

Finite Element Analysis Distribusi Tegangan pada Pipa Berlubang Elips Berpenguat Patch

Sulaiman¹, Rachmat Sriwijaya^{2*}

^{1,2}Departemen Teknik Mesin dan Industri Universitas Gadjah Mada
Jalan Grafika No. 2, Yogyakarta, Indonesia 55281

¹sulaiman.hd@mail.ugm.ac.id

^{2*}Penulis Korespondensi: sriwijaya@gadjahmada.edu

Abstrak - Instalasi pipa bawah tanah merupakan salah satu komponen penting dalam mendukung kegiatan industri. Terjadinya kerusakan pada pipa bawah tanah sudah umum terjadi dan perbaikannya biasa dilakukan dengan cara ditambal (*patch*). Analisis distribusi tegangan pada pipa yang memiliki tambalan (*patch*) perlu dilakukan untuk mengetahui efektivitas tambalan atau menentukan pengaruh eskalasi kerusakan yang terjadi. Dalam penelitian ini dilakukan analisis distribusi tegangan pada pipa yang memiliki kerusakan berupa lubang elips yang telah diberi tambalan untuk mengetahui pengaruh variasi ketebalan *patch* dan penambahan diameter panjang lubang elips tersebut. Pipa yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan *medium density polyethylene* (MDPE) PE80 dan material *patch* menggunakan *high density polyethylene* (HDPE) PE100 dengan metode penambalan *saddle fusion patch*. Model ini selanjutnya disimulasikan menggunakan *finite element analysis tool*, ANSYS 19.2. Variasi ketebalan *patch* yang digunakan meliputi 40, 45, 50 dan 55mm. Berdasarkan hasil simulasi variasi ketebalan diketahui bahwa luas distribusi tegangan cenderung tetap dan tegangan maksimum Von Mises menurun ketika ketebalan *patch* ditambah.

Kata kunci - Distribusi tegangan, *patch*, *elliptical hole*, *polyethylene*, *finite element*, von Mises.

Abstract - *Underground pipe installation is one of the important components in supporting industrial activities. Damage to underground pipes is common and repairs are usually done by patching. Analysis of the stress distribution on the pipe that has a patch needs to be done to determine the effectiveness of the patch or determine the effect of the damage escalation that occurs. In this study, an analysis of the stress distribution was carried out on the pipe that had damage in the form of an elliptical hole that had been patched to determine the effect of variations in patch thickness and the addition of the major diameter of the elliptical hole. The pipe used in this study uses medium density polyethylene (MDPE) PE80 and the patch material uses high density polyethylene (HDPE) PE100 with the saddle fusion patch method. This model is simulated using the finite element analysis tool, ANSYS 19.2. The thickness variations of the patch used include 40, 45, 50 and 55mm. Based on the simulation results of patch thickness variations, it is known that the stress distribution tends to stay and the maximum von Mises stress decreases when the patch thickness is increased.*

Keywords - Stress distribution, patch, elliptical hole, polyethylene, finite element, von Mises.

I. PENDAHULUAN

Instalasi pipa bawah tanah menggunakan material *polyethylene* (PE) sudah banyak digunakan untuk mendukung kegiatan industry. Sebagaimana pipa dari bahan logam, pipa ini juga dapat mengalami kerusakan berupa retakan (*crack*) yang akhirnya membentuk lubang. Dalam penelitian sebelumnya [1], lubang yang diakibatkan oleh *crack* dianggap memiliki bentuk elips dan perbaikan yang direkomendasikan menggunakan penambalan penuh (*saddle fusion patch*). Referensi [2], [3] menjelaskan pengaruh dan proses *saddle fusion patch* terhadap pipa PE80 yang dikubur di dalam tanah.

Adanya tegangan yang bekerja pada pipa, baik berupa beban internal, beban tanah dan beban bergerak [4] dapat menyebabkan distribusi tegangan pada pipa berubah sehingga pipa yang telah ditambal dapat mengalami kebocoran lagi akibat ketebalan tambalan (*patch*) yang tidak efektif atau membesar/memanjangnya lubang yang telah ditambal tersebut. Di dalam penelitian ini akan dilakukan analisis untuk mengetahui pengaruh ketebalan tambalan (*patch*) dan variasi diameter panjang pada lubang elips terhadap distribusi tegangan pada pipa. Hal ini akan membantu pembuatan tambalan yang efektif untuk mencegah terjadinya kebocoran di tempat yang sama.

