

Analisis Aliran Fluida *Fuel oil* Sistem Pipa Kapal *Tugboat 30 Meter*

Kharisma Al Quarisbi^{1*}, Mufti Fathonah Muvariz * Annisa Fyona *

* Politeknik Negeri Batam

Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan

Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam29461, Indonesia

¹E-mail: Risbibangka16@gmail.com

Abstrak

Dalam industri perkapalan kinerja dan keandalan sistem sangat penting untuk operasi yang sukses, masalah yang berkaitan dengan stres pipa akibat penggunaan *bending* dan *elbow* menjadi fokus utama. Dalam penelitian ini, data simulasi numerik dan pengukuran empiris digunakan untuk membandingkan kinerja kedua komponen tersebut. Penelitian ini didorong untuk mengevaluasi performa pipa *elbow* dan pipa yang *dibending* pada sudut 45 derajat dalam mengalirkan fluida bahan bakar. Analisis ini mencakup kecepatan aliran fluida, pola aliran, tegangan dan deformasi pada pipa. Simulasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis CFD (Computational Fluid Dynamics) dengan menggunakan software ANSYS. Simulasi CFD untuk analisis kekuatan pipa dan *elbow* 45 derajat melibatkan persiapan geometri, pembuatan mesh, setup CFD dengan definisi fisika, dan eksekusi simulasi untuk mendapatkan hasil akurat.

Kata kunci: *Pipa, Elbow, Bending*

Abstract

In the shipping industry system performance and reliability are critical for successful operation, issues relating to pipeline stress due to the use of bends and *elbows* are a major focus. In this study, numerical simulation data and empirical measurements are used to compare the performance of both components. This research is driven to evaluate the performance of *elbow* pipes and pipes bent at an angle of 45 degrees in conveying fuel fluid. The analysis includes fluid flow velocity, pipe pressure to fuel fluid, flow pattern, and stress. The simulation used in this research is CFD (Computational Fluid Dynamics) analysis using Ansys software. CFD simulation for pipe strength analysis and 45 degree *elbow* using ANSYS involves geometry preparation, mesh generation, CFD setup with physics definition, and simulation execution to obtain accurate results.

Keywords : *Pipe, Elbow, Bending*

1 Pendahuluan

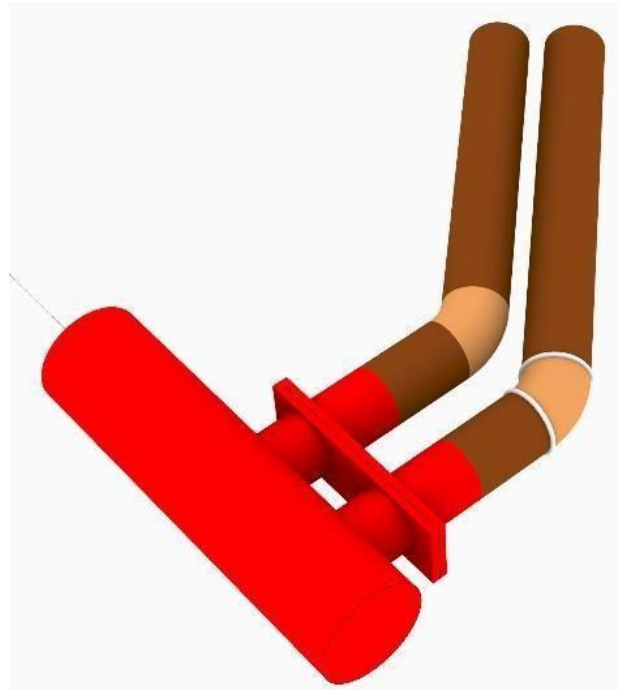
Pipa pada kapal *tugboat* adalah bagian penting dari sistem transfer fluida yang memungkinkan kapal untuk mengirim dan menerima bahan bakar, air, dan bahan kimia lainnya dari kapal lain atau platform lepas pantai yang dilayani. Pipa ini dirancang khusus untuk menahan kondisi lingkungan laut yang korosif dan tekanan tinggi. Diletakkan dengan hati-hati di dalam struktur kapal, pipa ini mengikuti standar keselamatan yang ketat dan mematuhi regulasi industri. Pipa *bending* dan *elbow* yang memungkinkan perubahan arah aliran dalam sistem, sering kali menghadapi beban *bending* yang signifikan selama operasi normal kapal.

Proses fabrikasi pipa *elbow* pada kapal *tugboat* Pipa *elbow* yang di las umumnya menggunakan siku atau *elbow* yang telah diproduksi dengan sudut lengkung tetap. *Elbow* tersebut kemudian di las langsung pada pipa utama. Hal ini menyebabkan pipa *elbow* memiliki sudut lengkung yang sudah ditentukan dan sulit untuk diubah setelah proses pengelasan. Namun, pipa *elbow* yang di las memiliki risiko kebocoran di area sambungan las, yang sangat bergantung pada kualitas dan kekuatan pengelasan yang dilakukan. Sedangkan proses fabrikasi pipa dengan *bending* pembengkokan pipa menggunakan mesin khusus memungkinkan penyesuaian sudut lengkung sesuai desain yang diinginkan. Fleksibilitas ini memungkinkan pengaturan sudut lengkung secara tepat selama proses, memenuhi

kebutuhan desain dengan baik. Pipa yang dibengkokkan cenderung memiliki risiko kebocoran yang rendah karena tidak terdapat sambungan las di area lengkung, kecuali jika terjadi cacat pada proses pembengkokan.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Bintang Nurcahyo membahas tentang kekuatan *elbow* dengan sudut 90 derajat dalam beberapa kondisi beban menggunakan metode analisis struktural komputasi +++++. Demikian pula, penelitian yang dilakukan oleh Adyatma Surya membahas tentang kekuatan pipa pada sudut 30 derajat dengan menggunakan material pipa galvanis menggunakan metode elemen hingga [2]. Sementara itu penelitian yang dilakukan oleh Anggita Firda Ratnasari membahas tentang kegagalan struktural pipa pada sudut 120 derajat akibat tekanan pada pipa menggunakan metode CFD (Computational Fluid Dynamics) [3]. Namun dari penelitian sebelumnya belum pernah membahas tentang kecepatan aliran fluida, pola aliran, tegangan pada pipa dan deformasi pada pipa dengan sudut 45 derajat. Oleh karena itu penelitian ini akan membahas tentang analisis fluida kekuatan pipa antara *bending* dan *elbow* pipa cabon steel pada sudut 45 derajat kapal *tugboat*.

