

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data, pembahasan, serta interpretasi grafik tekanan pada proses hydrostatic test, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Pengaruh Variasi Temperatur terhadap Kestabilan Tekanan

Variasi temperatur memiliki pengaruh signifikan terhadap kestabilan tekanan. Temperatur rendah (20 °C) menghasilkan deviasi tekanan (ΔP) paling kecil dan grafik yang stabil, sedangkan temperatur tinggi (40 °C) menunjukkan peningkatan pressure decay yang lebih besar, fluktuasi grafik yang lebih tinggi, dan slope penurunan yang lebih curam. Hal ini sejalan dengan teori sifat termofisika fluida, di mana kenaikan temperatur meningkatkan kompresibilitas dan menurunkan densitas air sehingga tekanan menjadi lebih tidak stabil.

2. Pengaruh Variasi Durasi Penahanan Tekanan terhadap Fluktuasi Tekanan

Durasi penahanan tekanan juga terbukti berpengaruh terhadap kestabilan tekanan. Durasi 30–60 menit menunjukkan grafik yang relatif stabil dengan penurunan tekanan yang gradual dan masih dalam batas toleransi API 1110. Sebaliknya, durasi 90 menit menunjukkan pressure decay yang lebih signifikan, mengindikasikan efek stress relaxation pada material pipa serta potensi pengaruh termal yang lebih kuat pada fluida.

3. Kombinasi Optimal Temperatur dan Durasi Pengujian

Kombinasi temperatur 20–30 °C dengan durasi penahanan tekanan 30–60 menit merupakan kondisi paling optimal untuk memperoleh kestabilan tekanan selama hydrostatic test. Kombinasi ini menghasilkan ΔP yang sangat kecil ($< 0,5\%$), grafik tekanan yang stabil, dan fluktuasi minimal. Kondisi tersebut sesuai dengan standar MCCS–Santos VME dan mendukung akurasi interpretasi hasil uji lapangan.

Secara keseluruhan, temperatur dan durasi penahanan tekanan terbukti menjadi dua

variabel yang sangat berpengaruh terhadap kestabilan tekanan selama hydrostatic test. Hasil penelitian ini sejalan dengan teori mekanika fluida dan standar teknis API 1110 serta ASME B31.3, serta berhasil menjawab seluruh rumusan masalah penelitian.

5.2 Saran

1. Saran Teknis untuk Pelaksanaan Hydrostatic Test

- Pengujian sebaiknya dilakukan pada temperatur lingkungan 20–30 °C untuk memperoleh hasil yang lebih stabil dan mudah diinterpretasikan.
- Durasi penahanan tekanan ideal berada pada rentang 30–60 menit. Durasi terlalu panjang (90 menit) sebaiknya dihindari karena dapat menimbulkan pressure decay yang tidak mencerminkan kondisi kebocoran.
- Pastikan sistem bebas dari udara terperangkap (trapped air) sebelum uji dimulai, karena udara dapat menimbulkan fluktuasi tekanan yang tidak representatif.

2. Saran untuk Operasional dan Safety

- Pastikan seluruh instrumentasi, termasuk chart recorder, pressure gauge, dan PSV, berada dalam kondisi kalibrasi sebelum digunakan.
- Dokumentasi lapangan seperti foto instrumentasi, grafik tekanan, dan kondisi spool harus disimpan sebagai rekam jejak pengujian.
- Melakukan pengecekan berkala pada pipa dan sambungan setelah hydrotest untuk memastikan tidak terdapat deformation atau perubahan fisik akibat tekanan.

3. Saran untuk Penelitian Selanjutnya

- Penelitian berikutnya dapat memasukkan pengaruh material pipa (schedule, grade) terhadap pressure decay.
- Studi lanjutan dapat memodelkan hubungan temperatur–durasi–pressure decay secara numerik dengan metode finite element.
- Penelitian dapat diperluas dengan membandingkan media uji selain air, misalnya campuran glycol atau nitrogen, untuk melihat perbedaan karakteristik tekanan.