II. METODE

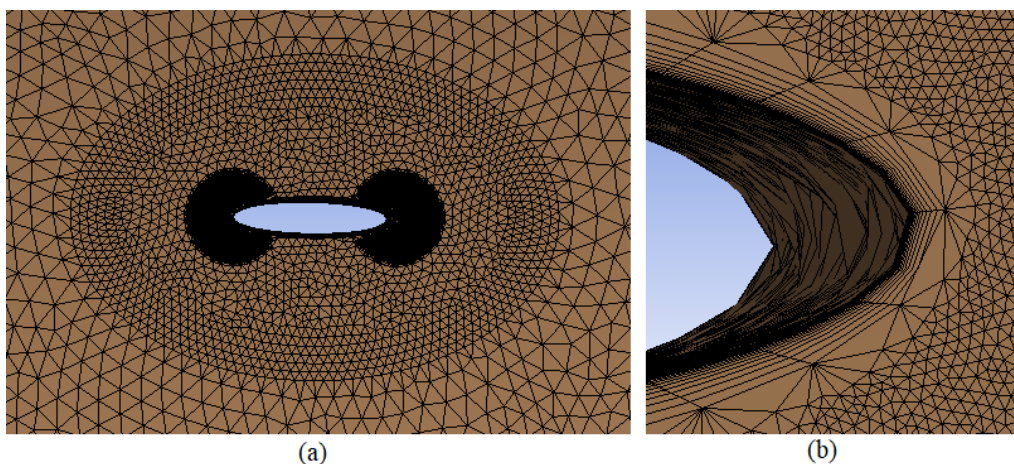
Pada penelitian ini dilakukan simulasi menggunakan *finite element analysis tool*, ANSYS 19.2 untuk mensimulasikan pipa PE80 dengan diameter 4' dan panjang 0,5m yang memiliki lubang elips dengan

diameter panjang (2a) 5 mm dan diameter pendek (2b) 1 mm. Pipa tersebut ditambal menggunakan material PE100 dengan lebar tambalan 76 mm dan tebal tambalan 40 mm menggunakan *saddle fusion patch*. Pipa tersebut kemudian dikubur di dalam tanah pada kedalaman 125 cm yang memiliki variasi temperatur 13 °C - 35°C. Karakteristik lapisan tanah tempat pipa tersebut dikubur diperlihatkan pada TABEL I. Beban yang bekerja meliputi tekanan internal $P1 = 405,3$ kPa dan beban statis kendaraan $P2 = 544,78$ kPa.

TABEL I
KARAKTERISTIK LAPISAN TANAH [1]

Jenis tanah	Modulus elastisitas (MPa)	Density (kg/m ³)	Poisson's ratio
<i>Asphalt</i>	173.0	2 200	0.35
<i>GW soil with 90% Proctor density</i>	6.9	1 700	0.20
<i>SM soil with 90% Proctor density</i>	6.9	1 900	0.35
<i>GW soil with 95% Proctor density</i>	15.0	2 000	0.35
<i>GW soil with 85% Proctor density</i>	4.8	1 600	0.20

Untuk mengetahui pengaruh ketebalan tambalan terhadap distribusi tegangan pada pipa dilakukan variasi ketebalan tambalan yang meliputi ketebalan 45 mm, 50 mm dan 55 mm.

