

# Uji Tekanan pada Sambungan Las Sistem Perpipaan Lepas Pantai Menggunakan Metode Tes Pneumatik

Mohamad Rivai<sup>1</sup>, Yanto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Magister Teknik Mesin, Fakultas Biosains, Teknologi, dan Inovasi, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jalan Jendral Sudirman 51 Jakarta 12930

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Industri, Fakultas Biosains, Teknologi, dan Inovasi, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jalan Raya Cisauk-Lapan No. 10, Cisauk, Tangerang, Banten 15345

## Article Info

## Abstract

*Article history:*

Received  
29 September 2024

Accepted  
08 November 2024

*Keywords:*  
*Workshop, Project-Based Learning, application*

*This article presents a case study evaluating the integrity of weld joints in offshore piping systems through pneumatic pressure testing. This work was conducted on an offshore construction project where pressure testing was performed on an LNG piping system prior to commissioning. The testing process commenced with equipment preparation and nitrogen injection into the piping system until a test pressure of 11.5 barg was reached, followed by a 30-minute holding period and visual inspection of all weld joints using a bubble test. Additionally, this article discusses the importance of safety zone calculations and the selection of appropriate testing equipment to ensure worker safety and accurate results. The preparation of testing equipment, such as flanges, gaskets, and stud bolts, must adhere to flange management procedures to prevent leaks outside the tested system. The results indicated that all weld joints previously inspected were able to withstand the test pressure without any indication of leakage at the weld joints. This study demonstrates that pneumatic pressure testing is the most effective for verifying the weld joints of offshore piping systems with limited access.*

## Info Artikel

## Abstrak

*Histori Artikel:*

Diterima:  
29 September 2024

Disetujui:  
08 November 2024

*Kata Kunci:*  
*Pelatihan, Pembelajaran Berbasis Proyek, penerapan*

Artikel menyajikan kegiatan evaluasi integritas sambungan las pada sistem perpipaan lepas pantai melalui uji tekanan pneumatik. Pekerjaan dilakukan pada sebuah proyek konstruksi *offshore* dengan uji tekanan dilakukan pada sistem perpipaan *LNG* sebelum dilakukan *commissioning*. Pengujian dimulai dengan persiapan alat dan injeksi nitrogen ke dalam sistem pipa hingga mencapai tekanan uji 11.5 barg, dilanjutkan dengan periode *holding* selama 30 menit serta inspeksi visual pada semua sambungan las menggunakan metode *bubble test*. Selain itu, dibahas mengenai pentingnya perhitungan *safety zone* dan pemilihan peralatan pengujian yang tepat untuk memastikan keselamatan kerja dan keakuratan hasil. Persiapan peralatan pengujian seperti *flange*, *gasket*, dan *stud bolt* harus sesuai dengan prosedur *flange management* untuk menghindari kebocoran di luar sistem yang diuji. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua sambungan las yang diinspeksi sebelumnya mampu menahan tekanan uji tanpa menunjukkan adanya indikasi kebocoran pada sambungan las. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa uji tekanan pneumatik merupakan metode paling efektif untuk memverifikasi sambungan las sistem perpipaan lepas pantai yang memiliki keterbatasan akses dalam pengetesan.

## 1. PENDAHULUAN

Pada paper ini, studi kasus diambil dari Proyek *Greater Tortue Ahmeyim* yang berlokasi di lepas pantai perbatasan antara negara Senegal dan Mauritania, Afrika Barat. Pengetesan sambungan las pada sistem perpipaan *offshore* pada umumnya menggunakan metode hidrottest, pneumatik dan servis test. Pengujian sambungan las pada sistem perpipaan lepas pantai merupakan salah satu kegiatan yang wajib dilakukan untuk memberikan bukti data empiris yang bisa dipertanggung-jawabkan kepada klien dimana sistem perpipaan dalam satu fasilitas dapat bekerja sesuai dengan tekanan desain yang telah ditentukan. Pengujian sambungan las merupakan salah satu bagian dari kegiatan konstruksi yang dilakukan setelah proses *engineering*, desain, fabrikasi, dan instalasi yang nantinya akan dilanjutkan ke proses *commissioning*. Dalam studi kasus kali ini, penulis menggunakan metode tes pneumatik dengan media tes Nitrogen. Pelaksana dari kegiatan uji kekuatan sambungan las ini adalah Baker Hughes, dengan kontraktor utama Saipem Spa dan klien BP Mauritania.

