

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS BUNG HATTA

EXECUTIVE SUMMARY

Reg No: 01/SKRIPSI/TM/FTI/III-2026

Nama : Hamdan Imanuddin
NPM : 2410017211065
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Pengaruh *Pressure Hydroexpand* Terhadap Hasil *Push-Out Test Mechanical Liner Pipe* 12 Inchi Inconel 825

Telah dikonsultasikan dan disetujui oleh pembimbing untuk di upload ke website.



Duskiardi, S.T., M.T. (Pembimbing)



Pengaruh *Pressure Hydroexpand* Terhadap Hasil *Push-Out Test Mechanical Liner Pipe* 12 Inchi Inconel 825

Hamdan Imanuddin¹ Duskiardi²

Teknik Mesin-Fakultas Teknologi Industri, Universitas Bung Hatta

hamdanimanuddin7@gmail.com

ABSTRAK

Industri minyak dan gas menggunakan *Mechanical Liner Pipe* (MLP) dengan material tahan korosi seperti Inconel 825 sebagai solusi ekonomis pengganti pipa paduan penuh. Integritas struktural MLP sangat bergantung pada kekuatan ikatan mekanis (*interference fit*) yang dihasilkan melalui proses *hydroexpand*. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi tekanan *hydroexpand* dan waktu penahanan (*hold time*) terhadap kekuatan ikatan mekanis melalui uji *push-out*. Metode penelitian menggunakan eksperimental kuantitatif pada liner ASTM B424 UNS N08825 dan pipa induk DNV450 DSFU diameter 12 inci. Tekanan uji bervariasi antara 660 sampai 685 bar dengan waktu penahanan 0 dan 10 detik. Kekuatan ikatan diukur menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM). Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan tekanan *hydroexpand* berbanding lurus dengan kekuatan ikatan mekanis hingga mencapai titik optimal sebelum batas luluh pipa induk (705 bar). Penahanan tekanan selama 10 detik terbukti meningkatkan stabilitas deformasi dan homogenitas ikatan dibandingkan tanpa penahanan. Temuan ini memberikan parameter teknis penting dalam manufaktur MLP untuk menjamin integritas sistem perpipaan di lingkungan korosif.

Kata Kunci: *Mechanical Liner Pipe*, Inconel 825, *Hydroexpand*, *Push-Out Test*, Kekuatan Ikatan.

ABSTRACT

The oil and gas industry utilizes Mechanical Liner Pipe (MLP) with corrosion-resistant materials such as Inconel 825 as a cost-effective alternative to solid alloy pipes. The structural integrity of MLP relies heavily on the mechanical bond strength (interference fit) generated through the hydroexpansion process. This study aims to analyze the effects of hydroexpansion pressure variations and hold times on bond strength, measured via push-out tests. The research employed a quantitative experimental method using ASTM B424 UNS N08825 liners and 12-inch DNV450 DSFU backing pipes. Test pressures ranged from 660 to 685 bar, with hold times of 0 and 10 seconds. Bond strength was evaluated by measuring the maximum push-out force using a Universal Testing Machine (UTM). The results indicate that increasing hydroexpansion pressure is directly proportional to the mechanical bond strength up to an optimal point before reaching the backing pipe's yield limit (705 bar). A 10-second hold time significantly contributes to deformation stability and bond homogeneity compared to zero hold time. These findings establish critical technical parameters for MLP manufacturing to ensure maximum piping system integrity in corrosive environments.

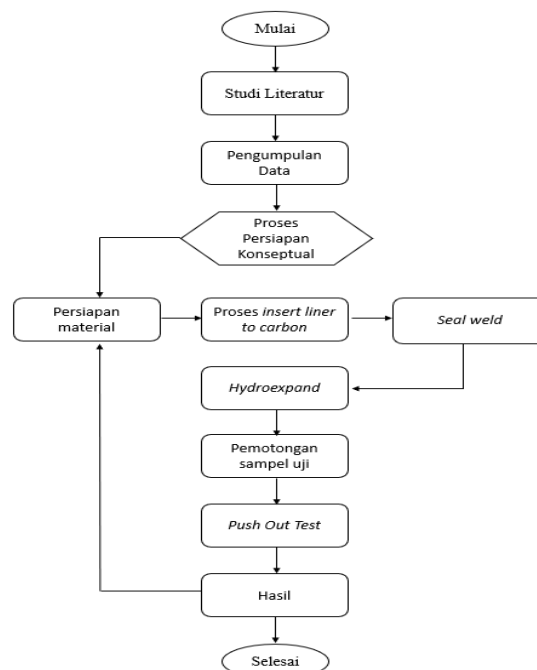
Keywords: *Mechanical Liner Pipe*, Inconel 825, *Hydroexpand*, *Push-Out Test*, Bond Strength.

