

Analisa Tegangan Pipa *Elbow* 90° API 5L X52

Beni Triwiyoso¹, Rachmat Sriwijaya²

^{1,2}Departemen Teknik Mesin dan Industri Universitas Gadjah Mada

Jalan Grafika No 2, Yogyakarta, Indonesia 55284

benitriwiyoso@mail.ugm.ac.id

²Penulis Korespondensi: sriwijaya@mail.ugm.ac.id

Abstrak - Sistem perpipaan merupakan bagian yang penting di dalam dunia industri, mulai dari industri minyak dan gas, industri air minum, hingga pembangkit listrik. Dalam aplikasinya ada banyak sekali bentuk dan model pipa ataupun *fitting*, seperti *seamless pipe*, *spiral welded pipe*, *elbow*, *mitter*, *tee*, *reducer*, *cross*, dan lainnya. Pada saat operasi, bentuk dan model pipa yang bermacam-macam tersebut akan memiliki karakteristik tegangan yang berbeda-beda sesuai dengan beban yang diterimanya. Pipa *elbow* dianggap komponen bertekanan kritis dalam sistem perpipaan dan jaringan pipa karena distribusi tegangan dan efek radius kelengkungannya. Kondisi aktual di lapangan saat ini banyak ditemukan pipa *elbow* yang mengalami penipisan dan ada juga yang sampai pecah. Tingginya potensi kegagalan pada pipa karena faktor penipisan dinding pipa tersebut, memacu pentingnya untuk mengkaji lebih jauh efek dari *metal loss* terhadap integritas pipa dan cara pencegahannya. Dalam penelitian ini akan mencoba memodifikasi pipa *elbow* sebagai bentuk pencegahan terhadap laju kerusakannya. Metode yang dipakai ialah dengan melakukan simulasi numeris menggunakan *software* berbasis *Finite Element*. Simulasi akan dilakukan pada pipa *elbow* penyalur gas material API 5L X52 *bending radius* 90° dengan pembebanan *internal pressure*. Modifikasi atau penguatan dilakukan pada sisi *intrados* dengan berbagai macam variasi ukuran, hal ini untuk melihat pengaruhnya terhadap distribusi tegangan dan pada akhirnya didapatkan ukuran *reinforcement patch* yang paling efektif untuk pipa *elbow*. Hasil penelitian menunjukkan penambahan *patch* dengan ukuran yang sesuai pada sisi *intrados* efektif dalam mengurangi tegangan yang terjadi sehingga potensi kerusakan pipa akibat beban internal bisa dicegah. Penelitian ini diharapkan menjadi salah satu referensi khususnya dalam dunia industri untuk memproduksi pipa *elbow* dengan modifikasi yang telah disimulasikan.

Kata kunci - pipa *elbow*, *reinforcement patch*, *internal pressure*, tegangan, *finite element*.

Abstract- *The piping system is an important part in the industrial world, ranging from the oil and gas industry, drinking water industry or power generation. In its application, there are many shapes and models of pipes or fittings, such as seamless pipe, spiral welded pipe, elbow, mitter, tee, reducer, cross, and others. Various shapes and models of pipes will have different stress characteristics according to the load they receive. Pipe elbows are considered critical pressure components in piping systems and pipelines because of their stress intensification and the effect of radius of curvature. The actual conditions in the field today are many elbow pipes that are thinning and some are breaking. The high potential for failure in the pipe due to the thinning factor of the pipe wall, spurs the importance of further studying the effect of metal loss on pipe integrity and how to prevent it. In this study, we will try to modify the elbow pipe as a form of prevention against the rate of damage. The method used is to perform numerical simulations using software based on finite element. The simulation will be carried out on the pipe elbow pipe gas distribution API 5L X52 bending radius 90° with internal pressure loading. Modification or reinforcement is carried out on the intrados side with various size, this is to see its effect on stress distribution and in the end the most effective reinforcement patch size for elbow pipe is obtained. The results showed that the addition of a patch with the appropriate size on the intrados side was effective in reducing the stress that occurred so that the potential for pipe damage due to internal loads could be prevented. This research is expected to be a reference, especially in the industrial world for producing elbow pipes with simulated modifications*