Proyek Tortue merupakan sebuah fasilitas hub lepas pantai yang berfungsi sebagai penghubung antar sumber gas alam yang sebelumnya sudah diproses di *FPSO* dan akan diproses menjadi *LNG* dalam fasilitas *FLNG* yang selanjutnya dihubungkan ke *LNGC* melalui *loading arm*. Dalam proses mengalirkan fluida *LNG* tersebut dibutuhkan sistem pipa yang terintegrasi dengan baik dan tidak ada kebocoran sedikitpun di dalam sistemnya. Terlebih lagi fasilitas ini membutuhkan pipa yang hanya dapat beroperasi secara stabil pada temperatur di bawah  $-161^{\circ}$  Celcius, sehingga apabila terjadi sedikit kebocoran dari sistem pipa tersebut maka bisa mengakibatkan terjadinya penguapan *LNG* ataupun kenaikan tekanan dalam temperatur ruang maupun tekanan atmosferik. Adapun tujuan dilakukannya pengetesan sambungan las dengan metode pneumatic test ini sesuai dengan kriteria pengetesan untuk Piping metallic category D yang merujuk ke ASME B31.3 Appendix H.

Penggunaan metode pneumatik dan media tes nitrogen merupakan langkah praktis dalam pengetesan pipa di lepas pantai. Hal ini mengingat apabila menggunakan metode hidrottest dengan media air maka diperlukan volume air yang cukup besar, sehingga akan mengganggu produksi air minum yang akan dikonsumsi dalam kapal akomodasi. Selain itu buangan air sisa proses hidrottest harus ditampung dan dikirim balik ke darat untuk mencegah kontaminasi air laut dengan kotoran ataupun cairan kimia yang terlarut dalam media tes sehingga diperlukan waktu dan biaya tambahan untuk mengangkut air sisa tes. Mengingat juga sistem pipa *LNG* memiliki kriteria kebersihan pipa yang sangat ketat, sehingga penggunaan metode tes pneumatik untuk pipa *LNG* di proyek lepas pantai akan memberikan keuntungan lain pada proses kebersihan di dalam sistem pipa dibandingkan dengan metode hidrottest.

## 2. METODE PELAKSANAAN

Metode yang digunakan dalam pengetesan sambungan las pada sistem pipa ini menggunakan tes pneumatik dengan menggunakan media gas nitrogen, dalam hal ini nitrogen yang dihasilkan dari proses distilasi fraksional udara dengan menggunakan generator nitrogen. Penggunaan botol nitrogen juga dilakukan untuk sistem pipa yang bervolume kecil sehingga tidak memerlukan banyak nitrogen dalam pengetesannya. Selain itu tekanan yang dibutuhkan dan titik injeksi juga menjadi pertimbangan dalam penggunaan botol nitrogen atau nitrogen *spread*. Dalam pelaksanaan tes pneumatik ataupun uji tekanan dengan metode lainnya, dibutuhkan *holding time* yang merujuk kepada standar ASME B31.3. Dalam hal ini, penggunaan metode pneumatik memerlukan *holding*

time 30 menit dan dalam periode *holding* tersebut dilakukan pengecekan menggunakan metode *bubble test* secara visual pada setiap titik sambungan las yang sebelumnya telah dilakukan inspeksi oleh inspektor *Welding*.