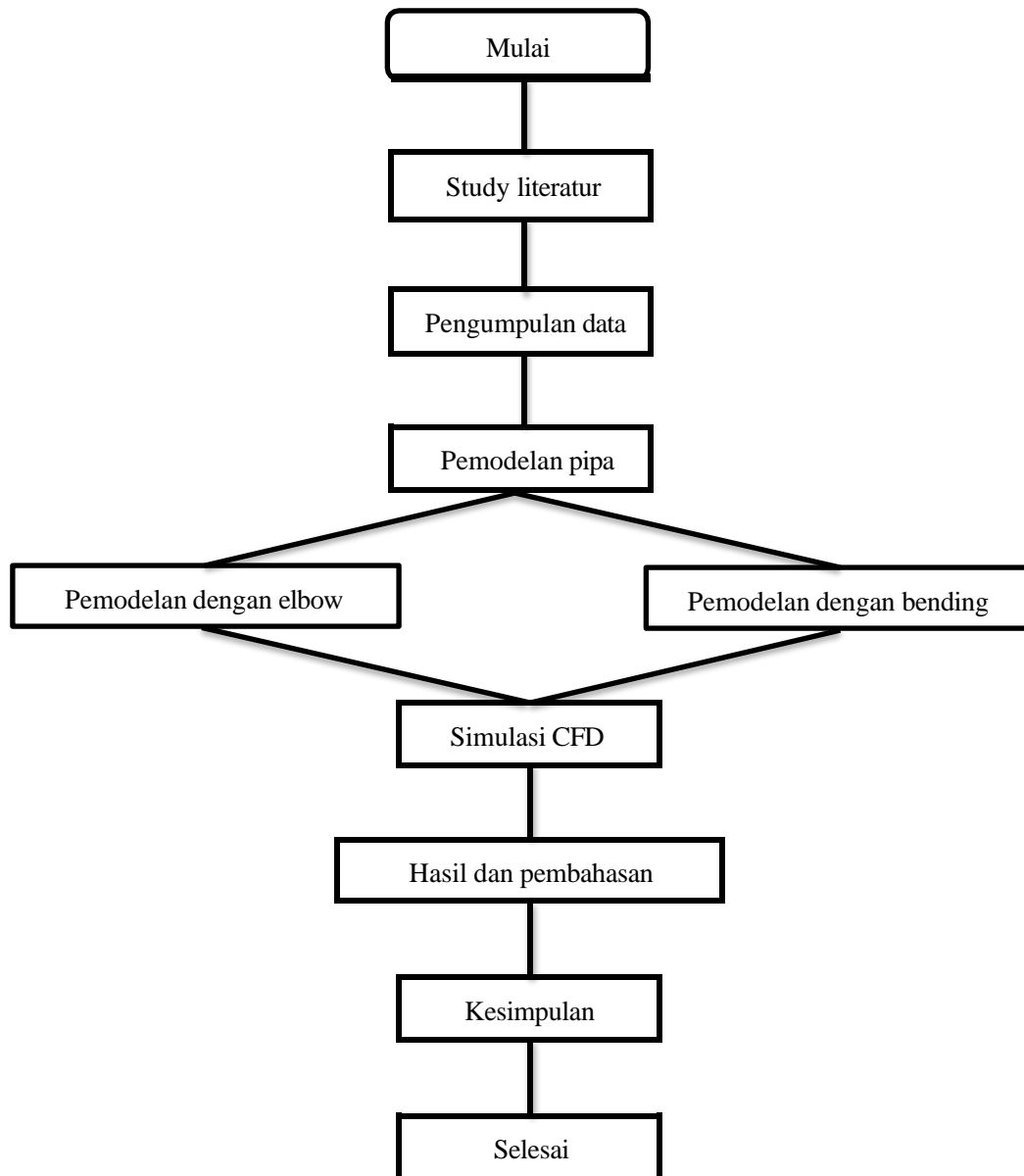
Penelitian ini menggunakan metode CFD (Computational Fluid Dynamics). Metode ini menggunakan pendekatan berbasis komputer untuk menganalisis kekuatan dan kestabilan struktural pipa dan *elbow*. Simulasi komputer akan dilakukan menggunakan perangkat lunak simulasi struktural untuk menganalisis tegangan, deformasi, dan perilaku material pada pipa pada sudut 45 derajat di bawah berbagai kondisi beban. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi performa pipa *elbow* dan pipa yang *dibending* pada sudut 45 derajat dalam mengalirkan fluida bahan bakar. Analisis ini mencakup kecepatan aliran fluida, pola aliran, tegangan dan deforms pada pipa.



Gambar 1. *Pipe elbow dan bending*

2 Metodologi Penelitian

Penyusunan penelitian Tugas Akhir ini didasarkan pada sistematika metodologi yang diuraikan berdasarkan urutan pada flow chart yang dilakukan mulai dari awal penelitian sampai selesai sehingga diperoleh kesimpulan akhir. Penelitian ini dimulai dengan merancang sebuah metodologi yang terstruktur untuk menganalisis kekuatan pipa pada kapal *tugboat* berukuran 30 meter, khususnya fokus pada pipa yang mengalami *bending* dan *elbow* pada sudut 45 derajat. Metode ini bertujuan untuk memahami bagaimana gaya dan tekanan bekerja pada pipa-pipa tersebut dalam situasi operasional yang umum terjadi di tengah laut.



Gambar 2. *Flow chart* Penelitian

Gambar 2 memberikan visualisasi proses penelitian mulai dari lokasi dan obyek penelitian, teknik pengumpulan data, analisa dan pembahasan

Teknik pengumpulan data

Penelitian ini dilakukan di kampus politeknik negeri batam, kepulauan riau, dari bulan Januari hingga sekarang untuk mempelajari proses CFD (*Computational Fluid Dynamics*).