Keywords - *elbow pipe, reinforcement patch, internal pressure, stress, finite element.*

I. PENDAHULUAN

Sistem perpipaan merupakan bagian yang penting di dalam dunia industri. Jaringan pipa yang semakin lama semakin rumit membutuhkan banyak penggunaan pipa *elbow* dan pipa *tee* untuk distribusi, transportasi, dan perubahan arah fluida. Pipa *elbow* rentan terhadap berbagai mekanisme kerusakan pada permukaan internal dan eksternal karena paparan cairan dan lingkungan eksternal seperti korosi, erosi, masalah korosi erosi, dan kerusakan gabungan lainnya [1-3]. Oleh karena itu kehandalan pipa penyalur merupakan suatu keharusan untuk mencegah terlepasnya fluida keluar dari sistem melalui proses yang tidak diharapkan. Kondisi aktual di lapangan saat ini banyak ditemukan pipa *elbow* yang mengalami penipisan dan ada juga yang sampai pecah. Tingginya potensi kegagalan pada pipa memicu banyaknya studi dan eksperimen yang dilakukan untuk menyelidiki karakteristik pipa *elbow* dan pada akhirnya didapatkan system perawatan ataupun pencegahan yang tepat. Simulasi *finite element* merupakan salah satu metode yang dilakukan untuk mengetahui karakteristik pipa *elbow* [4-6].

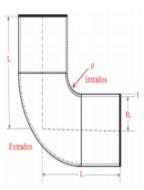
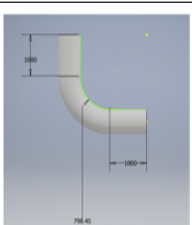
Muthanna dkk. [5] melakukan penelitian yang bertujuan untuk mempelajari karakteristik pipa *elbow* dibawah pengaruh tekanan gas dengan perubahan radius tekukan, posisi retak, orientasi sudut retak dan rasio kedalaman retak semi elips. Penelitian dilakukan secara pemodelan *finite element analysis* dengan ANSYS untuk mengetahui distribusi tegangan dan fenomena kecepatan aliran. Dan salah satu hasil penelitian ini yang cukup penting adalah grafik pengaruh *elbow bending radius* terhadap tegangan Von Mises dan distribusi kecepatan aliran pada *elbow*. Selanjutnya Muthanna dkk. [6] melakukan pemodelan dan perhitungan dengan kode perpipaan pada pipa *elbow* material baja API 5L X52 yang mengalami penipisan dengan beberapa variasi kedalaman pada posisi *intrados*. Dari hasil penelitian disebutkan bahwa posisi *intrados* memiliki tegangan tertinggi dibandingkan dengan sisi yang lain. Kode perpipaan untuk pipa lurus tidak bisa digunakan untuk perhitungan pipa *elbow* yang mengalami penipisan dan harus di modifikasi supaya hasilnya mendekati dengan hasil pemodelan. Dari hasil perhitungan diketahui menggunakan kode B318 [7] yang dimodifikasi (*goodall formula*) mendekati dengan hasil dari *finite element analysis* (FEA).

Tujuan dari penelitian ini ialah untuk mengetahui pengaruh modifikasi yang dilakukan pada pipa *elbow* sisi *intrados* berupa penambahan ketebalan, sebagai bentuk pencegahan kerusakan yang sering terjadi pada sisi tersebut. Harapannya akan didapatkan ukuran ketebalan yang sesuai dan efektif untuk bisa ditambahkan pada sisi *intrados*.

II. METODE

Penelitian ini menggunakan simulasi dengan *finite element analysis* yang akan dilakukan pada pipa *elbow* penyalur gas material API 5L X52 *bending radius* 90° dengan pembebanan *internal pressure* dan pipa penguat (*reinforcement patch*) berbagai ukuran pada Tabel I dengan material propertinya pada Tabel II. Di dalam simulasi ini akan dilihat karakteristik tegangan yang dialami oleh pipa dengan beberapa alternatif pengaruh geometri dari *patch* yang terpasang.

