



ISSN 2338-0322

# JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

## Analisa Tegangan Pada Saluran Pipa Transmisi Gas Bawah Tanah PT. Citra Panji Manunggal Dengan Menggunakan Software Berbasis Elemen Hingga

Hasim Try Fahrudin<sup>1)</sup>, Hartono Yudo<sup>1)</sup>, Wilma Amiruddin<sup>1)</sup>,

<sup>1)</sup>Laboratorium Konstruksi dan Struktur Kapal

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

<sup>\*)</sup>e-mail : hasimtryfahrudin@gmail.com, hartono.yudo@yahoo.com, wisilmiw@yahoo.com

### Abstrak

Besarnya tegangan pipa pada suatu sistem perpipaan menjadi hal yang sangat berpengaruh dalam keamanan operasionalnya, baik instalasi pipa diatas tanah maupun di bawah tanah. Pipa dibawah tanah akan mengalami interaksi dengan tanah, dan yang menjadi perhatian pada pipa bawah tanah adalah pipa crossing atau pipa dibawah jalan. Pipa dibawah permukaan tanah akan kurang mendapatkan perawatan maupun pemeriksaan, maka instalasi pipa harus dipastikan aman sesuai standar yang berlaku. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah instalasi pipa sepanjang  $\pm 38$  km dengan diameter 12 inch. Analisa statis tegangan pada pipa dilakukan dengan software berbasis elemen hingga. Hasil analisa dengan software, pada kondisi operasional diperoleh tegangan maksimum yang bekerja pada instalasi pipa sepanjang  $\pm 38$  km yakni sebesar 100,5 MPa pada node 1180 dengan tegangan ijin sebesar 322,7 MPa berdasarkan ASME B.31.8. Tegangan pipa di bawah permukaan jalan, dari analisa dengan software diperoleh tegangan efektif sebesar 103,5 MPa untuk kedalaman 1,5 m. Pipa pada kedalaman 2,0 m memiliki tegangan 102,4 MPa dan kedalaman 2,5 m memiliki tegangan 101,9 MPa. Tegangan ijin dari perhitungan berdasarkan API 1102 pada kasus ini sebesar 215,9 MPa. Berdasarkan hasil analisa, pada instalasi sistem perpipaan ini aman karena secara keseluruhan besarnya tegangan berada dibawah tegangan ijin.

Kata Kunci : Tegangan, pipa bawah tanah, pipa crossing, analisa statis

### 1. PENDAHULUAN

*Pipeline* telah banyak digunakan di industri dalam bidang minyak dan gas. Transportasi dengan pipa memainkan peran yang tak tergantikan dalam pembangunan ekonomi. Pipa pada umumnya membawa fluida yang dapat membahayakan lingkungan apabila tidak bekerja sebagaimana mestinya. Maka dalam perkembangannya, banyak persyaratan yang harus dipenuhi untuk menjaga keamanan atau mengurangi tingkat kecelakaan [1].

Pipa dengan bentangan yang panjang, pada umumnya instalasi pipa berada dibawah permukaan tanah. Instalasi pipa bawah tanah dapat meningkatkan pemanfaatan ruang bawah tanah, menghemat sumberdaya, memperindah tampilan kota dan menghindari pengaruh dampak dari pipa. [2]. Saluran pipa gas sebagai salah satu arteri vital karena melewati berbagai lokasi yang terdapat struktur jalan, kereta api, jembatan, tanggul, dsb.

Sehingga beban langsung yang bekerja akibat beban kendaraan sangat mempengaruhi struktur pipa yang terkubur di dalamnya. Oleh karena itu perlu dipastikan pipa bekerja dengan normal sesuai persyaratan karena pipa bawah tanah kurang mendapat perawatan maupun inspeksi jika dibandingkan dengan pipa yang berada di atas permukaan tanah [3].

Analisa tegangan pipa atau *pipe stress analysis* adalah untuk menjamin bahwa saluran pipa ini telah sesuai dengan aturan yang berlaku yaitu dibawah *allowable stress*. Tegangan pipa yang berada dibawah *allowable stress* maka sistem perpipaan dapat bekerja dengan normal dan aman.

Studi sebelumnya telah dilakukan oleh Nair,[4] tentang pengaruh beban permukaan tanah sebesar 1,1 MPa terhadap tegangan yang diterima oleh pipa *ASTM A108 Grade B* dengan variasi kedalaman 0,5 m hingga 6 m. Studi lain juga

dilakukan oleh Navani Neya,[5] yaitu penelitian pada pipa API 5L X45 dengan asumsi beban yang bergerak (*moving load*) dari kendaraan dengan variasi material tanah maupun kedalaman tanah. Zhang, [6] melakukan studi pengaruh beban permukaan terhadap deformasi pada pipa bawah tanah. Awahida Widi, [7] melakukan penelitian dengan studi kasus yang diambil adalah pipa baja dengan diameter 20 inch dengan variasi kedalaman 1,8 m, 2,4 m dan 3 m.