Study literatur

Studi literatur untuk analisis kekuatan pipa kapal *tugboat* melibatkan penelusuran berbagai referensi yang relevan, termasuk jurnal ilmiah, artikel, dan publikasi terkait. Teori-teori mekanika bahan yang relevan juga dipelajari untuk mendukung pemahaman tentang faktor-faktor yang memengaruhi kekuatan pipa[4].

Pengumpulan data observasi

Pengumpulan data observasi menjelaskan bahwa teknik pengumpulan data melalui observasi memungkinkan peneliti untuk mendapatkan pemahaman mendalam tentang fenomena yang dipelajari, dengan mencatat secara langsung detail-detail data yang penting dalam konteks penelitian[5].

Table 1. Data spesifikasi pompa *fuel oil* sistem

Input Performa Pompa			
Item	Unit	Nilai	Remark
Debit	Kg/s	1,21578	Flow rate 5 m ³ /s
Tekanan	Pa	300000	3 bar
Property Fluida Minyak			
Item	Unit	Nilai	-
Temp	Deg C	30	-
Densitas	Kg/m ³	875	-
Viskositas	Kg/m ²	0.0053	-

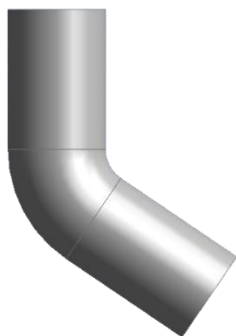
Table 1 . Data ukuran dimensi pipa *carbon steel*

NPS	DN	OD	IDE	SCH 40	Length
¾	20	26,7	20,96	2,87	100 mm
1	25	33,4	26,64	3,38	100 mm

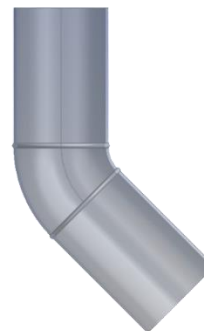
Penyajikan data spesifikasi performa pompa *fuel oil* sistem dan ukuran dimensi pipa *carbon steel* yang relevan untuk studi ini. Pada bagian input performa pompa, terdapat beberapa parameter kunci yang dicatat. Pertama, debit pompa dinyatakan dalam kilogram per detik (Kg/s) dengan nilai 1,21578, yang setara dengan laju aliran 5 meter kubik per detik (m³/s). Selanjutnya, tekanan pompa diukur dalam Pascal (Pa) dengan nilai 300,000, yang setara dengan tekanan 3 bar. Data properti fluida minyak yang digunakan dalam sistem juga disajikan, termasuk temperatur fluida yang adalah 30 derajat Celsius, densitas fluida sebesar 875 kilogram per meter kubik (Kg/m³), dan viskositas fluida sebesar 0.0053 kilogram per meter detik (Kg/m²).

Pemodelan pipa

Penelitian ini menggunakan 2 pemodelan pipa pada analisis fluida kapal *tugboat*. Pertama pemodelan pipa dengan proses *bending* pada kapal *tagboat*. Proses *bending* atau lengkungan pipa adalah teknik fabrikasi di mana pipa ditekuk atau diberi lengkungan untuk mengubah arahnya. Keduannya pemodelan pipa dengan menggunakan *elbow* pada kapal *tagboat*. Pemodelan pipa dengan *elbow* adalah proses memperkirakan aliran fluida melalui sistem pipa yang memiliki bagian lengkung atau sudut tajam yang disebut *elbow*.



(A)



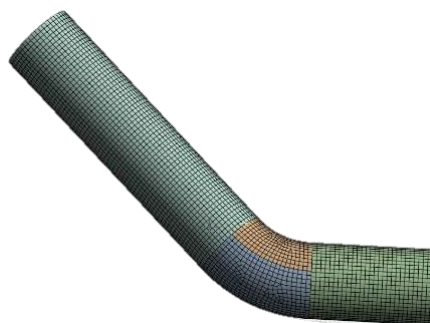
(B)

Gambar 3. Pemodelan dengan proses *bending*

Pemodelan kedua jenis konfigurasi pipa ini penting untuk analisis kekuatan struktural dan aliran fluida dalam aplikasi praktis, seperti pada sistem pembuangan atau distribusi fluida dalam kapal atau instalasi industri. Analisis ini dapat meliputi simulasi komputer untuk memprediksi tegangan, regangan, dan distribusi aliran fluida di sekitar titik lengkung pipa, yang kemudian digunakan untuk mengevaluasi performa dan keandalan sistem secara keseluruhan.

Pemodelan mesh

Pemodelan mesh dalam ANSYS adalah proses membagi domain simulasi menjadi elemen-elemen kecil untuk analisis numerik yang lebih akurat [6]. Langkah ini dimulai dengan pembuatan geometri model, seperti pipa dengan diameter 26.64 mm. Geometri tersebut kemudian di-mesh, menciptakan grid atau jaringan elemen-elemen yang mendiskretisasi domain. Kualitas mesh sangat penting karena menentukan akurasi dan stabilitas hasil simulasi, terutama pada area dengan perubahan geometris signifikan. Elemen mesh yang lebih kecil di sekitar fitur-fitur kritis dapat meningkatkan resolusi hasil, sedangkan elemen yang lebih besar dapat digunakan di area yang kurang kompleks untuk mengurangi waktu komputasi. Setelah menyelesaikan desain model, langkah berikutnya adalah membuat *mesh* untuk analisis. Data-data yang di gunakan sebagai berikut :