PENDAHULUAN

Tantangan korosi pada industri minyak dan gas mendorong penggunaan material tahan korosi (*Corrosion Resistant Alloy*) seperti Inconel 825. Namun, tingginya biaya material tersebut membuat penggunaan *Mechanical Liner Pipe* (MLP) perpaduan liner Inconel 825 di dalam pipa baja karbon—menjadi alternatif yang lebih ekonomis. Kunci utama integritas MLP terletak pada proses *hydroexpand*, yaitu pemberian tekanan fluida tinggi untuk mendeformasi liner secara plastis hingga menempel erat pada pipa induk (*backing pipe*). Kekuatan ikatan mekanis (*interference fit*) ini sangat krusial untuk mencegah kegagalan struktur seperti *buckling* atau kolaps selama operasional. Meskipun metode ini umum digunakan, penelitian spesifik mengenai optimasi tekanan (660–685 bar) dan waktu penahanan (*hold time*) pada material ASTM B424 UNS N08825 dan pipa DNV450 DSFU masih terbatas. Penelitian ini bertujuan mengisi celah tersebut melalui evaluasi *push-out test*. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi akademis di bidang metalurgi serta menjadi panduan praktis bagi industri migas dalam mengoptimalkan instalasi MLP guna meningkatkan keandalan sistem perpipaan di lingkungan korosi.

METODE PENELITIAN

1. Diagram Alur Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir

2. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental kuantitatif untuk menganalisis hubungan sebab-akibat antara variabel bebas, yaitu tekanan ekspansi (660–685 bar) dan waktu penahanan (0 dan 10 detik), terhadap variabel terikat berupa gaya *push-out* maksimum pada *Mechanical Liner Pipe* (MLP) 12 inci.

3. Material dan Spesifikasi

Spesimen uji terdiri dari kombinasi dua material utama:

Liner Pipe : ASTM B424 UNS N08825 (Inconel 825) dengan ketebalan 3,30 mm dan OD

274 mm.

Backing Pipe: DNV450 DSFU *Seamless Carbon Steel* 12 inci dengan ketebalan 20,6 mm dan ID 282,7 mm.

4. Analisis Tekanan Operasional

Berdasarkan Rumus Barlow, ditentukan batas parameter tekanan sebagai berikut:

Tekanan Minimum Plastis liner : $P = \frac{2St}{D} = \frac{2 \times 220 \text{ MPa} \times 3,30 \text{ mm}}{280} = 5,81 \text{ Mpa} = 58.1 \text{ bar}$
merupakan tekanan teoritis awal agar liner mengalami deformasi plastis.

Batas Luluh Pipa Induk $P = \frac{2St}{D} = \frac{(2 \times 519 \text{ MPa} \times 20.6 \text{ mm})}{303.3 \text{ mm}} = 70.5 \text{ Mpa} = 705 \text{ bar}$.
dihitung berdasarkan tegangan luluh aktual material (519 MPa) untuk mencegah kerusakan permanen pada *backing pipe*.

Jadi diambil rentang Uji: 660, 665, 670, 675, 680, dan 685 bar.

5. Peralatan dan Prosedur Eksperimen

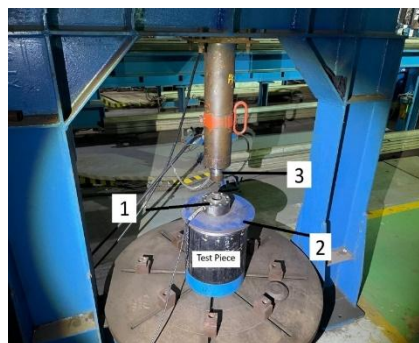
Eksperimen dilakukan di fasilitas PT. Y, Batam, menggunakan peralatan utama:

- Unit Hidrolik: Pompa berkapasitas 1.400 bar dilengkapi dengan *pressure transmitter* dan *digital timer*.