Sebagai kesimpulan, penelitian sebelumnya merupakan penelitian yang sejenis dengan pengaruh beban dan metode aplikasi beban tertentu. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian lain dengan nilai beban dan metode aplikasi beban berbeda yang mengacu pada API RP 1102 untuk kasus pipa di bawah perlintasan jalan.

## 2. METODE

Penelitian dilakukan dengan *software* berbasis elemen hingga. Perhitungan tegangan pipa secara keseluruhan baik pipa diatas tanah maupun dibawah tanah, dilakukan dengan *software* khusus perpipaan. Hasil tegangan maksimum akan dilakukan validasi menggunakan *software* sejenis dan validasi manual berdasarkan ASME B.31.8. Pipa dibawah perlintasan jalan atau pipa *crossing*, analisa dilakukan dengan simulasi *software* kedua. Tegangan dari hasil simulasi *software* akan dilakukan validasi secara manual sesuai standar API RP 1102.

### 2.1. Objek Penelitian



Gambar 1. Pipa Gas PT.CPM

Data *pipeline* pada tugas akhir ini diperoleh dari PT. Citra Panji Manunggal (CPM), selaku

perusahaan kontraktor dibidang *piping*. Studi kasus yang diambil yaitu pada saluran pipa transmisi gas bawah tanah dari *pig launcher* ke *pig receiver* untuk pembangkit listrik. Pipa dengan diameter luar 12 inch ini, terbentang sepanjang  $\pm 38$  km dari Kuala Gasip hingga Tuah Negeri pada kedalaman timbunan 1,5 meter, dapat dilihat pada Gambar 1. Tabel 1, mendeskripsikan tentang data spesifikasi material pipa yang digunakan pada instalasi ini. Instalasi pipa akan beroperasi pada kondisi tertentu. Data kondisi operasional tersebut dapat dilihat pada Tabel 2. Analisa pipa bawah tanah, diperlukan data pendukung atau data lingkungan. Deskripsi kondisi lingkungan pada instalasi pipa ini dijelaskan pada Tabel 3.

Tabel 1. Data Material Pipa

Deskripsi	Keterangan
Material	API 5L X52
Berat Pipa	7850 kg/m <sup>3</sup>
Diameter Luar	323,85 mm
Ketebalan Pipa	12,7 mm
SMYS	360 MPa
SMTS	460 MPa
Modulus Elastisitas	207 x 10 <sup>3</sup> MPa
Poisson Ratio	0,3

Tabel 2. Data Operasional Pipa

Deskripsi	Keterangan
Tekanan Internal	66,2 MPa
Suhu Fluida	41 °C
Berat Fluida	39 kg/m <sup>3</sup>
Suhu Lingkungan	20 °C
Desain Faktor	0.6

Tabel 3. Data Material Tanah

Deskripsi	Keterangan
Tipe Tanah	Clayey Silt
Berat Tanah	1855 kg/m <sup>3</sup>
Modulus Elastisitas	95 Mpa
Poisson Ratio	0,35

### 2.2. Tegangan Pada Pipa

Penentuan tegangan pipa, diperlukan standar atau regulasi yang digunakan sebagai acuan dalam perhitungan. Pada kasus ini menggunakan ASME B.31.8 untuk regulasi pipa transmisi gas [8].

#### a. Axial Stress

Tegangan aksial diperoleh dari beban yang bekerja pada arah memanjang pipa. Tegangan aksial dihitung menggunakan persamaan 1.

$$\sigma_a = \frac{Fa}{A} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (1)$$

Dimana,  $F_a$  adalah gaya aksial (N) dan  $A$  adalah luas diameter dalam pipa ( $\text{mm}^2$ ).

#### b. Hoop Stress

*Hoop Stress* berasal dari tekanan dalam pipa. Tekanan bekerja terhadap ketebalan dinding pipa yang besarnya sama dengan tekanan dari fluida. *Hoop stress* dihitung menggunakan persamaan 2.

$$\sigma_h = \frac{PD}{2t} (N/\text{mm}^2) \quad (2)$$

Dimana  $P$  adalah tekanan internal ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ),  $D$  adalah diameter luar pipa (mm) dan  $t$  adalah ketebalan pipa (mm).