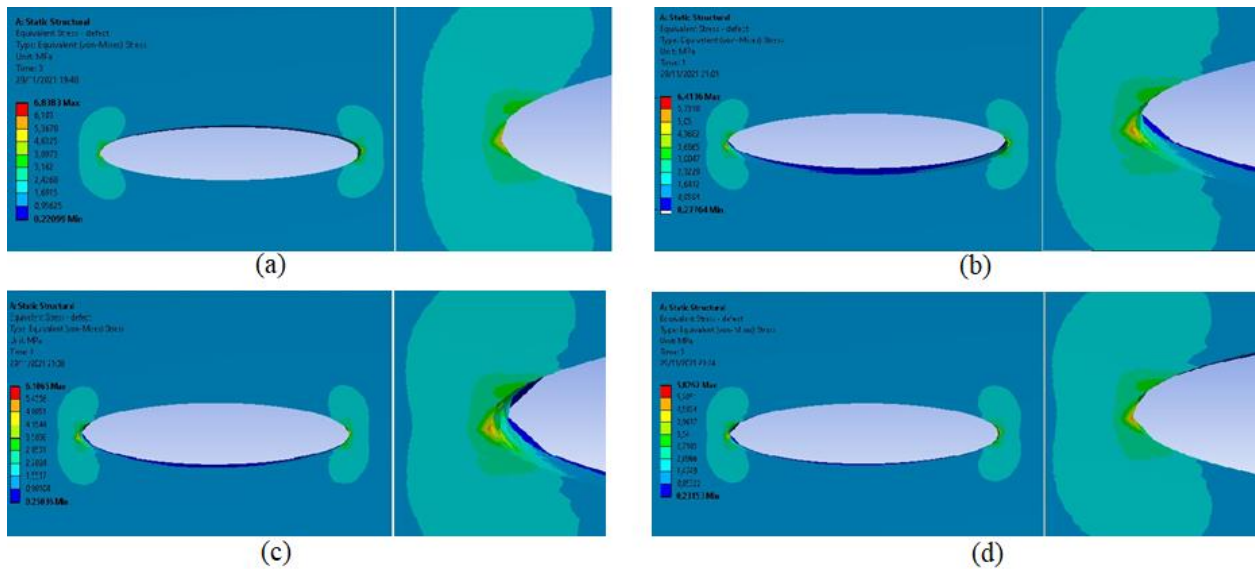


Gambar 1. (a) *High quality meshing*, (b) *Inflation layer*

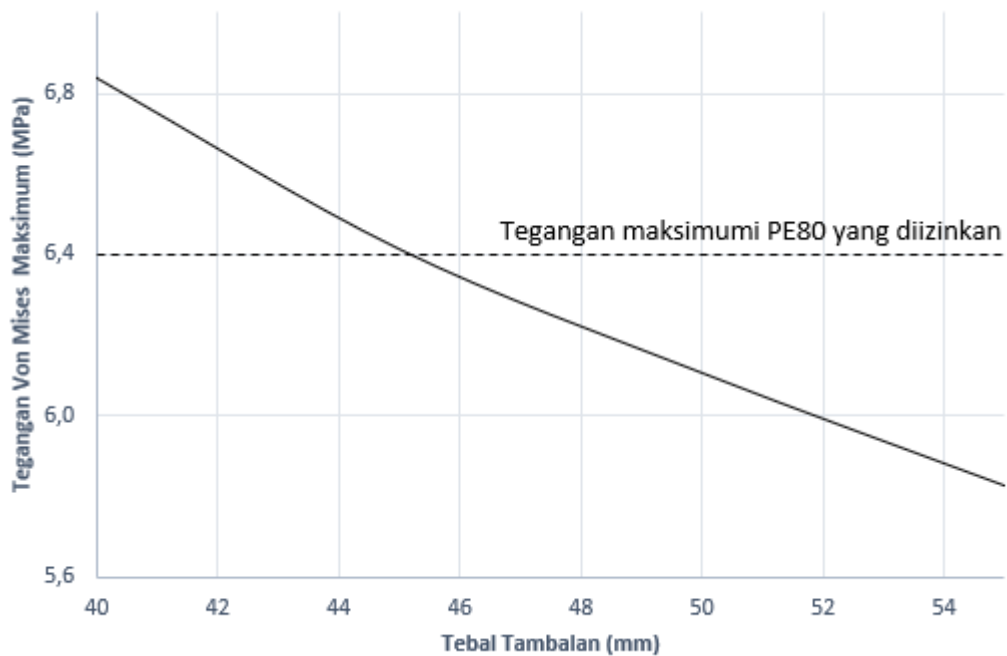
Untuk menghasilkan simulasi yang cukup akurat dan distribusi tegangan yang halus, dalam penelitian ini digunakan *high quality meshing*, di mana ukuran *mesh* terkecil berukuran 0,03mm dan adanya *inflation layer* yang menghubungkan pinggiran elips dan lubang elips [5] sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.