DAFTAR PUSTAKA

- American Petroleum Institute. (2022). *API 1110: Pressure testing of liquid petroleum pipelines*. Washington, DC: API.
- American Society of Mechanical Engineers. (2023). *ASME B31.3: Process piping*. New York, NY: ASME.
- Carson, J., & Patel, R. (2021). Influence of ambient temperature fluctuations on pressure stability in pipeline hydrotesting. *Energy Engineering Journal*, 128(4), 245–257. <https://doi.org/10.32604/eej.2021.015203>
- Dong, L., Li, X., & Xu, J. (2021). Influence of temperature variation on Hydrostatic Testing of steel pipelines. *Journal of Pressure Vessel Technology*, 143(4), 041304. <https://doi.org/10.1115/1.4050123>
- Engineering Toolbox. (2024). *Water – Density, specific weight and thermal expansion*. Retrieved from <https://www.engineeringtoolbox.com>
- European Pipeline Research Group. (2023). *Guidance on pressure testing and post-test inspection*. Brussels: EPRG Publications.
- Fekete, A., & Carr, M. (2020). Safety aspects of hydrostatic and pneumatic testing. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 65, 104129. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2020.104129>
- Gao, S., Xie, Z., & Zhang, H. (2025). Hydrostatic Test performance evaluation for pipeline integrity. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 204, 104876. <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2025.104876>
- Goh, W. K., & Yap, H. Y. (2025). Temperature effect on hydrostatic pressure stability of carbon steel pipes. *Engineering Failure Analysis*, 143, 106781. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2025.106781>
- Hidayat, R., & Nugraha, P. (2021). Analisis kekuatan material baja karbon terhadap variasi temperatur. *Jurnal Material Teknik Indonesia*, 9(2), 122–130. <https://doi.org/10.31258/jmti.2021.9.2.122>
- International Organization for Standardization. (2021). *ISO 13623: Petroleum and natural gas industries – Pipeline transportation systems*. Geneva, Switzerland: ISO.

- Kim, Y., & Lee, H. (2025). Thermal expansion of fluid in Hydrostatic Testing and its impact on pressure reading. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 39(1), 91–103. <https://doi.org/10.1007/s12206-025-0912-9>
- Liu, Y., & Zhang, K. (2025). Stress relaxation in steel pipelines during extended Hydrostatic Tests. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 205, 104893. <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2025.104893>
- Mendoza, L. (2022). Thermal behavior of pressurized water and its implication in hydrostatic pressure decay. *Journal of Fluid Engineering*, 144(6), 061301. <https://doi.org/10.1115/1.4053051>
- Nakamura, T., & Fujii, K. (2023). Long-duration hydrotest behavior and micro-leak characterization in industrial pipelines. *Journal of Pipeline Science and Engineering*, 5(3), 221–230. <https://doi.org/10.1016/j.jpse.2023.03.005>
- Olson, P., & Rivera, C. (2020). Best practices for hydrostatic test planning and execution in tropical regions. *Pipeline Integrity Journal*, 12(1), 33–47.
- Prasetyo, A., & Wibowo, B. (2024). Implementasi standar ASME B31.3 pada pengujian hydrostatic pipeline di Indonesia. *Jurnal Teknologi Migas Indonesia*, 12(1), 88–97. <https://doi.org/10.14710/jtmi.2024.12.1.88>
- Pratama, A., & Sugiarto, D. (2023). Pengaruh suhu lingkungan tropis terhadap hasil pengujian pipa bertekanan. *Jurnal Energi dan Gas*, 6(4), 201–210. <https://doi.org/10.24843/jeg.2023.6.4.201>
- Rahman, M. (2023). Impact of temperature variation on Hydrostatic Testing accuracy. *Materials Performance and Characterization*, 12(3), 133–145. <https://doi.org/10.1520/mpc2023.12.3.133>
- Rahim, S., & Abdullah, H. (2024). Evaluation of hydrostatic pressure drop due to stress relaxation in carbon steel pipes. *Materials Engineering and Performance*, 33(2), 112–123. <https://doi.org/10.1007/s11665-024-08521-4>
- Santos Ltd. (2022). *MCCS–Santos VME Hydrotest Guidelines*. Brisbane, Australia: Santos Energy.
- Sun, Y., & Zhou, W. (2023). Mechanical properties of API 5L Grade B pipeline steel under elevated temperatures. *Journal of Constructional Steel Research*, 203, 107988. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2023.107988>

- Sutanto, A., & Prabowo, H. (2023). Implementasi Hydrostatic Test pada sistem pipa migas di Indonesia. *Jurnal Teknologi Energi*, 5(2), 145–154. <https://doi.org/10.21512/jte.2023.5.2.145>
- Wei, H., & Zhou, Z. (2021). Flowchart and safety analysis of Hydrostatic Testing. *Procedia Engineering*, 250, 901–908. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2021.11.901>
- Wikimedia Commons. (2023). *Stress-strain curve for steel*. Retrieved from https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Stress-strain_steel.svg
- Yulianingsih, R. (2023). Analisis kestabilan tekanan pada Hydrostatic Test pipa baja karbon. *Jurnal Rekayasa Material*, 11(3), 55–63. <https://doi.org/10.32530/jrm.11.3.55>
- Zhang, M., & He, Q. (2024). Numerical modeling of pressure decay in hydrotested pipelines subjected to thermal variation. *International Journal of Thermal Sciences*, 198, 107868. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2024.107868>