#### c. Bending Stress

Tegangan diperoleh karena adanya momen lentur pada pipa akibat berat pipa maupun berat fluida. *Bending Stress* dihitung menggunakan persamaan 3.

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} (N/\text{mm}^2) \quad (3)$$

Dimana  $M$  adalah momen pada pipa (N.m) dan  $Z$  adalah modulus *cross section* pipa ( $\text{mm}^3$ ).

### 2.3. Perhitungan API RP 1102

Pipa bawah tanah akan mendapat berbagai beban yaitu beban dari operasional pipa itu sendiri dan menerima beban yang berasal dari permukaan tanah. Beban pada permukaan tanah, salah satunya adalah beban akibat kendaraan di jalan dan juga beban akibat kereta api [9]. Perhitungan tegangan pada pipa bawah tanah akibat beban kendaraan atau biasa disebut dengan pipa *crossing* dapat dilakukan dengan simulasi *software* maupun dihitung secara manual. Perhitungan secara manual dapat menggunakan standar API RP 1102 dengan rumus sebagai berikut :

#### a. Tegangan akibat beban internal

Dinding pipa akan mendapatkan tekanan baik merata pada dinding pipa maupun searah panjang pipa yang diakibatkan adanya fluida yang mengalir pada pipa. Tegangan akibat beban internal dapat dihitung menggunakan Persamaan 4.

$$S_{Hi} = \frac{P(D - t_w)}{2 \cdot t_w} (N/\text{mm}^2) \quad (4)$$

Dimana  $P$  adalah tekanan internal ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ),  $D$  adalah diameter luar pipa (mm) dan  $t_w$  adalah ketebalan dinding pipa (mm)

#### b. Tegangan akibat beban tanah

Pada pipa terkubur akan menerima beban tanah. Beban tanah merupakan beban dari tanah yang berada diatas pipa. Besarnya beban berbanding lurus dengan berat jenis tanah. Tegangan akibat beban tanah dapat dihitung menggunakan Persamaan 5.

$$S_{He} = K_{He} B_e E_e \gamma D \quad (5)$$

Dimana  $K_{He}$  adalah faktor kekakuan dari beban tanah,  $B_e$  adalah faktor penimbunan untuk beban tanah dan  $E_e$  adalah faktor *excavation* untuk beban tanah,  $\gamma$  adalah berat tanah dan  $D$  adalah diameter luar pipa.

#### c. Tegangan Circumferential

Tegangan *Circumferential* merupakan tegangan akibat beban kendaraan yang terjadi pada *longitudinal joint*. Beban kendaraan direkomendasikan untuk ditambahkan faktor *impact (F)* pada tingkat kedalamannya. Tegangan *Circumferential* dihitung menggunakan Persamaan 6.

$$\Delta S_{Hh} = K_{Hh} G_{Hh} R L F_i \quad (6)$$

Dimana  $K_{Hh}$  adalah faktor kekakuan tegangan *circumferential*,  $G_{Hh}$  adalah faktor geometri tegangan *circumferential*,  $R$  adalah faktor tipe jalan,  $L$  adalah faktor *axle configuration* dan  $F_i$  adalah faktor *impact*.

#### d. Tegangan Longitudinal

Tegangan *longitudinal* merupakan tegangan dengan arah sejajar sumbu pipa. Tegangan *longitudinal* untuk pipa di bawah perlintasan jalan dihitung menggunakan Persamaan 7.

$$\Delta S_{Lh} = K_{Lh} G_{Lh} R L F_i \quad (7)$$

Dimana  $K_{Lh}$  adalah faktor kekakuan tegangan *longitudinal*,  $G_{Lh}$  adalah faktor geometri tegangan *longitudinal*  $R$  adalah faktor tipe jalan,  $L$  adalah faktor *axle configuration* dan  $F_i$  dan faktor *impact*.

#### e. Tegangan Efektif

Tegangan efektif merupakan kesatuan dari berbagai macam jenis tegangan di atas. Besarnya tegangan dapat dihitung menggunakan Persamaan 8.

$$S_{eff} = \sqrt{\frac{1}{2} [(S_1 - S_2)^2 + (S_2 - S_3)^2 + (S_3 - S_1)^2]} \quad (8)$$

Dimana  $S_1$  adalah tegangan *circumferential* maksimum,  $S_2$  adalah tegangan *longitudinal*

maksimum dan  $S_3$  adalah tegangan *radial* maksimum.

f. **Beban Kendaraan**

Berdasarkan API 1102, kendaraan dibedakan menjadi dua macam yaitu *single axle load* dan *tandem axle load*. Pembagian beban pada *tandem axle load* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 9.