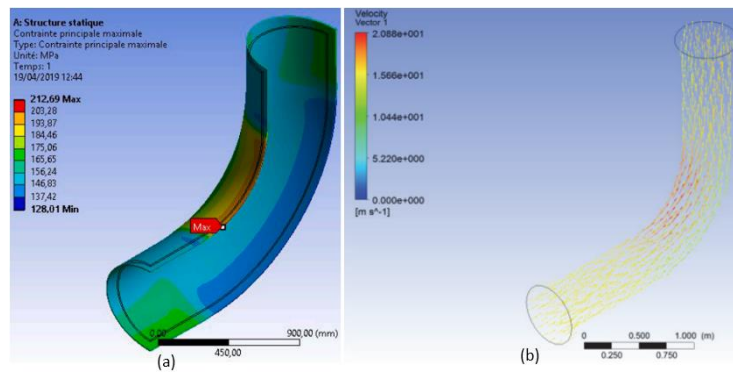
TABEL I
GEOMETRI PIPA ELBOW [5].

| | | | | |
|-----------------------------|--------|-----|---|--|
| <i>Internal radius</i> (Ri) | 285.75 | mm |  |  |
| <i>Wall thickness</i> (t) | 12.7 | mm | | |
| Panjang (L) | 1000 | mm | | |
| <i>Bending radius</i> (p) | 798.45 | mm | | |
| <i>Internal pressure</i> | 7 | Mpa | | |

TABEL II
DATA SIFAT MEKANIS API 5L X52 [5].

| Yield Strength (MPa) | Ultimate Strength (MPa) | Elongation at failure A% | Fracture toughness K_{IC} (MPa \sqrt{m}) |
|----------------------|-------------------------|--------------------------|---|
| 410 | 528 | 32 | 116.6 |

Variasi yang akan diberikan pada pipa *elbow* adalah penambahan ketebalan pada sisi *intrados* yang mempunyai distribusi tegangan dan kecepatan aliran paling tinggi seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. (a) Konsentrasi tegangan (b) Distribusi kecepatan aliran [6].

Pada Tabel III menjabarkan rangkuman dari variasi yang akan dilakukan pada penelitian ini. Berbagai geometri modifikasi dipilih untuk mendapatkan hasil yang paling efektif.

TABEL III
VARIASI PADA PIPA ELBOW.

| No | Variasi | Sub Variasi | Reinforcement patch | | Keterangan |
|----|---------|-------------|---------------------|-----------------|-------------------------------------|
| | | | Tebal | Ukuran | |
| 1 | 1 | A | 0.1t | 174 mm x 208 mm | Variasi tebal |
| 2 | | B | 0.2t | 174 mm x 208 mm | Variasi tebal |
| 3 | | C | 0.3t | 174 mm x 208 mm | Variasi tebal |
| 4 | | D | 0.4t | 174 mm x 208 mm | Variasi tebal |
| 5 | | E | 0.5t | 174 mm x 208 mm | Variasi tebal |
| 11 | 2 | A | 0.5t | 174 mm x 208 mm | 20° panjang busur (variasi Panjang) |
| 12 | | B | 0.5t | 514mm x 208 mm | 60° panjang busur (variasi Panjang) |
| 13 | | C | 0.5t | 785mm x 208mm | 90° panjang busur (variasi Panjang) |
| 14 | 3 | A | 0.5t | 785mm x 208 mm | 40° panjang busur (variasi lebar) |
| 15 | | B | 0.5t | 785mm x 245 mm | 45° panjang busur (variasi lebar) |
| 16 | | C | 0.5t | 785mm x 325 mm | 60° panjang busur (variasi lebar) |
| 17 | | D | 0.5t | 785mm x 488 mm | 90° panjang busur (variasi lebar) |
| 6 | 4 | A | 0.1t | 785mm x 488 mm | 90° panjang busur (variasi tebal) |
| 7 | | B | 0.2t | 785mm x 488 mm | 90° panjang busur (variasi tebal) |
| 8 | | C | 0.3t | 785mm x 488 mm | 90° panjang busur (variasi tebal) |
| 9 | | D | 0.4t | 785mm x 488 mm | 90° panjang busur (variasi tebal) |
| 10 | | E | 0.5t | 785mm x 488 mm | 90° panjang busur (variasi tebal) |