Gambar 2. Pompa hidrolik

- Universal Testing Machine (UTM): Kapasitas 50 ton untuk pengujian *push-out*.

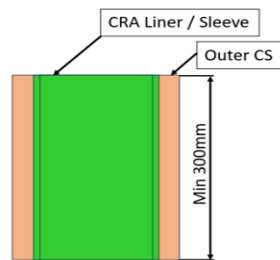


Gambar 3. Universal Testing Machine

6. Tahapan Pelaksanaan:

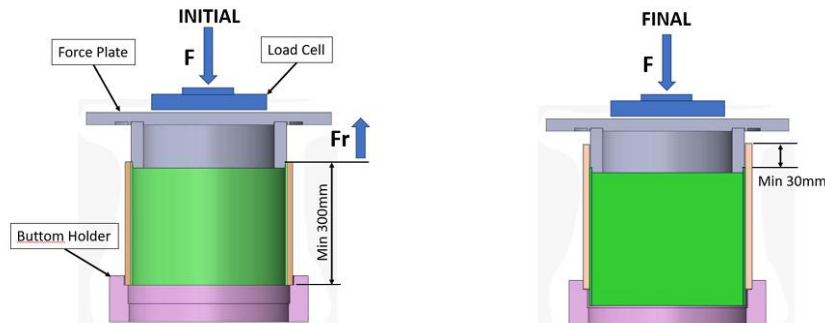
- Tahap Hydroexpand: Liner dimasukkan ke dalam pipa induk, disegel dengan *jig & die*, lalu diinjeksi fluida sesuai variasi tekanan dan waktu penahanan (0 & 10 detik).

- Preparasi Sampel: Pipa hasil ekspansi dipotong sesuai standar API 5LD dengan panjang minimal 300 mm.



Gambar 4. Sketch Sampel Uji

- Uji Push-Out: Sampel diletakkan pada *jig* UTM. Beban aksial diberikan pada liner hingga terjadi pergeseran mekanis untuk menentukan gaya ikat maksimum.



Gambar 5. Penempatan sampel uji pada jig UTM

7. Analisis Data.

Data gaya (kN) dan perpindahan (mm) dari UTM dikumpulkan dan diolah secara statistik. Analisis dilakukan untuk menentukan parameter kombinasi tekanan dan *hold time* yang menghasilkan kekuatan ikatan paling optimal tanpa melampaui batas elastis pipa induk.