$$P_t = \frac{\text{Tandem axle load}}{4} \quad (9)$$

g. **Tekanan Permukaan Akibat Kendaraan**

Tekanan yang bekerja pada permukaan akibat kendaraan diasumsikan terjadi pada area kontak antara jalan dengan roda atau ban. Besarnya tekanan yang bekerja dapat dihitung menggunakan Persamaan 10.

$$w = \frac{P_t}{A_p} \quad (10)$$

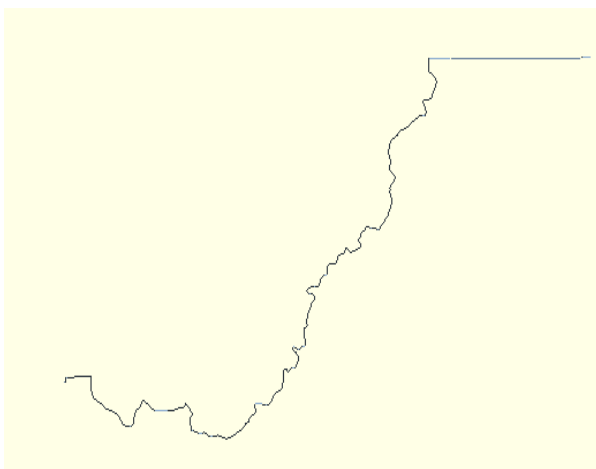
Dimana  $P_t$  adalah beban kendaraan (N) dan  $A_p$  adalah luasan kontak ( $\text{mm}^2$ ).

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Analisa dengan *software* Perpipaan

Penyelesaian masalah struktural pada sistem perpipaan dapat dilakukan menggunakan berbagai *software* khusus perpipaan. Penelitian ini berupa analisa statis dengan menggunakan *software* berbasis elemen hingga.

##### 3.1.1. Permodelan Pipa



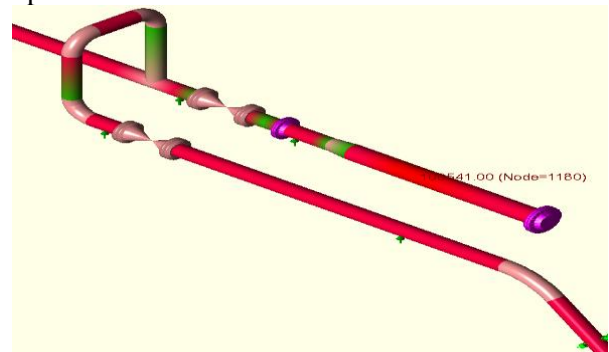
Gambar 2. Visualisasi Pipa Pada *Software*

Model pipa dibuat dengan memasukkan data material maupun operasional pipa yang merujuk pada Tabel 1 dan Tabel 2 ke dalam *Classic Piping Input*. Dimensi pipa yang dimodelkan pada tiap

*node* disesuaikan dengan panjang pipa di pasaran yaitu 12 m. Model pipa bawah tanah dibuat dengan menggunakan *Buried Pipe Modeller*. Material tanah dari Tabel 3 diinputkan pada tahap ini. Gambar 2 merupakan model pipa yang dibuat dengan panjang  $\pm 38$  km.

#### 3.1.2. Hasil Analisa

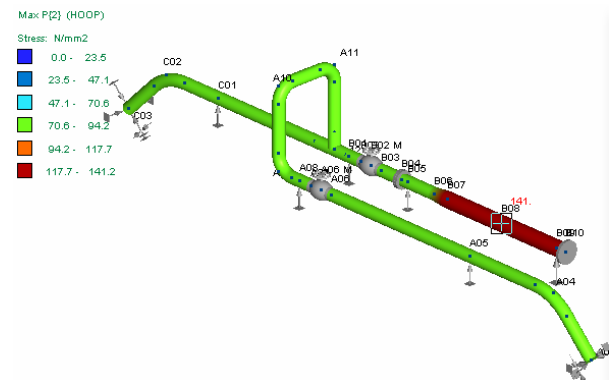
Hasil analisa statis diperoleh nilai tegangan pada pipa seperti pada Gambar 3. Tegangan maksimum dari pipa terdapat pada *node* 1180 pada area *pig launcher* yang berada di atas tanah. Besarnya tegangan adalah 100,5 Mpa pada kondisi operasional.



Gambar 3. Tegangan Maskimum Pada Node 1180

#### 3.1.3. Validasi Hasil dengan *software* sejenis

Validasi dengan *software* sejenis, dilakukan dengan memasukkan data perpipaan sesuai data isometri pipa dan data operasional pipa. Gambar 4 merupakan visualisasi hasil analisa dari *software*, dan diperoleh besarnya tegangan 98,0 MPa.