Gambar 5 . Pemodelan *mesh elbow* dan *bending*

Table 2. Data *mesh bending* dan *elbow*

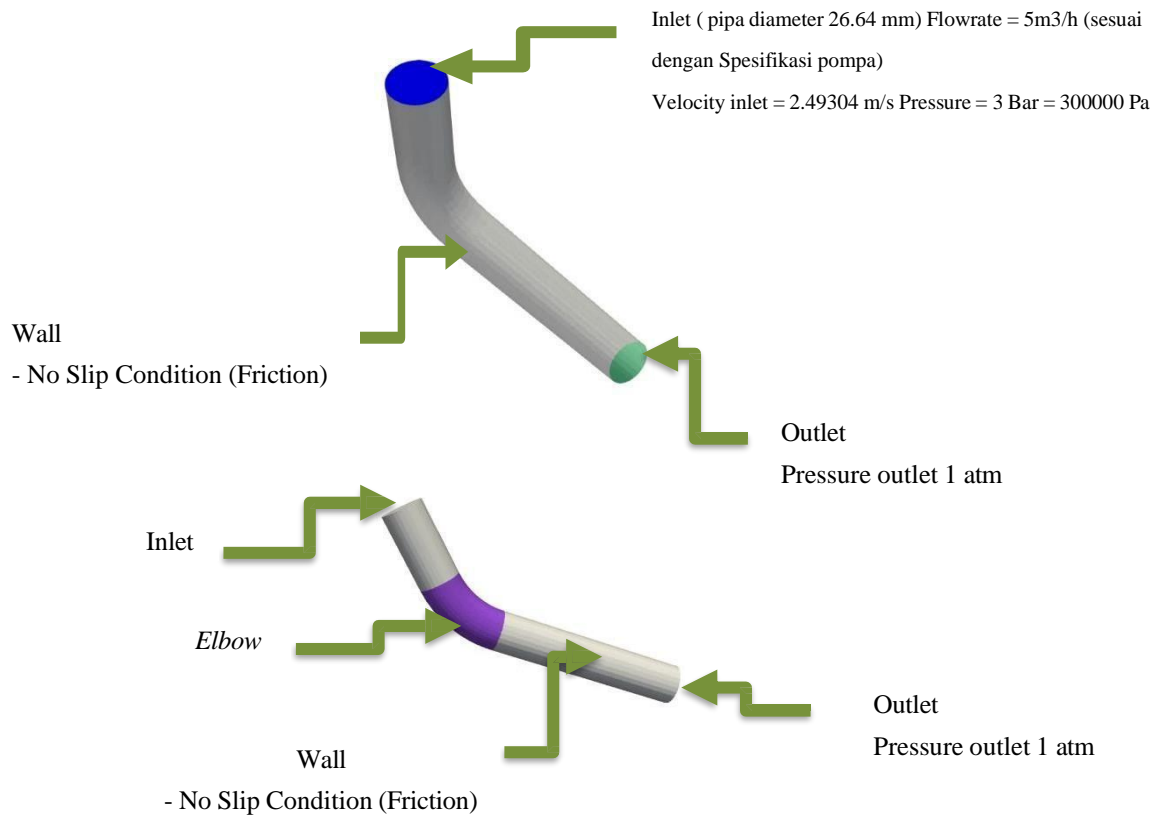
Mesh Information <i>Bending</i>			Mesh Information <i>Elbow</i>		
Detail	Average	Remark	Detail	Average	Remark
Skewness	0.14752	Excellent	Skewness	0.12659	Excellent
Aspect Ratio	15.434	Excellent	Aspect Ratio	13.152	Excellent
Nodes	420402		Nodes	417446	
Element	92534		Element	87627	

Mesh Information *Bending* dan *Elbow* menunjukkan kualitas mesh yang sangat baik dengan skewness masing-masing sebesar 0.14752 dan 0.12659, serta aspect ratio masing-masing sebesar 15.434 dan 13.152, yang semuanya dikategorikan sebagai excellent. Jumlah nodes pada *Bending* adalah 420,402 dan pada *Elbow* adalah 417,446, sedangkan jumlah elements pada *Bending* adalah 92,534 dan pada *Elbow* adalah 87,627. Data ini mencerminkan distribusi elemen yang mendekati bentuk ideal dan resolusi yang cukup tinggi untuk memodelkan geometri kompleks dengan baik, memastikan akurasi dan efisiensi dalam analisis dan simulasi numerik.

Input (Boundary Condition)

Dalam tahap penetapan kondisi batas (boundary condition) pada simulasi ANSYS, batasan fisik dan perilaku sistem yang disimulasikan ditentukan untuk menggambarkan interaksi fluida dengan batas domain simulasi. Kondisi batas

ini mencakup spesifikasi pada titik masuk (inlet) seperti kecepatan atau debit aliran, titik keluar (outlet) seperti tekanan keluar, serta dinding pipa yang biasanya dianggap sebagai dinding tanpa slip. Penetapan kondisi batas yang tepat sangat penting untuk memastikan bahwa simulasi merepresentasikan kondisi nyata secara akurat, memungkinkan prediksi distribusi kecepatan, tekanan, dan parameter aliran lainnya dalam domain simulasi.



Boundary condition dalam ANSYS digunakan untuk merepresentasikan pengaruh eksternal atau pembatasan pada objek yang dianalisis. Contohnya, Fixed Support mencegah semua gerakan pada bagian tertentu model, sementara Displacement mengatur perpindahan translasi dan rotasi pada bagian tertentu model untuk melihat responsnya.

Perhitungan

Dalam perhitungan kecepatan aliran fluida Q adalah kapasitas aliran fluida, yaitu volume fluida yang melewati suatu penampang lintang dalam satu satuan waktu. A adalah luas penampang lintang pipa atau saluran tempat fluida mengalir. v adalah kecepatan aliran fluida. Hubungan antara ketiga variabel ini dapat dinyatakan dengan rumus $v = Q/A$ di mana kecepatan aliran fluida (v) diperoleh dengan membagi kapasitas. Aliran fluida (Q) dengan luas penampang lintang pipa atau saluran (A).

Sedangkan deformasi linier (ϵ) adalah ukuran perubahan relatif dalam panjang suatu material saat dikenakan gaya. Ini dapat dihitung menggunakan rumus $\epsilon = \sigma / E$. Dimana σ adalah tegangan yang bekerja pada material dan E adalah modulus elastisitas material tersebut. Tegangan (σ) adalah gaya per satuan luas yang diterapkan pada material, sementara modulus elastisitas (E) adalah konstanta material yang menggambarkan kekakuannya. Dengan menggunakan rumus ini, kita dapat memahami bagaimana material akan berubah bentuk saat diberi beban tertentu, yang sangat penting dalam analisis dan desain teknik.