HASIL DAN PEMBAHASAN

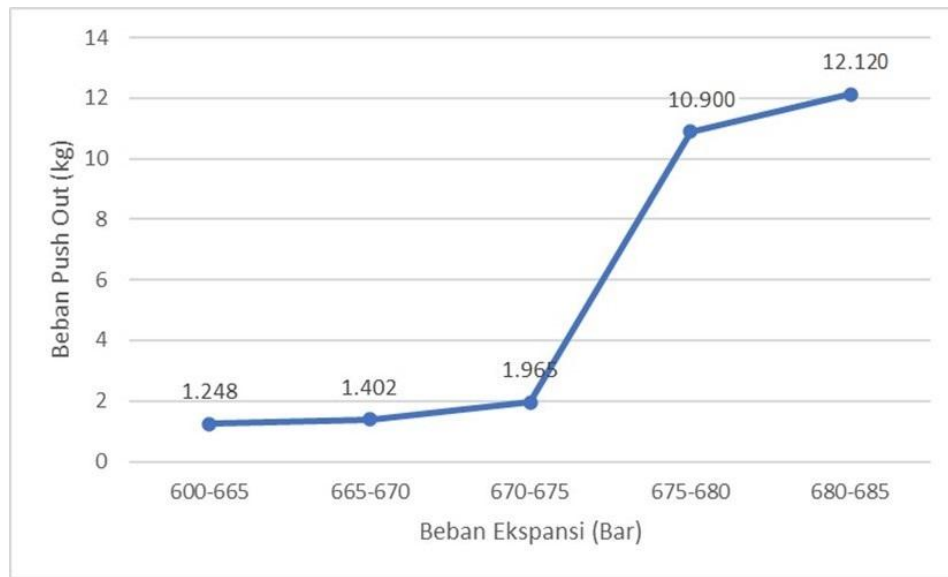
1. Ringkasan Gaya Push-Out Maksimum

Test Coupon	Beban Ekspansi (Bar)	Max Growth (mm)	Circumferential Strain (Sr)	Beban Push Out (Kg)
TC-1	660-665	1.5	0.00 %	1.248
TC-2	665-670	1.6	0.00 %	1.402
TC-3	670-675	1.7	0.00 %	1.965
TC-4	675-680	1.8	0.05 %	10.900
TC-5	680-685	1.8	0.05 %	12.120

Tabel 1. Ringkasan Gaya Push-Out Maksimum

Terjadi lonjakan drastis pada beban *push out* saat nilai *circumferential strain* (Sr) mencapai 0,05%, yang mengindikasikan bahwa tekanan di atas 675 bar memberikan kekuatan mekanis yang jauh lebih stabil

2. Analisis Korelasi Tekanan dan Kekuatan Ikatan



Gambar 6. Grafik hubungan Pressure dengan Hasil Push Out Test

Analisis grafik menunjukkan bahwa peningkatan tekanan ekspansi berbanding lurus dengan kekuatan cabut (*push-out force*), namun peningkatannya tidak linear:

- Fase Stabil (660–675 Bar): Kenaikan beban *push-out* cenderung landai (1.248–1.965 kg). Pada fase ini, ekspansi belum cukup kuat untuk menghasilkan interferensi mekanis yang maksimal.
- Fase Kritis (675–685 Bar): Terjadi lonjakan drastis (*quantum leap*) di mana beban *push-out* meningkat lebih dari 450% saat tekanan melewati ambang 680 Bar. Hal ini menandakan tercapainya *threshold* deformasi plastis sempurna pada liner Inconel 825.

3. Analisis Tegangan Geser Antarmuka (*Interface Shear Stress*)

Tegangan geser antarmuka (τ) merupakan parameter krusial untuk mengukur efektivitas *interference fit*. Perhitungan ini menggunakan beban puncak dari *Test Coupon 5* sebagai representasi kekuatan ikatan maksimal.

- Parameter perhitungan
 - Gaya Push-out Maksimum (F_{max}): 12.120 Kg atau setara 118.897, 2 N.
 - Diameter Luar Liner (D): 294, 6 mm.
 - Panjang Kontak (L): 300 mm (Parameter baru).
 - Luas Area Geser (A): Luas selimut silinder antarmuka ($\pi \cdot D \cdot L$).
- Perhitungan luas area geser

$$A = \pi \times D \times L$$

$$A = 3, 14159 \times 294, 6 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$$

$$A = 277.658 \text{ mm}^2$$

- Perhitungan Tegangan Geser Antarmuka (τ)

$$\tau = \frac{F_{max}}{A}$$

$$\tau = \frac{118.897,2 \text{ N}}{277.658 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 0,428 \text{ N/mm}^2 \text{ (MPa)}$$

3. Deformasi dan Integritas Struktural

Evaluasi *Circumferential Strain* (Sr) menunjukkan nilai maksimal hanya 0,05% pada tekanan tertinggi (685 Bar). Nilai ini jauh di bawah batas toleransi industri sebesar 1,5%, membuktikan bahwa pipa induk DNV450 DSFU tetap berada dalam batas elastisitasnya, sehingga integritas struktural pipa utama tetap terjaga.

4. Peran Waktu Penahanan (*Hold Time*) dan Karakteristik Kegagalan

Penerapan *hold time* selama 15 detik pada TC-4 dan TC-5 berkontribusi pada homogenitas ikatan. Waktu penahanan memungkinkan liner untuk "mengalir" secara mikroskopis mengikuti profil kekasaran permukaan pipa induk, menciptakan *mechanical interlocking* yang lebih stabil. Karakteristik kegagalan pada uji *push-out* menunjukkan pola *interface failure* yang bersih (mendadak). Penurunan beban tajam setelah titik puncak mengindikasikan pelepasan total antarmuka tanpa adanya kerusakan metalurgi pada kedua material, memvalidasi bahwa ikatan yang terbentuk murni bersifat mekanis.