Gambar 4. Validasi dengan *Software*

#### 3.1.4. Validasi Manual ASME B.31.8

Validasi secara manual diperlukan untuk mengetahui bahwa hasil analisa dengan *software* sudah benar. Perhitungan *axial stress*, *hoop stress* dan *bending stress* merujuk persamaan 1, 2 dan 3 berdasarkan ASME B.31.8 sebagai berikut :

a. Axial Stress

$$\sigma_a = \frac{Fa}{A}$$

$$\sigma_a = \frac{6,62 \times 113951,4}{15741,9}$$

$$\sigma_a = 47,92 \text{ MPa}$$

b. Hoop Stress

$$\sigma_h = \frac{PD}{2t}$$

$$\sigma_h = \frac{6,62 \times 406,4}{4 \times 9,525}$$

$$\sigma_h = 141,22 \text{ MPa}$$

c. Bending Stress

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

$$\sigma_b = \frac{195,097}{0,00115}$$

$$\sigma_b = 1,661 \text{ MPa}$$

Tabel 4. Tegangan Berdasarkan ASME B.31.8

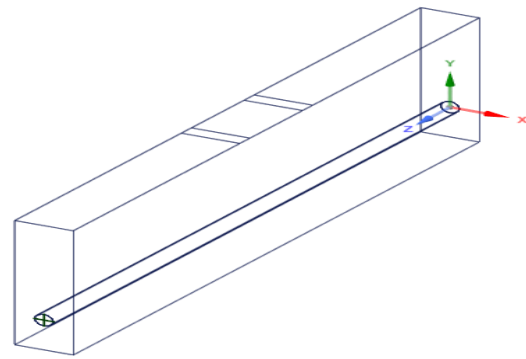
Tegangan	Analisa Software (MPa)	Validasi Manual (MPa)
Axial Stress	42,37	47,92
Hoop Stress	141,23	141,23
Bending Stress	1,68	1,66

Tabel 4 menunjukkan perbandingan hasil dari perangkat lunak dengan perhitungan manual. Tegangan aksial atau *axial stress* memiliki selisih 5,55 MPa. Tegangan radial atau *hoop stress* memiliki nilai yang sama. Tegangan lendut atau *bending stress* memiliki selisih 0,02 MPa. Perbedaan *axial stress* terjadi akibat adanya perbedaan luasan pada software, hal ini dibuktikan bahwa semakin panjang model pipa pada software maka *axial stress*-nya pun ikut berubah. Sedangkan *hoop stress* selalu tetap karena tegangan yang bekerja pada seluruh pipa sama mengikuti tekanan dan diameter luar pipa.

### 3.2. Simulasi Pipa Crossing dengan software

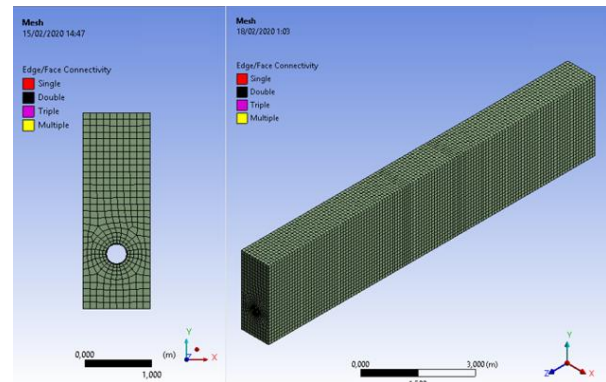
#### 3.2.1. Permodelan Dan Meshing Pipa Crossing

Pipa yang berada dibawah jalan (*pipe crossing*) akan dinalisa menggunakan software berbasis elemen hingga. Gambar 5 merupakan geometri pipa dan tanah yang sudah dimodelkan dengan menggunakan tipe *solid* untuk tanah maupun pipa. Model dibuat menjadi 3 macam yaitu dengan variasi kedalaman pipa dibawah tanah sebesar 1,5 m; 2,0 m; dan 2,5 m.