Hasil dan pembahasan

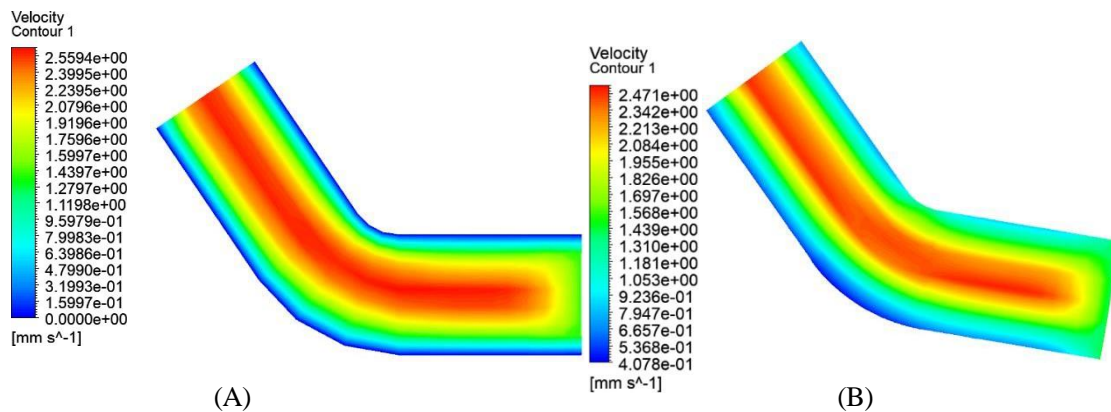
Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan nilai stres dan presur dari pipa serta *elbow* yang digunakan dalam konstruksi kapal *tugboat*. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk memahami perbedaan kecepatan aliran fluida antara penggunaan *elbow* dan *bending* dalam sistem perpipaan kapal. Dengan mengevaluasi faktor-faktor ini,

penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang berharga bagi para insinyur dan perancang kapal dalam merancang sistem perpipaan yang efisien dan andal, serta memastikan integritas struktural dan kinerja hidrodinamis kapal *tugboat* secara keseluruhan.

3 Analisa Data dan Pembahasan

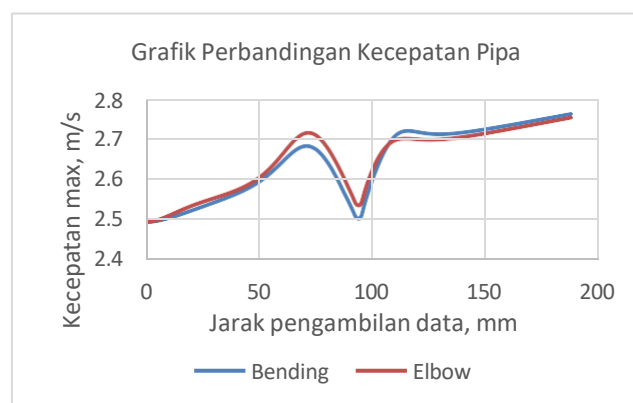
➤ Perbandingan kecepatan kedua pipa

Kontur kecepatan memberikan gambaran visual tentang distribusi kecepatan fluida di sepanjang pipa. Ketika fluida mengalir melalui pipa dengan *bending* 45 derajat, terjadi perubahan arah aliran yang signifikan. Kontur kecepatan menunjukkan bahwa kecepatan fluida meningkat pada bagian dalam tikungan karena efek percepatan sentrifugal, sementara pada bagian luar tikungan terjadi penurunan kecepatan akibat pengurangan momentum[7]. Distribusi kecepatan yang tidak merata ini dapat mengakibatkan area dengan potensi turbulensi dan peningkatan tekanan, yang penting untuk diperhatikan dalam desain dan optimasi sistem perpipaan untuk memastikan efisiensi dan keandalan operasional.



Gambar 6. Simulasi pipa *bending* dan *elbow*

Kecepatan tertinggi terdapat pada tikungan bagian kecil yang ditunjukkan dengan warna merah pada gambar disamping. Sedangkan posisi kecepatan terendah terdapat pada tikungan besar yang direpresentasikan dengan warna biru



Gambar 6. Simulasi pipa *bending* dan *elbow*

Dari hasil perbandingan performa kecepatan menunjukkan bahwa Kecepatan pada pipa *elbow* pada mulanya lebih tinggi dari pada pipa *bending*. Namun pada akhirnya kecepatan pada pipa *bending* lebih tinggi daripada pipa *elbow*. Kedua pipa memiliki performa aliran dengan kondisi aliran yang mirip. Dari hasil simulasi, pipa *elbow* memiliki kecepatan rata-rata aliran fluida lebih tinggi daripada pipa *bending* Kecepatan tertinggi terdapat pada pipa *bending* dengan nilai 2.76244 m/s

Table 3. Data perbandingan kecepatan kedua pipa

Kecepatan		
	<i>Bending</i>	<i>Elbow</i>
Max	2.762244	2.753253
Min	2.493056	2.493104
Average	2.643047	2.648252

Dari hasil perbandingan performa kecepatan menunjukkan bahwa Kecepatan pada pipa *elbow* pada mulanya lebih tinggi dari pada pipa *bending*. Namun pada akhirnya kecepatan pada pipa *bending* lebih tinggi daripada pipa *elbow*. Kedua pipa memiliki performa aliran dengan kondisi aliran yang mirip. Dari hasil simulasi, pipa *elbow* memiliki kecepatan rata-rata aliran fluida lebih tinggi daripada pipa *bending* Kecepatan tertinggi terdapat pada pipa *bending* dengan nilai 2.76244 m/s.

Q adalah kapasitas aliran fluida (volume yang dilewati dalam satu waktu),

A adalah luas penampang lintang pipa atau saluran tempat fluida mengalir,

V adalah kecepatan aliran fluida.