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil simulasi dengan berbagai variasi diatas didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Hasil simulasi dan validasi pipa polos

Hasil perhitungan dengan rumus Barlow yang tercantum dalam ASME B318 [7] dan dimodifikasi dengan Goodall formula for elbow pipe didapatkan hasil sebagai berikut:

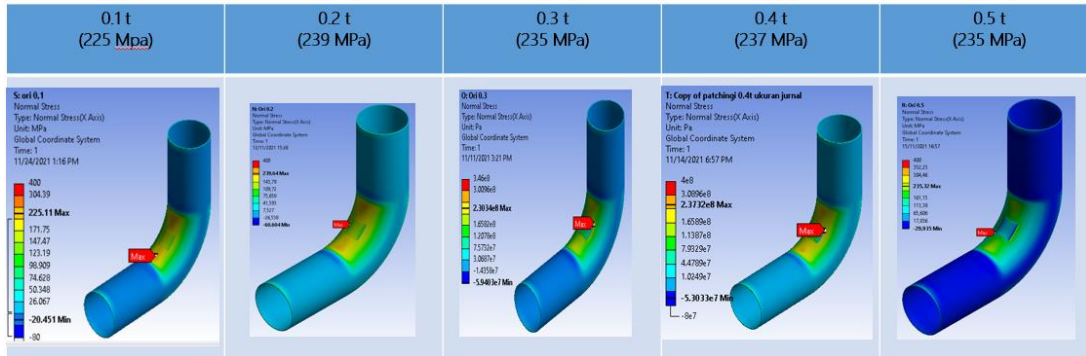
| | Tegangan Hoop (MPa) | Hasil Simulasi |
|---|---------------------|----------------|
| Simulasi | 208.07 | |
| Perhitungan dengan rumus Barlow yang tercantum dalam Modified ASME B318 dan modifikasi Goodall formula for elbow pipe | 201.39 | |
| % perbedaan | 3,31% | |

Gambar 2. Hasil perhitungan standard dan simulasi.

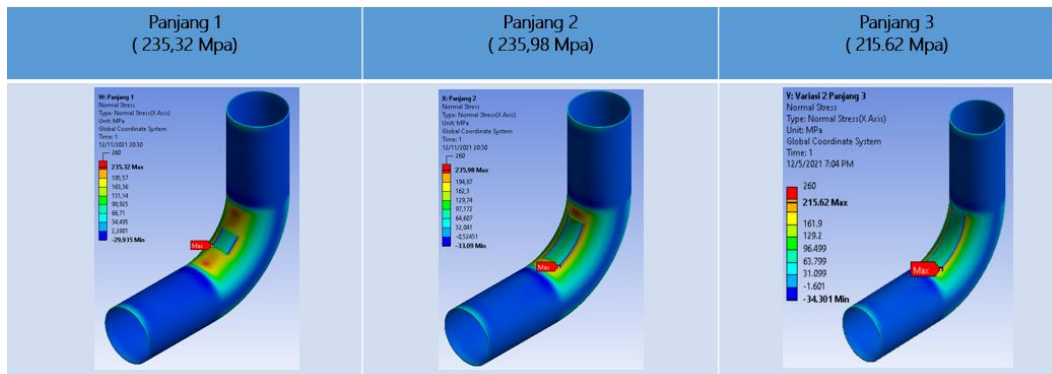
Berdasarkan hasil simulasi pipa polos dan perhitungan rumus standar didapatkan deviasi sebesar 3,31%. Artinya dari nilai tersebut model ini tervalidasi dan bisa dilanjutkan dengan variasi berikutnya.