Gambar 5. Geometri Pipa Crossing

Analisa dengan metode elemen hingga akan dilakukan proses *meshing*. *Meshing* merupakan proses memecah suatu geometri menjadi banyak elemen yang lebih kecil. Hasil *meshing* geometri dapat dilihat seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Geometri Setelah Meshing

#### 3.2.2. Pembebanan

Perhitungan pembebanan pipa *crossing* berupa tekanan internal, beban tanah dan beban kendaraan. Beban kendaraan diambil dari standar API 1102, yakni untuk *tandem axle* besarnya beban adalah 177,9 KN. Sedangkan untuk besarnya tekanan dari kendaraan ke permukaan tanah dihitung berdasarkan Persamaan 9 dan Persamaan 10.

$$P_t = \frac{177,9 \text{ kN}}{4}$$

$$P_t = 44448,2 \text{ N}$$

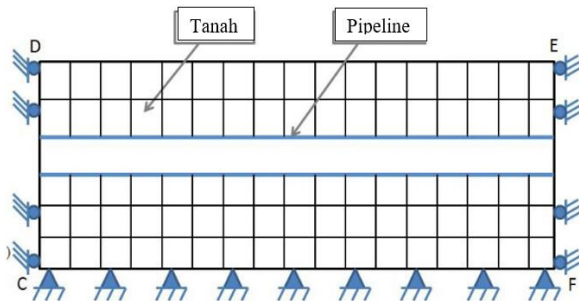
$$w = \frac{44482,2 \text{ N}}{92903 \text{ mm}^2}$$

$$w = 0,479 \text{ N/mm}^2$$

#### 3.2.3. Boundary Condition

Mengacu pada penelitian sebelumnya, Alamtian mengasumsikan bahwa *boundary condition* pada pipa *crossing* untuk pipa yang terkubur menggunakan *roller* pada kedua ujung pipa karena pipa yang terkubur dapat berpindah seiring pergerakan tanah.[10] Navani Neya juga

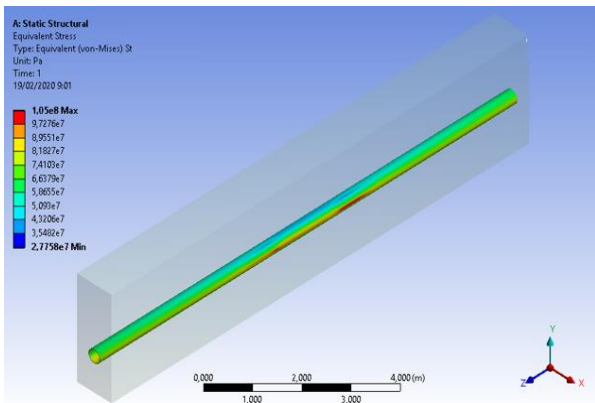
menjelaskan mengenai *boundary condition* dan model interaksi pipa dan tanah. *Boundary Condition* pada permukaan bawah atau dasar pada geometri tanah diasumsikan *fixed* pada sumbu y dan bidang yang yang lain *fixed* pada arah sumbu normalnya. Gambar 7 menunjukkan ilustrasi dari *boundary condition* pada pipa *crossing*.



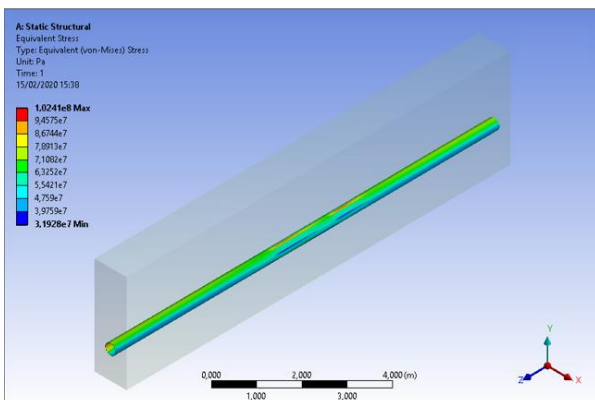
Gambar 7. Ilustrasi *Boundary Condition*

Suatu struktur yang saling bersentuhan akan terjadi suatu interaksi. Pipa didalam tanah akan berinteraksi dengan tanah di sekelilingnya. Interaksi pipa dan tanah pada metode elemen hingga, diasumsikan permukaan antara pipa dan tanah akan terdapat kontak atau interaksi berupa gesekan dan nilai koefisien gaya gesek adalah 0,3. [5].

