

# Penilaian Risiko Sosial dan Analisis Geoteknik Terhadap Jalur Pipa LPG Semarang

Iqba Nurul Rikayanti<sup>1</sup>, A.A.B. Dinariyana D.P<sup>1</sup>, Kriyo Sambodho<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, <sup>2</sup>Jurusan Teknik Kelautan  
Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia  
*e-mail:* kojex@its.ac.id

**Abstrak**— Konsumsi LPG mengalami peningkatan seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk di Indonesia. Menurut Senior Vice President Non Fuel Marketing Pertamina pertumbuhan konsumsi LPG mencapai rata-rata 24% per tahun. Terminal LPG memiliki fungsi yang sangat penting dalam pendistribusiannya yaitu sebagai penimbun dan penyalur ke semua daerah-daerah. Dalam pengoperasiannya, terminal LPG berpotensi memiliki bahaya yang disebabkan oleh kondisi lingkungan maupun kegagalan dari komponen pada setiap sistem. Dalam Tugas Akhir ini dilakukan dua kajian analisis yang bertujuan untuk memastikan keamanan pipa terpendam terhadap pengaruh settlement dan memastikan tidak ada risiko yang terjadi pada manusia. Kajian yang pertama adalah analisa geoteknik pada lajur pipa terpendam 200 meter dari jetty sampai terminal LPG. Analisa geoteknik dilakukan dengan software GEO 5, dan selanjutnya tegangan pipa dianalisa dengan mengacu API RP 1102. Kajian yang kedua adalah penilaian risiko sosial pada lajur pipa gas LPG sepanjang 1200 meter dari jetty ke terminal. Societal risk pada studi ini akan diidentifikasi dengan menggunakan fault tree analysis dan event tree analysis untuk analisa frekuensi, fire modelling dengan software ALOHA dan Shellfred dipilih untuk penilaian konsekuensi dan selanjutnya ditampilkan pada F-N Curve yang mengacu pada UK HSE Standart. Hasil dari penilaian risiko sosial diperoleh bahwa skenario bahaya yang mungkin akan terjadi di lajur pipa gas LPG berada pada tingkat aman atau tidak membutuhkan mitigasi. Hasil dari analisa geoteknik diperoleh bahwa tegangan pipa akibat settlement melebihi batas aman, sehingga membutuhkan mitigasi. Rekomendasi mitigasi yang dapat dilakukan adalah dengan permeation grouting pada lapisan tanah di area jalur pipa dengan tujuan menambah kekuatan tanah sehingga tidak terjadi penurunan tanah berkelanjutan dan instalasi pipa gas di bawah tanah dapat terlindung dari pengaruh beban excavator.

**Kata Kunci**—Analisis Geoteknik, Analisa risiko, Fire Modelling, F-N Curve

## I. PENDAHULUAN

Konsumsi LPG diproyeksikan akan terus menunjukkan tren peningkatan rata-rata sekitar 6% per tahun. Selain karena dipicu oleh peningkatan jumlah konsumsi LPG 3kg oleh masyarakat seiring dengan pertumbuhan jumlah keluarga. Senior Vice President Non Fuel Marketing Pertamina Taryono mengatakan sejak diterapkannya program konversi kerosene ke LPG 3 kg hingga 2013, pertumbuhan konsumsi LPG mencapai rata-rata 24% per tahun. Konsumsi LPG 3 kg naik dari semula 0,55 juta ton pada 2008 menjadi

4,39 juta ton pada 2013, di sisi lain penjualan LPG non subsidi relatif stabil dilevel sekitar 1,1 -1,2 juta ton per tahun [1].

Terminal LPG memegang peranan yang cukup penting dalam proses pendistribusiannya ke berbagai wilayah Indonesia dengan fungsi utama terminal yaitu sebagai penerima, pencampur, penimbun, serta pendistribusi. Sistem transfer LPG dari *jetty* sampai *plant area* terdiri dari tiga kondisi, yaitu pada *jetty* (segmen 1), terpendam dibawah tanah sedalam 2 meter (segmen 2), diatas permukaan tanah pada *plant area* (segmen 3).

Dalam pengoperasiannya, terminal LPG berpotensi memiliki bahaya yang disebabkan oleh kondisi lingkungan seperti kelelahan pipa (*fatigue*) akibat *geotechnical forces* maupun kegagalan dari komponen pada setiap sistem. Kelelahan pipa kemungkinan dapat terjadi dikarenakan kondisi tanah kota Semarang yang sering mengalami penurunan tanah dan adanya rencana kegiatan reklamasi dengan menggunakan alat berat (*excavator*) pada area jalur pipa terpendam. Bahaya lain yang dapat terjadi pada terminal LPG yaitu kebakaran dan ledakan yang dapat mengakibatkan kerusakan aset perusahaan hingga jatuhnya korban jiwa.