Sebelum melakukan kegiatan tes pneumatik harus dilakukan perhitungan *safety zone* dalam usaha untuk meminimalisir terjadinya kecelakaan kerja. Dengan dilakukan perhitungan tersebut akan didapatkan jarak minimal barikade yang harus dipasang di sekitar lokasi tes sehingga apabila terjadi kegagalan dari *pressure relief valve*, koneksi daripada *flange* ataupun *temporary material* maka tidak berakibat fatal terhadap para pekerja.

Adapun detail formula perhitungan *safety zone* kegiatan tes pneumatik berdasarkan dari ASME PCC-2 sebagai berikut:

$$E = 2.5 \times P_{at} \times V [1 - (P_a/P_{at})^{0.286}] \quad (1)$$

$$E_{TNT} = E/4,266,920 \text{ (kg)} \quad (2)$$

$$\text{Safe distance} = R_{scaled}(2 \times E_{TNT})^{1/3} \quad (3)$$

$E$  = Energi tersimpan, Joule atau Pa.m<sup>3</sup>

$E_{TNT}$  = Daya ledak setara dengan TNT dalam satuan kg TNT

$P_a$  = Tekanan atmosferik, 101000 Pa

$P_{at}$  = Tekanan tes absolut, Pa

$V$  = Volume total tes, m<sup>3</sup>

$R_{scaled}$  = Skala jarak 20m/kg<sup>1/3</sup>

Dalam pengetesan sambungan las menggunakan metode tes pneumatik memiliki referensi tekanan tes merujuk ke standar ASME B31.3, dengan kriteria tekanan tes sebesar 1.1x dari tekanan desain. Dan dalam studi kasus kali ini pengetesan pneumatik menggunakan 1.15x tekanan desain mengikuti prosedur dari vendor pelaksana testing, hal ini diperbolehkan selama melebihi spesifikasi standar dan alat bisa bekerja secara aman dalam tekanan tes yang telah ditentukan. Selain itu pemilihan *pressure gauge* harus menyesuaikan tekanan tes yang akan diberikan, dimana tekanan tes harus berada diantara 30-90% dari kapasitas *pressure gauge* itu sendiri.

Adapun peralatan yang digunakan dalam pengetesan ini meliputi (Gambar 1):

1. Nitrogen *membran spread* (supply N<sub>2</sub>).
2. *Manifold pneumatic test*.
3. Selang tekanan tinggi.
4. *Pressure relief valve* (alat pengaman kelebihan tekanan).
5. *Pressure gauge* analog dan digital.
6. *Barton chart recorder*, *digital recorder*, *data logger*.
7. Peralatan safety (APD, APAR, barikade)



**Gambar 1.**

Peralatan pada tes pneumatik (*manifold, barton chart recorder, digital recorder*).

Adapun prosedur pengetesan menggunakan metode tes pneumatik ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Persiapan dokumen-dokumen pendukung seperti gambar isometrik, *Piping and Instrumentation Diagram, welding record, punch list, pre-test line walk certificate*.
2. Melakukan *cleaning* di dalam pipa sebelum dan sesudah pengetesan yang merujuk ke ASME B31.3 appendix H dan K serta sesuai dengan prosedur *cleaning* proyek.
3. Pemasangan *temporary material* dan melepaskan item yang tidak termasuk di dalam sistem yang akan dilakukan tes sesuai dengan prosedur *flange management*.
4. Melakukan injeksi tekanan, *holding time*, dan pelepasan tekanan sesuai dengan ASME B31.3.
5. Pengecekan sambungan las saat *holding time* menggunakan metode *bubble*, dan apabila terjadi kebocoran pada sambungan *flange* maka sistem harus *didepresurize* terlebih dahulu sebelum dilakukan pengencangan kembali pada sambungan *flange*.
6. Melakukan *Drying dan Reinstatement* sesuai dengan prosedur proyek.