5. Parameter Optimal

Parameter optimal ditemukan pada tekanan 685 Bar dengan waktu penahanan 15 detik, menghasilkan gaya *push-out* sebesar 12.120 kg. Temuan ini mendukung teori bahwa kekuatan ikatan pada *lined pipe* sangat bergantung pada tekanan internal yang mampu melampaui ambang plastisitas liner tanpa melewati batas elastis pipa induk.

KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa parameter operasi optimal untuk proses *hydroexpand* pada *mechanical liner pipe* (ASTM B424 UNS N08825 dan DNV450 DSFU) adalah rentang tekanan 680–685 Bar dengan *hold time* 15 detik. Kondisi ini menghasilkan kekuatan ikatan mekanis tertinggi dengan beban *push-out* mencapai 12.120 kg dan tegangan geser antarmuka (τ) sebesar 0,428 MPa.

Analisis data menunjukkan karakteristik hubungan non-linear antara tekanan ekspansi dan kekuatan ikat, di mana lonjakan kekuatan sebesar 455% terjadi saat tekanan melewati ambang batas 675 Bar. Fenomena ini menandai transisi dari fase penutupan celah (*gap closing*) menuju pembentukan tekanan kontak radial sisa yang efektif. Secara struktural, seluruh variasi tekanan (660–685 Bar) dinyatakan aman karena nilai *circumferential strain* maksimum (0,05%) tetap berada jauh di bawah batas toleransi industri (1,5%). Performa aktual yang lebih tinggi +42,6% dibandingkan prediksi teoritis menegaskan bahwa mekanisme *mechanical interlocking* pada skala mikroskopis memberikan kontribusi signifikan terhadap integritas sambungan pipa.

DAFTAR PUSTAKA

- API. 2020. "API-5LD CRA Clad or Lined Steel Pipe," Washington : API Publishing Services
- API. 2018. "API-5L Line Pipe," Washington : API Publishing Services
- API. 2020. "API-5LC CRA Line Pipe," Washington : API Publishing Services
- Fazlollahi, Majid, Mohammad Reza Morovvati, and Bijan Mollaei Dariani. 2019. "Theoretical, Numerical and Experimental Investigation of Hydro-Mechanical Deep Drawing of Steel/Polymer/Steel Sandwich Sheets." *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture* 233 (5): 1529–46. <https://doi.org/10.1177/0954405418780173>.
- Feng, Zhe, Xuehua Fan, Zhu Wang, Yong Yu, Lijuan Chen, Yanxia Du, and Lei Dong. 2021. "Corrosion Behavior and Passive Film Composition of Alloy 825 in High Temperature and High H₂S-CO₂ Containing Environment." *Frontiers in Materials* 8 (September): 1–8. <https://doi.org/10.3389/fmats.2021.728898>.
- Gavriilidis, Ilias, Spyros, A. Karamanos, and Stefanos Papanicolopoulos. 2021. "Mechanical Behaviour of Steel Lined Pipes under Monotonic and Cyclic Bending."
- Heigl, G., V. Pavlyk, I. Aretov, and S. McCann. 2015. "A New Method of Producing Mechanically Lined Pipe Including Large Diameters." *OTC Brasil 2015: The Atlantic: From East to West - An Ocean of Innovation*, 349–58. <https://doi.org/10.4043/26100-ms>.
- Obeid, Obeid, Giulio Alfano, Hamid Bahai, and Hussam Jouhara. 2018. "Mechanical Response of a Lined Pipe under Dynamic Impact." *Engineering Failure Analysis* 88 (January): 35–53. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2018.02.013>.
- Wei, Rongzhi, Murilo Augusto Vaz, and Xuefeng Hu. 2024. "Analytical Prediction and Numerical Validation for Interfacial Contact Pressure in Mechanically Lined Pipe Fabrication."
- Yuan, Lin, and Stelios Kyriakides. 2021. "Hydraulic Expansion of Lined Pipe for Offshore Pipeline Applications." *Applied Ocean Research* 108 (January): 102523. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2020.102523>.