III. HASIL

Gambar 2 merupakan hasil simulasi distribusi tegangan dengan variasi ketebalan tambalan 40 mm, 45 mm, 50 mm dan 55 mm. Besarnya perubahan tegangan maksimum Von Mises pada pipa tersebut ditunjukkan pada kurva tegangan maksimum Von Mises terhadap variasi tebal tambalan yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 2. Distribusi tegangan pada pipa PE80 dengan ketebalan tambalan (a) 40mm, (b) 45mm, (c) 50mm dan (d) 55mm



Gambar 3. Kurva tegangan maksimum Von Mises stress terhadap variasi tebal tambalan

IV. PEMBAHASAN

Hasil simulasi dengan variasi ketebalan *patch* 40, 45, 50 dan 55 mm yang ditunjukkan pada Gambar 2 memperlihatkan luas area distribusi tegangan cenderung tetap. Besarnya tegangan Von Mises maksimum pada simulasi menunjukkan terjadinya penurunan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. Tegangan pada pipa turun hingga mencapai tegangan maksimum yang diizinkan, yaitu 6,4 MPa untuk pipa PE80 [1] ketika ketebalan *patch* sama dengan 45 mm. Pada saat ketebalan *patch* ditambah menjadi 50 mm dan 55 mm, tegangan pada pipa turun di bawah tegangan maksimum yang diizinkan. Berdasarkan *best practice* di lapangan, ketebalan *patch* maksimum tidak melebihi dua kali ketebalan pipa yang ditambal sehingga

ketebalan *patch* yang dapat diaplikasikan adalah 45 mm, namun pada kondisi ini kedua ujung lubang elips menjadi mudah mengalami retakan (*crack*) ketika tegangan pada daerah tersebut mengalami kenaikan.

Pemasangan tambalan (*patch*) pada pipa akan menutup lubang elips dan menambah ketebalan pipa sehingga *pipe strength* meningkat dan tegangan pada pipa menurun [6]. Terjadinya penurunan tegangan pada pipa tersebut disebabkan parameter yang mempengaruhi tegangan yang terjadi terjadi pada pipa merupakan fungsi dari beban dan ketebalan pipa. Penambahan ketebalan pipa akan menurunkan tegangan pada pipa secara kuadrat [6] sebagaimana dijelaskan pada Persamaan 1 [7].

$$\sigma = \frac{6 * E * t * r * K_b * W}{E * t^3 + 24 * p * K_z * r^3 + 0,732 * E' * r^3} \quad (1)$$

dengan:

K_b : koefisien *bending moment*

K_z : koefisien defleksi

D : diameter pipa, m

t : tebal pipa, m

W : beban vertikal dari pengaruh tanah timbun dan beban eksternal, kPa

P : tekanan dalam pipa, kPa

E : modulus Young dari pipa, kPa.

E' : modulus tahanan tanah terhadap, kPa

r : jari-jari pipa, m

Mengacu ke Gambar 5, pada saat diameter panjang berubah dari 5 mm menjadi 7,5 mm, tegangan Von Mises maksimum yang terjadi pada kedua ujung elips sudah melewati tegangan maksimum yang diizinkan. Hal ini merupakan kondisi di mana bentuk kerusakan (*defect shape*) pada kedua ujung lubang elips dapat berubah menjadi suatu retakan (*crack*) [1]. Ketika diameter panjang dinaikkan lagi menjadi 10 mm dan 12,5 mm, tegangan Von Mises maksimum di kedua ujung elips menjadi lebih besar lagi sehingga kemungkinan munculnya retakan pada kedua ujung elips makin besar.