Persiapan uji tekanan pada pipa lepas pantai tidak terlepas dari pemasangan *temporary material* ataupun material isolasi pada setiap titik yang dibutuhkan sesuai dengan *P&ID*, seperti pemasangan *blind flange* dan *test flange*. Proses pemasangan dan pengencangan mur ataupun *studbolt* di dalam sistem pipa tersebut harus mengikuti prosedur *flange management* yang berkiblat pada standar ASME PCC-1. Pada studi kasus ini, nilai dari *torque* dan *tensioning* disesuaikan dengan ukuran dari *studbolt*, material *studbolt*, jenis *gasket* serta *class* pipa yang akan dites merujuk prosedur *flange management*

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

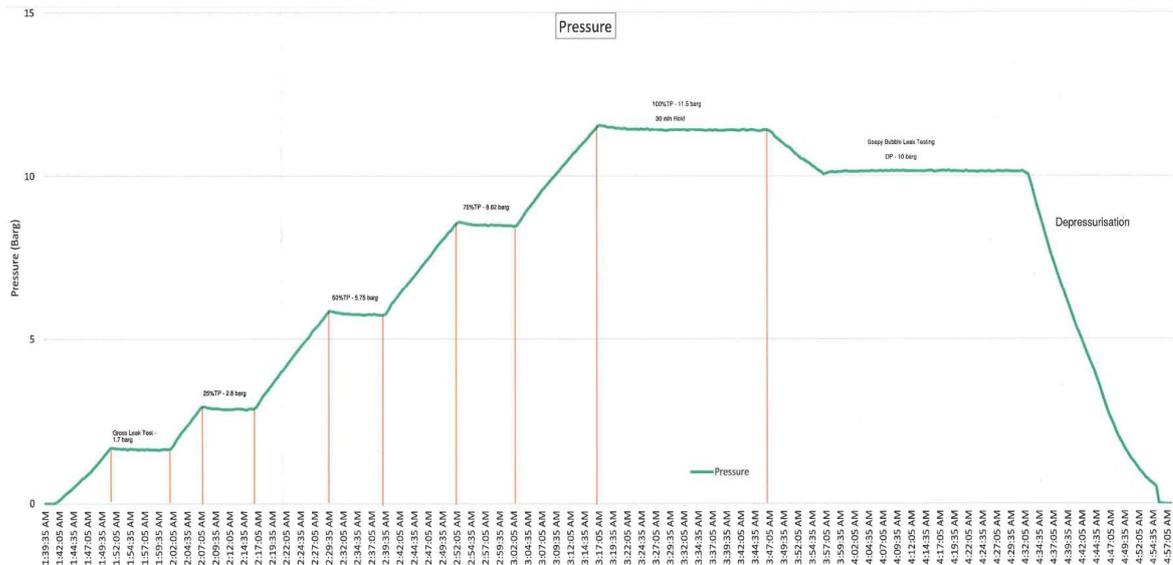
Pada studi kasus ini, diambil contoh salah satu line pipa *LNG* yang berfungsi sebagai penghubung antara *FLNG* ke *loading arm* yang nantinya akan terhubung ke *LNGC*. Pipa tersebut sebelumnya sudah dilakukan tes saat berada di darat, pengetesan kali ini hanya ditujukan untuk sambungan las yang dilakukan di phase konstruksi lepas pantai, sehingga insulasi yang sudah terpasang di pipa sebelumnya tidak wajib dibongkar untuk keperluan pengecekan sambungan las. Adapun detail data pipa bisa dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.**  
Informasi *Test Pack*

Test Pack Number	SH-32-3800-3830-001-TP-02-OFF
Test Pack Name	FLNG/LNGC PU Transfer Line
Design Code	ASME B31.3
Design Pressure	10 barg
Design Temperature	-185/82 C
Material Grade	ASTM A358 316L
Pipe Diameter	20" SCH10S
Total pipe length	50 meter
Test Gas Type	N2 Membrane Gas (95% N2 purity)
Increment #1	1.7 barg (14.8%)
Increment #2	2.9 barg (25%)
Increment #3	5.8 barg (50%)
Increment #4	8.6 barg (75%)
Final test pressure	11.5 barg (100%)
Pressure relief valve	12.2 barg (<110% test pressure)

