indonesia: PT Pertamina Patra Niaga, 2022.
- [10] American Petroleum Institute, *API Standard 610: Centrifugal Pumps for Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries*, 12th ed. Washington, DC, USA: API, 2020.