## II. DASAR TEORI

### A. Liquefied Petroleum Gas (LPG)

Liquefied Petroleum Gas (LPG) merupakan gas hasil produksi kilang minyak yang dicairkan. Komponen utama dari LPG adalah campuran dari butana dan propana serta hidrokarbon lainnya seperti *pentane*, etana. Komposisi gas propana sekitar (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) 50% dan butana (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>) 49% sedangkan 1% adalah gas hidrokarbon lainnya. Pada proses pendistribusiannya, LPG diubah fasenya menjadi cair dengan menambah tekanan dan menurunkan suhunya. Hal ini dikarenakan volume LPG dalam bentuk cair lebih kecil dibandingkan dalam bentuk gas untuk berat yang sama.

### B. Analisa Geoteknik

Dalam menganalisa besar penurunan tanah yang terjadi akibat pembebanan pada studi ini menggunakan 2 metode, yaitu metode elemen hingga dan perhitungan manual dengan menggunakan persamaan yang diambil dari buku mekanika tanah

#### B.1 Metode Elemen Hingga

Apabila tanah dikenai gaya seperti beban, maka akan timbul akibat-akibat seperti perubahan bentuk (deformasi) tegangan tanah. Untuk mendapatkan nilai dari penurunan tanah, analisa dilakukan dengan metode elemen hingga. Dalam metode elemen hingga akan dapat diketahui distribusi tegangan akibat dari pembebanan dengan berbagai pendekatan dan rangkaian persamaan aljabar yang melibatkan pada titik-titik diskrit (jaring/mesh) pada bagian yang dievaluasi.

**B.2 Perhitungan Settlement**

Perhitungan dan prediksi besarnya penurunan tanah akibat dari penurunan muka air tanah, dilakukan dengan menghitung besarnya konsolidasi ( $\Delta H$ ) lapisan tanah yang menggunakan pendekatan pemindahan perubahan kelebihan tekanan air pori ke tekanan efektif [2].

- o Koefisien Konsolidasi Vertikal ( $C_v$ )

Pada umumnya konsolidasi akan berlangsung satu arah yaitu pada arah vertikal saja. Maka dari itu, perlu diketahui koefisien konsolidasi vertikal ( $C_v$ ) untuk menentukan kecepatan pengaliran air pada arah vertikal dalam tanah [3]. Nilai  $C_v$  dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$C_v = \frac{T_v H_{dr}^2}{t} \tag{1}$$

Dimana:

$H_{dr}$  = panjang aliran rata-rata yang harus ditempuh air pori selama konsolidasi

$T_v$  = faktor waktu

$t$  = waktu (hari)

$C_v$  = koefisien konsolidasi vertikal

- o Derajat Konsolidasi ( $U$ )

Derajat konsolidasi tanah ( $U$ ) adalah perbandingan penurunan tanah pada waktu tertentu dengan penurunan tanah total.

-Untuk  $0\% < U < 60\%$

$$T_v = \frac{\pi}{4} \left( \frac{U\%}{100} \right)^2 \tag{2}$$

-Untuk  $U > 60\%$

$$T = 1,781 - 0,933 \log (100 - U\%) \tag{3}$$

- o Waktu Konsolidasi

Perhitungan lamanya waktu konsolidasi dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$t = \frac{H_{dr}^2 T_v}{C_v} \tag{4}$$

Besar penurunan konsolidasi dapat dicari menggunakan persamaan :

$$S = \sum \left[ \frac{C_c H_i}{1 + e_o} \log \left( \frac{p_{o(i)} + \Delta p(i)}{p_o} \right) \right] \tag{5}$$

Dimana :

$S$  = Penurunan (*Settlement*)

$C_c$  = Indeks pemampatan (*Compression indeks*)

$H_i$  = tebal tanah untuk sub lapisan  $i$

$e_o$  = angka pori awal

$p_{o(i)}$  = tekanan overburden untuk sub lapisan  $i$

$\Delta p(i)$  = penambahan tekanan untuk sub lapisan

**B.3 Analisa Tegangan Pipa**

Analisa tegangan pipa adalah suatu metode terpenting untuk meyakinkan dan menetapkan secara numerik bahwa sistem perpipaan yang terpasang berada pada keadaan aman [4]. Analisa tegangan pipa menggunakan perhitungan tegangan (*stress*) pada pipa yang diakibatkan oleh beban statis dan beban dinamis yang merupakan efek resultan dari gaya gravitasi, perubahan temperatur, tekanan di dalam dan di luar pipa, perubahan jumlah debit fluida yang mengalir di dalam pipa dan pengaruh gaya seismik [5].

Perhitungan untuk pipa melintang dibawah jalan (*roadcrossing*) dievaluasi menggunakan standard code API RP 1102 (*Steel Pipelines Crossing Railroads and Highways*).