Dengan menggunakan rumus perhitungan *safety zone* yang telah dijelaskan sebelumnya, maka didapatkan jarak pemasangan dari barikade minimal 39 meter dari titik pengetesan. Sehingga untuk mengurangi resiko kecelakaan kerja dan kestabilan tekanan nitrogen dalam pengetesan, maka pengetesan sistem pipa ini dilakukan pada malam hari dan dimulai saat jam istirahat. Perhitungan *safe distance* untuk keperluan pemasangan barikade dijelaskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter dalam pipa} &= 508 - (6.35 \times 2) &&= 0.4953 \text{ m} \\
 \text{Volume dalam pipa} &= 3.14 \times (0.4953)^2 \times 50/4 &&= 9.63 \text{ m}^3 \\
 \text{Tekanan tes} &= 11.5 \text{ barg} &&= 1150000 \text{ Pa} \\
 \text{Tekanan tes absolut} &= 1150000 + 101000 \text{ Pa} &&= 1251000 \text{ Pa} \\
 E &= 2.5 \times 1251000 \times 9.63 [1 - (101000/1251000)^{0.286}] \text{ J} \\
 &= 15454112 \text{ J} \\
 E_{\text{TNT}} &= 15454112 / 4,266,920 \text{ kg} \\
 &= 3.62 \text{ kg} \\
 \text{Safe distance} &= 20 (2 \times 3.62)^{1/3} \text{ m} \\
 &= \mathbf{38.7 \text{ m}}
 \end{aligned}$$

**Gambar 2.**

Grafik hasil uji tekanan pada tes pneumatik menggunakan media nitrogen.

**Tabel 2.**

Tabel hasil uji tekan pada sistem pipa

Waktu	Tekanan	Waktu	Tekanan
1.39.35 am	0 barg	2.52.05 am	8.62 barg
1.52.05 am	1.7 barg	3.02.05 am	8.62 barg
2.02.05 am	1.7 barg	3.17.05 am	11.5 barg
2.07.05 am	2.8 barg	3.47.05 am	11.5 barg
2.17.05 am	2.8 barg	3.57.05 am	10 barg
2.29.35 am	5.75 barg	4.32.05 am	10 barg
2.39.05 am	5,75 barg	4.57.05	0 barg

Dari Gambar 2 dan Tabel 2 dapat dilihat bahwa pekerjaan injeksi nitrogen ke dalam sistem pipa dimulai pada pukul 1.39 dini hari dengan target tekanan awal didalam pipa 1.7 barg. Setelah 10 menit berlangsung maka dilakukan pengecekan pada alat-alat pengetesan untuk mengetahui apabila terjadi kebocoran dalam alat testing, dengan metode visual menggunakan *bubble test* (air sabun). Setelah tidak ditemukan kebocoran dalam peralatan tes, maka dilakukan penambahan tekanan nitrogen secara berkala dari 25%, 50%, 75% sampai dengan tekanan tes 100% atau sekitar 11.5 barg. Pada saat tekanan menyentuh target yang telah ditentukan yaitu 11.5 barg, maka dilakukan *holding* selama 30 menit untuk melihat kestabilan nitrogen di dalam sistem pipa.