2. Hasil simulasi pipa yang telah dimodifikasi

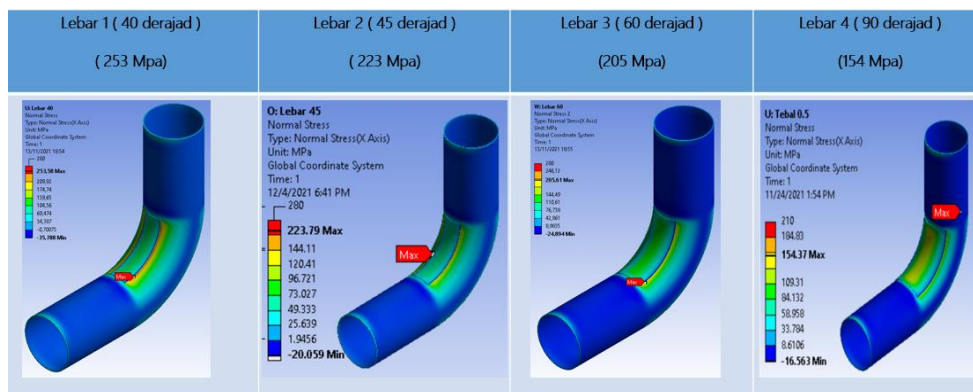
Dengan menggunakan model dasar pipa *elbow* polos dan dan variasi yang telah ditentukan seperti pada Tabel III, maka didapatkan hasil seperti pada Gambar 3-6:



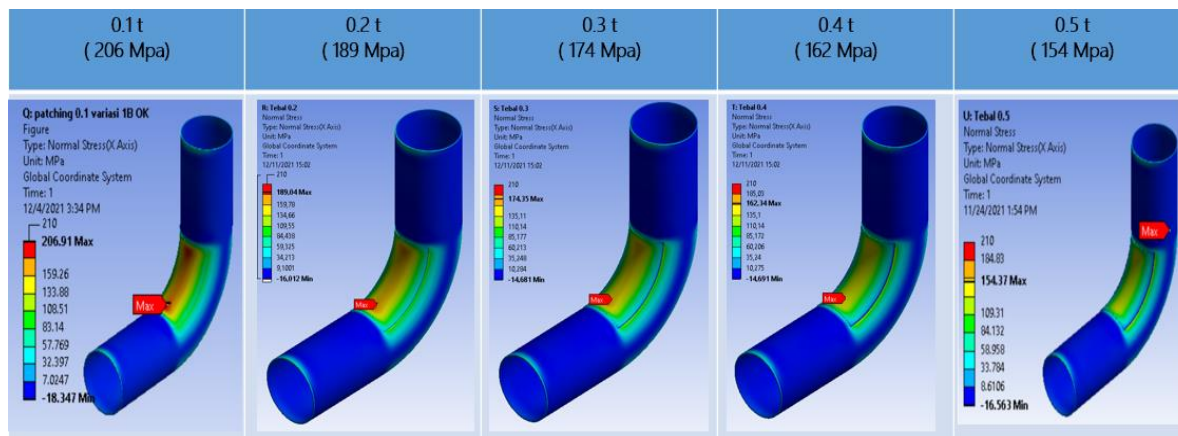
Gambar 3. Simulasi Variasi 1.



Gambar 4. Simulasi Variasi 2.



Gambar 5. Simulasi Variasi 3.



Gambar 6. Simulasi Variasi 4.

Berdasarkan hasil simulasi variasi 1 dan 2 didapatkan nilai tegangan maksimalnya masih di atas tegangan pipa polosnya. Hal ini kemungkinan karena terjadi pergeseran konsentrasi tegangan dari pipa polosnya dan belum tertutup atau diluar area patch yang dipasang. Dari hasil simulasi variasi 3 dan 4 terlihat nilai tegangan maksimalnya sudah konvergen mengalami penurunan. Hal ini menandakan sisi kritikal pada pipa *elbow* tertutup oleh patch dengan efektif sehingga nilai tegangan maksimalnya mengalami penurunan yang cukup signifikan.