- Luas Penampang (A):

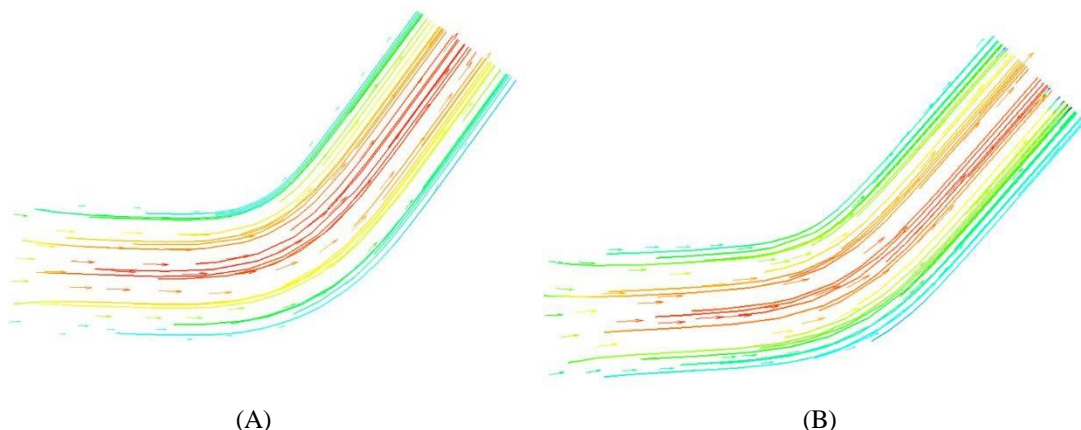
$$A = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \pi \left(\frac{0,0254}{2}\right)^2 = 5,067 \times 10^{-4} m^2 = 0,0005067 m^2$$

- Kecepatan Aliran(v):

$$Q = 5 m^3/h = \frac{5}{3600} m^3/s = 0,00139 m^3/s$$

Dengan diameter pipa $d = 0,0254$ meter (setara dengan 1 inci), hasilnya adalah sekitar $0,0005067 m^2$. Untuk kecepatan aliran v , digunakan persamaan kontinuitas yang menyatakan bahwa $Q = A \cdot v$, Dalam kasus ini, kapasitas aliran Q adalah 5 meter kubik per jam, yang setara dengan 0,00139 meter kubik per detik. Dengan membagi Q dengan A , diperoleh kecepatan aliran sekitar 2,74 meter per detik.

➤ Perbandingan Pola Aliran fluida

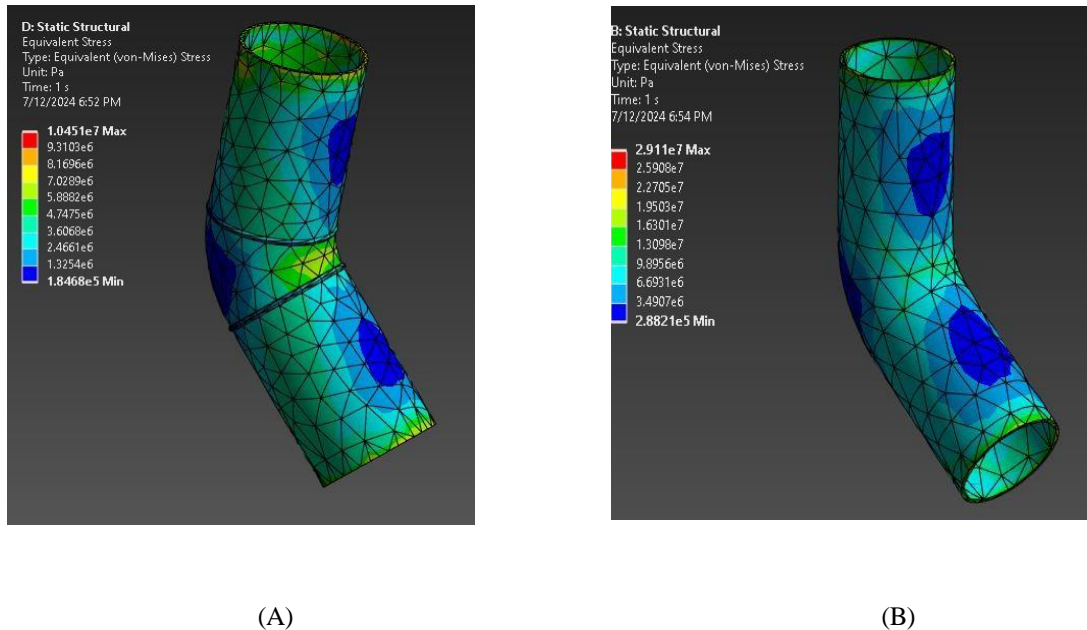


Gambar 8. Pola Aliran fluida *bending* dan *elbow*

Pola aliran fluida pada pipa *bending* dan *elbow* menunjukkan bahwa, pipa *bending* memiliki pola aliran yang lebih rapi dan seragam (streamline) daripada pola aliran pada pipa *elbow* karena Menunjukkan pola aliran yang berimpitan dan acak (Lebih turbulence), seperti pada tikungan *elbow* aliran lebih acak.

➤ Perbandingan nilai tegangan

Analisis tegangan pada ANSYS adalah proses untuk menentukan distribusi tegangan dalam suatu material atau struktur di bawah berbagai kondisi beban menggunakan perangkat lunak simulasi berbasis elemen[8]. Dalam ANSYS, model geometri dari struktur yang akan dianalisis dibuat dan kemudian di-mesh untuk mendiskretisasi domain menjadi elemen-elemen kecil. Selanjutnya, kondisi batas dan beban diterapkan pada model tersebut. Perangkat lunak ANSYS kemudian menyelesaikan persamaan diferensial yang mengatur perilaku material untuk menghitung tegangan, regangan, dan deformasi di seluruh struktur. Hasil analisis ini divisualisasikan dalam bentuk kontur tegangan yang menunjukkan area dengan tegangan tinggi dan rendah, memungkinkan insinyur untuk mengidentifikasi potensi titik lemah atau kegagalan dalam desain dan melakukan optimasi jika diperlukan.



Gambar 9. Tegangan *bending* dan *elbow*

tegangan tertinggi terdapat pada warna merah pada gambar di atas. Sedangkan posisi tegangan terendah terdapat pada presentasikan dengan warna biru

Table 5. Data Tegangan *bending* dan *elbow*

Tegangan		
	<i>Bending</i>	<i>Elbow</i>
Max	3,5886e-6	6.5826e-6
Min	0	8.2283e-7
Rata	3,1898e-7	7.4054e-7

Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai tegangan maksimum pada desain *Bending* lebih kecil daripada Tegangan pada desain *elbow*, nilai tegangan sebesar 0.51004 Mpa. Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai tegangan minimum pada desain *Bending* lebih kecil daripada Tegangan pada desain *elbow*, nilai tegangan sebesar 0.000288 Mpa.