Setelah melewati *holding time*, tekanan nitrogen di dalam pipa diturunkan ke tekanan desain yaitu 10 barg dan selanjutnya dilakukan pengecekan secara visual menggunakan metode *bubble* (air sabun) di setiap titik pengelasan yang akan dicek. Pengecekan pada sambungan las memerlukan waktu 1,5 jam dan tidak ditemukan indikasi kebocoran di setiap sambungan las. Aktivitas *depressurize* dilakukan pada pukul 4.30 pagi, hal yang harus diperhatikan dalam phase ini adalah nominal kebisingan daripada suara yang dihasilkan dari nitrogen saat pelepasan dimana tekanan tidak boleh lebih dari 85db dengan maksimum laju pelepasan tekanan 2 bar/menit. Dari grafik hasil uji tekanan tersebut bisa dilihat pekerjaan tes pneumatik selesai sekitar pukul 5 pagi dengan hasil tidak ada penurunan tekanan ataupun kebocoran saat periode *holding* selama 30 menit.

Pada Gambar 2 grafik tekanan terhadap waktu didapatkan hasil pengukuran tekanan pipa yang stabil dan tidak terjadi penurunan tekanan yang signifikan pada sistem pipa selama holding time. Hal ini menunjukkan bahwa tidak ada terjadinya kebocoran tekanan di dalam sistem saat pengetesan dan juga tidak ada kebocoran pada sambungan las saat dilakukan pengecekan secara visual menggunakan metode bubble disetiap sambungan pengelasan sesuai dengan ASME B31.3 appendix H.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil pengujian menggunakan metode tes pneumatik dapat disimpulkan bahwa semua hasil pengujian yang menggunakan metode tes pneumatik relatif berhasil apabila inspeksi dari sambungan las sudah terpenuhi sesuai standar *Quality Control*, baik menggunakan *penetrant test*, ultrasonik ataupun metode pemeriksaan hasil pengelasan lainnya. Selain itu pemasangan *temporary material* seperti *test flange*, *gasket*, *stud-bolt*, *manifold* dan *pressure gauge* harus sesuai dengan prosedur *flange management*, sehingga tidak terjadi kebocoran di dalam alat uji sistem perpipaan itu sendiri yang disebabkan oleh kurang sempurnanya sambungan *flange* pipa ataupun sambungan *manifold* selain dari titik pengelasan pipa yang akan diuji. Hal ini merujuk ke dalam Standard ASME PCC-1(2010) mengenai pedoman dalam melakukan sambungan flange sehingga meminimalisir terjadinya kebocoran pada sambungan flange.

Pengetesan baik secara hidrotest, pneumatik dan servis test merupakan prosedur penting untuk memastikan tidak terjadinya kegagalan sambungan las pada sistem perpipaan. Sehingga pipa bisa bekerja sesuai dengan desain tekanan yang diinginkan dan juga menghindari terjadinya kecelakaan kerja yang disebabkan oleh kegagalan sistem. Pemasangan barikade harus sesuai dengan perhitungan *safety zone* yang merujuk ke standard ASME PCC-2 sehingga apabila terjadi kegagalan pipa saat testing, maka pecahan material ataupun energi tersimpan di dalam pipa tidak mencederai pekerja yang berada di luar barikade. Selain itu penggunaan peredam suara di dalam sistem sangatlah penting untuk menghindari kebisingan yang berlebihan disaat dilakukan *depressurization* tekanan nitrogen di dalam sistem.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

1. ASME. (2009) B31.3 *Process Piping*. New York: American Society of Mechanical Engineers.
2. ASME PCC-1 (2010) *Guidelines for Pressure Boundary Bolted Flange Joint Assembly*. New York: American Society of Mechanical Engineers.
3. ASME PCC-2 (2018) *Repair of Pressure Equipment and Piping*. New York: American Society of Mechanical Engineers.
4. Nugraha, Harunsyah, & Munawar (2023). Analisis Volume LNG Ideal Untuk Cooling Down Fasilitas LNG Hub. *Jurnal Teknologi*, 23 (1), 13-19.
5. Piping-World. (2023). *Safe Distance and Stored Energy Calculator - Pneumatic Test*. (<http://www.piping-world.com>). Piping Engineering Resources. Diakses tanggal 26 Desember 2024.