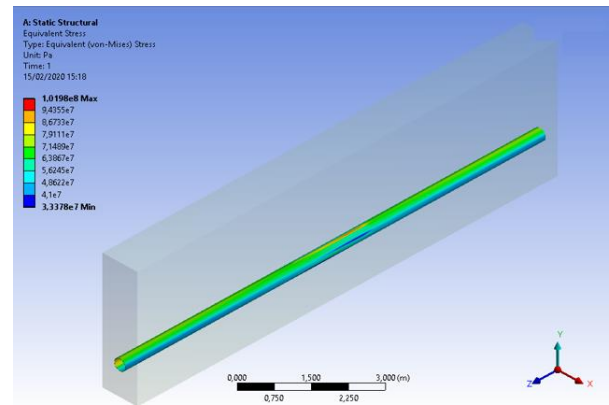
### 3.2.4. Hasil Analisa



Gambar 8. Tegangan Efektif Kedalaman 1,5 m



Gambar 9. Tegangan Efektif Kedalaman 2,0 m



Gambar 10. Tegangan Efektif Kedalaman 2,5 m

Hasil analisa struktural pada software berbasis elemen hingga ditunjukkan pada Gambar 8, Gambar 9 dan Gambar 10. Hasil berupa tegangan *von-misses* pada pipa *crossing* dengan variasi kedalaman. Besarnya nilai tegangan *von-misses* maupun perhitungan dengan API 1102, ditunjukkan pada Tabel 5.

### 3.2.5. Validasi Manual API RP 1102

Perhitungan tegangan pipa *crossing* berdasarkan standar API RP 1102 dengan menggunakan Persamaan 4 hingga 8 pada tiap kedalaman pipa sebagai berikut :

a. Pipa Kedalaman 1,5 m

$$S_1 = S_{He} + \Delta S_{Hh} + S_{Hi}$$

$$S_1 = 4,91 + 9,89 + 92,39$$

$$S_1 = 107,2 \text{ MPa}$$

$$S_2 = \Delta S_{Lh} + E_s \alpha (T_2 - T_1) + \nu (S_{He} + S_{Hi})$$

$$S_2 = 8,75 + 2,4 \times 21,1 + 0,3 \times 97,31$$

$$S_2 = 89,07 \text{ MPa}$$

$$S_3 = -P$$

$$S_3 = -6,62 \text{ MPa}$$

$$S_{eff} = \sqrt{\frac{1}{2} [(S_1 - S_2)^2 + (S_2 - S_3)^2 + (S_3 - S_1)^2]}$$

$$S_{eff} = \sqrt{\frac{1}{2} [(18,1)^2 + (95,69)^2 + (-113,82)^2]}$$

$$S_{eff} = 105,93 \text{ MPa}$$

b. Pipa Kedalaman 2,0 m

$$S_1 = S_{He} + \Delta S_{Hh} + S_{Hi}$$

$$S_1 = 5,63 + 5,94 + 92,39$$

$$S_1 = 103,98 \text{ MPa}$$

$$S_2 = \Delta S_{Lh} + E_s \alpha (T_2 - T_1) + \nu (S_{He} + S_{Hi})$$

$$S_2 = 6,39 + 2,4 \times 21,1 + 0,3 \times 97,72$$

$$S_2 = 87,7 \text{ MPa}$$

$$S_3 = -P$$

$$S_3 = -6,62 \text{ MPa}$$

$$S_{eff} = \sqrt{\frac{1}{2}[(S_1 - S_2)^2 + (S_2 - S_3)^2 + (S_3 - S_1)^2]}$$

$$S_{eff} = \sqrt{\frac{1}{2}[(17,6)^2 + (94,32)^2 + (-111,92)^2]}$$

$$S_{eff} = 104,24 \text{ Mpa}$$

c. Pipa Kedalaman 2,5 m

$$S_1 = S_{He} + \Delta S_{Hh} + S_{Hi}$$

$$S_1 = 5,63 + 5,94 + 92,39$$

$$S_1 = 103,98 \text{ MPa}$$

$$S_2 = \Delta S_{Lh} + E_s \alpha (T_2 - T_1) + v(S_{He} + S_{Hi})$$

$$S_2 = 6,39 + 2,4 \times 21,1 + 0,3 \times 98,03$$

$$S_2 = 86,93 \text{ MPa}$$

$$S_3 = -P$$

$$S_3 = -6,62 \text{ MPa}$$

$$S_{eff} = \sqrt{\frac{1}{2}[(S_1 - S_2)^2 + (S_2 - S_3)^2 + (S_3 - S_1)^2]}$$

$$S_{eff} = \sqrt{\frac{1}{2}[(17,04)^2 + (93,55)^2 + (-110,6)^2]}$$

$$S_{eff} = 103,14 \text{ MPa}$$

Tabel 5. Tegangan Efektif Pipa *Crossing*

Kedalaman Pipa (m)	Analisa Software (MPa)	Validasi Manual (MPa)	Keterangan
1,5	105,2	105,9	Diterima
2,0	102,4	104,2	Diterima
2,5	101,9	103,1	Diterima

Berdasarkan hasil perhitungan manual menggunakan API RP 1102, nilai tegangan lebih besar dari analisa *software*. Pada kedalaman 1,5 m selisih tegangan 0,7 MPa, kedalaman 2,0 m selisih tegangan 1,8 MPa dan kedalaman 2,5 m selisih tegangan 1,2 MPa. Hasil kedua analisa dapat diketahui bahwa semakin dalam pipa ditimbun, maka tegangan pipa akan semakin kecil. Tegangan ijin dari pipa *crossing* sebesar 215,94 MPa.