Kekuatan Struktural pada Elbow dan Sambungan Las

Gaya yang bekerja pada elbow atau *bending* :

$$F = \rho \cdot A \cdot v^2 \cdot \frac{1 - \cos(\theta)}{2}$$

- Massa Jenis(ρ): 875 kg/m³

- Luas Penampang (A):

$$A = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \pi \left(\frac{0,0254}{2}\right)^2 = 5,067 \times 10^{-4} m^2$$

- Kecepatan Aliran(v):

$$Q = 5 m^3/h = \frac{5}{3600} m^3/s = 0,00139 m^3/s$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,00139}{5,067 \times 10^{-4}} = 2,74 m/s$$

- Sudut Elbow atau Bending (θ): $45^\circ = \pi/4$ radian

$$F = 875 \cdot 5,067 \times 10^{-4} \cdot (2,74)^2 \cdot \frac{1 - \cos(\pi/4)}{2}$$

$$\cos(\pi/4) = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$F = 875 \cdot 5,067 \times 10^{-4} \cdot 7,5076 \cdot \frac{2 - \sqrt{2}}{4}$$

$$F \approx 7,97 N$$

- Luas Penampang Sambungan Las(A_{las}):

$$A_{las} = \text{Panjang} \times \text{Tinggi} = 2 \times 10^{-3} \times 2 \times 10^{-3} = 4 \times 10^{-6} m^2$$

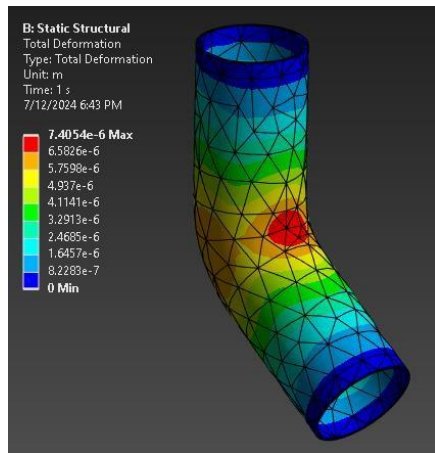
- Tegangan pada Sambungan Las(σ_{las}):

$$\sigma_{las} = \frac{F}{A_{las}} = \frac{7,97}{4 \times 10^{-6}} = 1,9925 \times 10^6 Pa = 1,9925 MPa$$

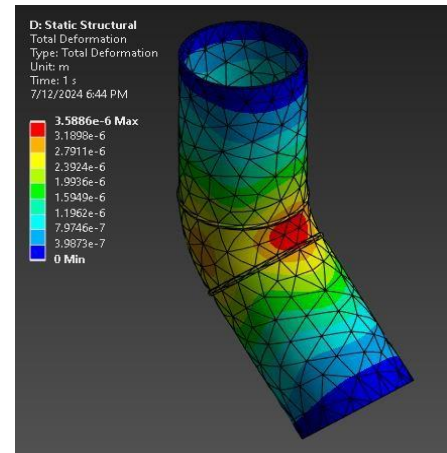
Dari hasil perhitungan, tegangan pada sambungan las-lasan adalah sekitar 1,9925 Mpa untuk pipa dengan elbow.

➤ Perbandingan Deformasi

Analisis deformasi pada sistem pipa sangat penting untuk memastikan keamanan dan efisiensi operasional, terutama dalam aplikasi industri seperti pada kapal *Tugboat*. Dalam konteks ini, pipa digunakan untuk mengalirkan bahan bakar dengan kondisi operasional yang ketat, termasuk tekanan tinggi dan durasi penggunaan yang panjang. Studi ini membahas perbandingan antara dua jenis konfigurasi pipa—pipa yang *dibending* dan pipa yang menggunakan *elbow* 45 derajat dengan sambungan las—untuk mengidentifikasi bagaimana masing-masing konfigurasi mempengaruhi pola aliran dan deformasi struktur pipa. Data yang digunakan dalam analisis ini mencakup dimensi pipa, tekanan aliran, dan karakteristik fluida bahan bakar, dengan tujuan utama untuk menentukan konfigurasi yang lebih efektif dan andal dalam operasional sehari-hari.



(A)



(B)

Gambar 7. Simulasi pipa *bending* dan *elbow*

Deformasi tertinggi terdapat pada warna merah pada gambar di atas. Sedangkan posisi Deformasi terendah terdapat pada presentasikan dengan warna biru

Table 4. Perbandingan tekanan pipa

	Deformasi	
	<i>Bending</i>	<i>Elbow</i>
Max	3,5886e-6	6.5826e-6
Min	0	8.2283e-7
Rata	3,1898e-7	7.4054e-7

Dari hasil simulasi, terlihat bahwa deformasi maksimal pada pipa berada pada posisi *bending* dengan nilaisebesar 0.000132 mm. Ini menunjukkan bahwa titik *bending* adalah area yang paling rentan terhadap deformasi karena konsentrasi tegangan yang terjadi saat pipa dialiri fluida dengan tekanan tinggi. Di sisi lain, deformasi minimal tercatat sebesar 0.0 mm, menandakan bahwa ada beberapa titik pada pipa yang tidak mengalami perubahan bentuk sama sekali, mungkin karena posisi yang jauh dari sumber tekanan atau area dengan dukungan struktural yang baik. Rata-rata deformasi pada pipa *bending* tercatat sebesar 6.23e-5 mm. Nilai ini memberikan gambaran umum tentang bagaimana pipa berperilaku di bawah kondisi operasi yang diberikan, mengindikasikan bahwa secara keseluruhan, pipa mengalami deformasi yang relatif kecil. Hal ini penting untuk memastikan bahwa pipa dapat mempertahankan integritas strukturalnya dan berfungsi dengan baik tanpa mengalami kerusakan yang signifikan

Perhitungan deformasi pada :

Gunakan formula deformasi linear (ϵ) = σ / E di mana:

ϵ adalah strain atau deformasi per satuan panjang.