Karakteristik pipa *elbow* dapat mengalami perubahan setelah mendapatkan modifikasi penambahan ketebalan pada sisi intrados dengan geometri yang sesuai. Dalam penelitian karakter dari nilai tegangan maksimal dan konsentrasi tegangan pipa *elbow* pada sisi intrados dapat bergeser berkurang. Harapannya hal ini dapat dijadikan referensi atau pertimbangan kedepan terutama pada saat proses fabrikasi pipa ini.

Berdasarkan tabel diatas ukuran yang paling bagus digunakan pada pipa *elbow* adalah patch dengan ukuran 90⁰ panjang busur untuk lebar dan panjang, serta tebal 0.5t. Dari simulasi yang didapat dengan ukuran tersebut bisa mendapatkan nilai tegangan yang paling rendah yaitu 154 MPa atau sekitar 26 % dari tegangan pipa induk.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi ANSYS terhadap pipa *elbow* yang dilakukan penguatan dengan penambahan patch pada titik yang terjadi konsentrasi tegangan dan aliran fluida paling tinggi, dapat diambil kesimpulan bahwa distribusi tegangan akan berubah atau menyebar jika pipa ditambah *reinforcement patch* dengan ukuran yang sesuai. Untuk mengetahui ukuran yang sesuai harus diketahui distribusi tegangan pada pipa induknya, sehingga tegangan dominan pada pipa *elbow* bisa tertutup dengan ukuran *patch* dan tegangan akan menurun dan erosi internal karena fluida dapat ditahan.

Geometri patch yang tepat dan sesuai bisa menggeser dan menurunkan titik *stress maximum* pada pipa *elbow*, sehingga diharapkan pipa *elbow* mempunyai umur pakai yang lebih lama dibandingkan pipa yang tanpa penguatan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Departemen Teknik Mesin dan Industri Universitas Gadjah Mada dan PT Chevron Pacific Indonesia yang telah memberikan fasilitas penelitian dan dukungan finansial untuk menyelesaikan penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Iqbal Faisal, Agatha billie dan Faishal Rahman yang telah membantu pelaksanaan penelitian.

REFERENSI

- [1] Wang, Q., Zhou, W., 2019, A new burst pressure model for thin-walled pipe elbows containing metal loss corrosion defect, *Journal Engineering Structures*, Vol. 200, 109720.
- [2] Wang, Q., Zhou, W., 2019, Burst pressure models for thin-walled pipe elbows, *International Journal of Mechanical Sciences*, Vol. 159, 20–29.
- [3] Antaki, G.A., 2005, *Piping and Pipeline Engineering*, Marcel Dekker, New York.
- [4] Bao, S., Liua, Y., Maoa, J., Gea, R., Lia, X., 2019, Numerical and experimental investigation on limit load of elbow with local thinning area, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, Vol.172, 414–422. Beer, F.P., Johnston Jr, E.R., DeWolf, J.T., dan Mazurek, D.F., 2012, *Mechanics of Material*, Edisi 7, McGraw Hill, New York.
- [5] Muthanna, B.G.N., Bouledroua, O., Benziane, M.M., Meliani, H., Pluvinage, G., Suleiman, R.K., 2019, Numerical study of semi-elliptical cracks in the critical position of pipe elbow, *Frattura ed Integrità Strutturale*, Vol. 49, 463-477.
- [6] Muthanna, B.G.N., Bouledroua, O., Benziane, M.M., Setvati, M.R., Djukic, M.B., 2020, Assessment of corroded API 5L X52 pipe elbow using a modified failure assessment diagram, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, Vol. 190, 104291.
- [7] ASME B31.8, 2014, *Gas Transmission and Distribution Piping System*, *ASME Code*.