Pertambahan diameter panjang lubang elips dengan mempertahankan ukuran diameter pendek menyebabkan terbentuknya area yang semakin sempit/kecil di kedua ujung elips sehingga tegangan yang bekerja di area tersebut bertambah besar. Hal ini juga menyebabkan rasio diameter panjang dan diameter pendek (*a/b*) menjadi lebih besar di mana parameter ini berbanding lurus dengan besarnya tegangan maksimum yang bekerja pada kedua ujung lubang elips sebagaimana dijabarkan pada Persamaan 2 [8],[9]. Semakin besar rasio diameter *a/b* maka besarnya tegangan maksimum pada kedua ujung elips akan semakin besar juga. Hasil simulasi yang diperoleh menunjukkan kesesuaian dengan penelitian yang dilakukan oleh Khademi-Zahedi & Shishesaz (2018), di mana penurunan rasio diameter pendek terhadap diameter panjang (*b/a*) atau kenaikan rasio diameter panjang terhadap diameter pendek (*a/b*), akan memperbesar tegangan Von Mises maksimum yang terjadi pada pipa [1], [10].

$$\sigma_{\beta\beta(max)} = \sigma \left(1 + \frac{2a}{b} \right) \quad (2)$$

dengan:

$\sigma_{\beta\beta(max)}$: tegangan maksimum pada *elliptical hole*

σ : tegangan tarik

- 2a : diameter panjang lubang elips
2b : diameter pendek lubang elips

V. KESIMPULAN

Penambahan ketebalan tambalan (*patch*) pada pipa yang memiliki lubang elips akan menurunkan tegangan pada pipa tersebut dan ketebalan efektif diperoleh setelah tegangan pipa berkurang hingga mencapai *maximum allowable stress* atau lebih rendah lagi di mana ketebalan yang dicapai tidak lebih dari dua kali tebal pipa sehingga memenuhi *best practice* di lapangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Para penulis mengucapkan terima kasih kepada Departemen Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada atas semua bantuan, kesempatan dan fasilitasnya. Terima Kasih juga disampaikan kepada Diaz Andamaz dan Faisal Adinegoro atas sarannya selama proses simulasi ANSYS.

REFERENSI

- [1] Khademi-Zahedi, R., & Shishesaz, M. (2018). *Application of a finite element method to stress distribution in buried patch repaired polyethylene gas pipes*. *Underground Space*, 4(1), 48-58. doi:10.1016/j.undsp.2019.05.001.
- [2] Khademi-Zahedi, R., & Alimouri, P. (2018). *Finite element analysis to the effect of Thermo-Mechanical loads on stress distribution in buried polyethylene gas pipes jointed by electrofusion sockets, repaired by pe patches*. *energies*, 11(10), 2818. <https://doi.org/10.3390/en11102818>.
- [3] Khademi Zahedi, R., Alimouri, P., Khademi Zahedi, H., & Shishesaz, M. (2019). *Investigating peak stresses in fitting and repair patches of buried polyethylene gas pipes*. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 14(1), 147–168. <https://doi.org/10.1007/s11709-019-0587-6>
- [4] Alzabeebee, S., Chapman, D. N., & Faramarzi, A. (2018). *A comparative study of the response of buried pipes under static and moving loads*. *Transportation Geotechnics*, 15, 39-46. doi:10.1016/j.trgeo.2018.03.001
- [5] ANSYS Meshing *User's Guide*. (2010). Southpointe, ANSYS Inc.
- [6] Yudha, I. C. (2018), *Simulasi Kekuatan Pipa Pada Road Crossing Dengan Variasi Bentuk Geometris Sleeve*.
- [7] Warman, D. J., Hard, D.J., Francini, R.B. (2009). *Development of a pipeline surface loading screening process and assessment on surface load dispersing methods*, Canadian Energy Pipeline Association, Final Report No 05-44R1.
- [8] Inglis, C. E. (1913). *Stresses in a plate due to the presence of cracks and sharp corners*, The Institution of Naval Architech
- [9] Boresi, A. P., & Schmidt, R. J. (2003). *Advanced Mechanics Of Materials* (6th ed.). United State Of America: John Willey & Sons Inc.
- [10] Khademi-Zahedi, R. (2018). *Application of the finite element method for evaluating the stress distribution in buried damaged polyethylene gas pipes*. *Underground Space*, 4(1), 59-71. doi:10.1016/j.undsp.2018.05.002