Analisa pipa dengan kedalaman 1,5 m pada *software* perpipaan diperoleh hasil dimana tegangan maksimum tidak melebihi dari tegangan ijinnya. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang

telah dilakukan oleh Pranav Nair yang meneliti tentang pipa baja di bawah tanah dengan variasi kedalaman akibat dari beban tanah. Kedalaman yang di teliti pada rentang 0,5 m sampai 6 m. Peneliti menyimpulkan bahwa penentuan kedalaman pipa yang aman tidak bisa ditentukan dengan mudah, namun dapat hanya dapat diasumsikan rentang aman berada pada kedalaman 1,5 m hingga 3 m [4]. Rentang kedalaman 1,5 m hingga 3 m merupakan rentang aman karena beban tanah yang diterima oleh pipa tidak begitu besar.

Penelitian lain untuk kasus pipa *crossing* yang dilakukan oleh Awahida Widi. Studi kasus yang diambil adalah pipa baja dengan diameter 20 inch dengan variasi kedalaman 1,8 m, 2,4 m dan 3 m. Hasil penelitian menunjukkan tegangan pada kedalaman 1,8 m sebesar 56,7 MPa, pada kedalaman 2,4 m sebesar 52,7 MPa dan pada kedalaman 3 m sebesar 49,3 Mpa [7]. Hasil pada Tabel 5 memiliki rentang nilai tegangan yang cukup jauh, hal ini dapat terjadi karena perbedaan beban kendaraan yang diaplikasikan maupun perbedaan pada material pipanya. Namun, secara umum kedua penelitian memiliki persamaan yaitu semakin dalam pipa dikubur maka akan semakin berkurang tegangan pada pipa. Berkurangnya tegangan ini disebabkan karena semakin dalam pipa terkubur maka akan semakin kecil pula nilai faktor *impact*-nya.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa secara numerik dengan menggunakan *software* berbasis elemen hingga, pada *software* perpipaan untuk analisa tegangan pipa bawah tanah diperoleh tegangan maksimum yang bekerja pada instalasi pipa di bawah tegangan ijin. Sehingga pada kedalaman 1,5 m instalasi pipa masih dalam rentang aman.

Analisa pipa di bawah perlintasan jalan atau pipa *crossing* dengan menggunakan analisa *software* maupun perhitungan manual dengan aplikasi beban berupa *uniform load* dengan beban mengacu pada API RP 1102, tegangan berada di bawah tegangan ijin. Sehingga untuk kedalaman 1,5 m hingga 2,5 m masih dalam rentang aman untuk pipa *crossing*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] C.Z. Xiao, J.Y. Wang, and A.K. Yang, "Numerical Simulation and mechanical performance analysis of buried pipes subjected to static load". *Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering*, 1981.

- [2] Q.A. Gu, "Study on vertical earth pressure of buried pipes and caverns". *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 3, no. 1, pp. 3-15, 1891.
- [3] Wang, X.L, "Safety Evaluation Method Research on Buried Pipeline in Typical adverse Geological Conditions". Beijing : China University of Petroleum, 2009.
- [4] P. Nair and S. Naik, "Stress Analysis Of Buried Pipelines". *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol. 04, no. 06, pp. 846-850, 2017.
- [5] B. N. Neya, M. Alijani, A. A. Delavar and M. Z. Roshanbakhsh, "Three-Dimensional Analysis of Buried Steel Pipes Under Moving Loads". *Open Journal of Geology*, vol. 07, pp. 1-11, 2017.
- [6] J. Zhang and J. Xie, "Mechanical behaviour analysis of buried pipeline subject to ground loading". *Pipeline Science and Technology*. vol. 2, no. 4, pp. 303-309, 2018.
- [7] W. Awahida, "Efek Kombinasi Beban Crossing Highway-Railway Pada Pipeline" *3<sup>rd</sup> Conference on Piping Engineering and Its Application* vol. 3, no. 1, pp. 129-133, 2018.
- [8] ASME, " B 31.8 Gas Transmission and Distribution Piping System". New York: The Society, 2003.
- [9] API RP 1102, "Steel Pipelines Crossing Railroads and Highways". Washington, D.C. :API Publisher, 2007.
- [10] E. Alamatian, "Stress Estimation on Pipeline and Effect of Burying Depth," *IRJABS*. vol. 6, no. 2, pp. 228-235, 2013.