σ adalah tegangan yang diterapkan pada material (dalam hal ini, *Cabon steel*). E adalah modulus elastisitas material.

Modulus elastisitas (E) untuk *Cabon steel* $\approx 200 \text{ GPa} = 200 \times 10^9 \text{ Pa}$ $\epsilon \approx 1.036 \times 10^6 / 200 \times 10^9 \approx 5.18 \times 10^{-6}$

Deformasi (δ) = $\epsilon * \text{Panjang Pipa} \approx 5.18 \times 10^{-6} * 5 \approx 2.59 \times 10^{-7} \text{ meter} \approx 0.0259 \text{ mm}$

Berdasarkan hasil analisis performa aliran fluida, pipa *elbow* dan pipa *bending* memiliki performa kecepatan dan tekanan yang sama secara umum. Namun, nilai rata-rata kecepatan pada pipa *elbow* lebih tinggi dibandingkan dengan pipa *bending*. Di sisi lain, nilai rata-rata tekanan pada pipa *bending* lebih tinggi dibandingkan dengan pipa *elbow*, menunjukkan bahwa pipa *bending* mampu mempertahankan tekanan lebih baik. Nilai tekanan pada pipa *bending* cenderung lebih tinggi daripada pada pipa *elbow*. Dari segi pola aliran, kondisi vektor aliran fluida pada pipa *bending* menunjukkan pola aliran yang lebih rapi dan seragam (laminar), sementara pada pipa *elbow*

menunjukkan pola aliran yang lebih acak dan saling berimpitan (turbulensi). Hasil analisis tegangan menunjukkan bahwa pipa *elbow* memiliki tegangan yang lebih tinggi dibandingkan dengan pipa *bending*. Deformasi pada pipa *bending* lebih besar daripada pada pipa *elbow*, menunjukkan bahwa intensitas turbulensi pada pipa *elbow* lebih besar dibandingkan dengan pipa *bending*. Dari hasil simulasi ini, dapat disimpulkan bahwa pipa *bending* lebih baik dalam mempertahankan tekanan fluida karena nilai rata-rata tekanan yang lebih tinggi dibandingkan dengan rata-rata tekanan pada pipa *elbow*. Selain itu, pipa *bending* lebih baik dalam menahan kekuatan dibandingkan dengan pipa *elbow*, karena tegangan yang dialami oleh fluida lebih kecil dibandingkan dengan tegangan pada pipa *elbow*.

4 Kesimpulan

Hasil analisis menunjukkan bahwa kecepatan maksimum untuk geometri *bending* adalah 2.762244, sedangkan untuk *elbow* adalah 2.753253. Kecepatan minimum hampir sama untuk kedua geometri, yaitu sekitar 2.493. Rata-rata kecepatan untuk *Bending* adalah 2.643047 dan untuk *elbow* adalah 2.648252, menunjukkan perbedaan yang sangat kecil antara kedua geometri tersebut. Sedangkan analisis tegangan menunjukkan bahwa tegangan maksimum untuk *bending* adalah 0.51004, sedangkan untuk *elbow* sedikit lebih tinggi yaitu 0.54437. Tegangan minimum juga sedikit lebih tinggi pada *elbow* (0.000448) dibandingkan dengan *bending* (0.000288). Rata-rata tegangan untuk kedua geometri hampir sama, dengan *bending* pada 0.1116132 dan *elbow* pada 0.111936. Dan hasil analisis deformasi menunjukkan bahwa deformasi maksimum pada *bending* adalah 0.000137, sedangkan pada *elbow* sedikit lebih rendah yaitu 0.000132. Kedua geometri memiliki deformasi minimum yang sama yaitu 0. Rata-rata deformasi pada *Bending* adalah 6.53E-05, sementara pada *elbow* adalah 6.23E-05, menunjukkan perbedaan yang sangat kecil antara keduanya. Hasil analisis ANSYS menunjukkan bahwa perbedaan antara geometri *bending* dan *elbow* dalam hal kecepatan, tegangan, dan deformasi sangat kecil. Kecepatan dan tegangan maksimum sedikit lebih tinggi pada *Bending*, sementara rata-rata nilai untuk semua parameter hampir sama pada kedua geometri. Deformasi maksimum dan rata-rata juga menunjukkan perbedaan yang sangat kecil, dengan nilai minimum yang sama. Secara keseluruhan, kedua geometri menunjukkan karakteristik mekanis yang serupa berdasarkan hasil analisis ini.

+++++

5 Daftar Pustaka

Penulisan referensi menggunakan urutan angka seperti berikut, dimana nomor urut disesuaikan dengan nomor referensi yang ditulis didalam isi paper.

- [1] Bintang Nurcahyo " Analisis Kekuatan Pipa *Elbow* 90° dengan Variasi D/t pada Pipeline, Akibat Beban Momen *Bending*, , no. 1, pp. 55-62, 2017.
- [2] Adyatma surya, Modeling of Ship Pipeline *Elbow Bending* Strength under Uncertain Loading Conditions," Ships and Offshore Structures, vol. 18, no. 3, pp. 201-208, 2020
- [3] Anggita Firda Ratnasari, "Studi Perbandingan Performa Aliran Fluida antara Pipa Lurus dan *Elbow* pada Sistem Perpipaan: Tinjauan Literatur" hal 8, No. 5, 2020)
- [4] R. Patel et al. 2019. "Experimental Investigation of *Bending* Fatigue Performance of Ship Pipeline *Elbows*," Marine Structures, vol. 25, pp. 112-120,
- [5] J. Smith et al. 2020. "Analyzing the Strength of Ship Pipeline *Elbows* under *Bending* Loads," Journal of Marine Engineering, vol. 15, no. 2, pp. 45-52, 2020.
- [6] A. Johnson, 2018, "Finite Element Analysis of Ship Pipeline *Elbows* under *Bending* Moments," International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, vol. 8, no. 4, pp. 321-330, 2018.
- [7] R. Patel et al., "Experimental Investigation of *Bending* Fatigue Performance of Ship Pipeline *Elbows*," Marine Structures, vol. 25, pp. 112-120, 2019.
- [8] Patton, M. Q. (2014). "Qualitative Research & Evaluation Methods" vol. 8, no. 4, pp. 321-330, 2018.