- a) *Circumferential Stress*

Dalam *Circumferential Stress* dipengaruhi oleh beberapa komponen berikut:

- *Circumferential stress* dikarenakan beban tanah (*earth load*)

$$S_{He} = K_{He} B_e E_e \gamma D \tag{7}$$

Dimana,

$S_{He}$  = *Circumferential stress due to earth load*

$K_{He}$  = *Stiffnes factor for circumferential stress from*

$B_e$  = *Burial factor for earth load circumferential stress*

$E_e$  = *Excavation factor for earth load*

$\gamma$  = *Soil unit weight*

$D$  = *Pipe outside diameter*

- *Circumferential stress* dikarenakan highway vehicular load

$$\Delta S_{Hh} = K_{Hh} G_{Hh} R L F_i W \tag{8}$$

Dimana,

$\Delta S_{Hh}$  = *Circumferential stress due highway vehicular load*

$K_{Hh}$  = *Highway stiffnes factor for circumferential stress*

$G_{Hh}$  = *Highway geometry factor for cyclic circumferential stress*

$R$  = *Highway pavement type factor*

$L$  = *Highway axle configuration factor*

- *Circumferential stress* dikarenakan internal pressure

$$S_{Hi} = \frac{p (D - t_w)}{2 t_w} \tag{9}$$

Dimana,

$S_{Hi}$  = *Circumferential stress due to internal pressure*

$P$  = *Maximum operating pressure*

$D$  = *Pipe outside diameter*

$t_w$  = *Wall thickness*

- *Maximum circumferential stres*

$$S_1 = S_{He} + \Delta S_{Hh} + S_{Hi} \tag{10}$$

- b) *Longitudinal Stress*

Dalam *Longitudinal Stress* dipengaruhi oleh beberapa komponen berikut:

- *Longitudinal stress* dikarenakan highway vehicular load

$$\Delta S_{Lh} = K_{Lh} G_{Lh} R L F_i W \tag{11}$$

Dimana,

$\Delta S_{Lh}$  = *Circumferential stress due highway vehicular load*

$K_{Lh}$  = *Highway stiffnes factor for circumferential stress*

$G_{Lh}$  = *Highway geometry factor for cyclic circumferential stress*

- R = Highway pavement type factor
- L = Highway axle configuration factor
- F<sub>i</sub> = Impact factor
- W = Applied design surface pressure

▪ Maximum longitudinal stress

$$S2 = \Delta SL - E_s \alpha T (T2 - T1) + V_s (S_{He} + S_{Hi}) \quad (12)$$

Dimana,

$\Delta S_{LH} = \Delta SL =$  Longitudinal stress due to highway vehicular load

$E_s$  = Young's modulus of steel

$\alpha T$  = Coefficient of thermal expansion of steel

T2 = Maximum or minimum operating temperature

T1 = Temperature at time of installation

$V_s$  = Poisson ratio of steel

$S_{He}$  = Circumferential stress due to earth load

$S_{Hi}$  = Circumferential stress due to internal pressure

c) Radial Stress

Dalam Radial Stress dipengaruhi oleh internal pressure.

$$S3 = -P \quad (12)$$

Dimana,

S3 = Radial stress

-P = MOP (Maximum Operating Pressure)

Setelah nilai maksimal dari ketiga prinsip diatas diketahui, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai tegangan efektif dengan formula penurunan seperti di bawah ini :

$$S_{eff} = \sqrt{\frac{1}{2} [(S_1 - S_2)^2 + (S_2 - S_3)^2 + (S_3 - S_1)^2]} \quad (13)$$

Dimana,

S<sub>1</sub> = Maximum Circumferential Stress, psi

S<sub>2</sub> = Maximum longitudinal Stress, psi

S<sub>3</sub> = Maximum radial Stress, psi

Berdasarkan perhitungan tegangan tersebut dapat diketahui tingkat kelayakan pipa apakah pipa berada pada kondisi aman atau tidak aman dimana batas keamanan pipa sebesar 0,75 SMYS atau 26,250 psi. Jika hasil dari perhitungan melebihi dari parameter yang telah diatur API RP 1102, maka dapat dikatakan pipa dalam tingkat tidak aman atau layak sehingga perlu dilakukan mitigasi.

C. Risk Assessment

Penilaian risiko adalah rangkaian proses yang bertujuan mengidentifikasi kerusakan dan estimasi risiko seperti *likelihood*, *exposure*, konsekuensi, dan *safety level assessment*, serta ketidakpastian yang juga dijadikan pertimbangan. Proses dari penilaian risiko ini dilakukan untuk mengidentifikasi seluruh kemungkinan terburuk yang dapat membahayakan manusia, lingkungan, proses operasi, maupun peralatan.

C.1 Hazard Identification

Pada studi ini identifikasi bahaya dilakukan dengan metode HAZOP (*Hazard and Operability Study*) sebagai

tindak lanjut dari identifikasi bahaya yang telah dilakukan dengan metode HAZID (*Hazard Identification*). Pendekatan HAZOP meliputi semua elemen atau sub sistem dan selanjutnya dianalisis untuk mengetahui penyimpangan (*deviation*) dari sub sistem tersebut yang dapat menyebabkan konsekuensi yang tidak diinginkan.

C.2 Analisa Frekuensi

Penilaian risiko biasanya difokuskan pada peristiwa dengan frekuensi rendah namun memiliki konsekuensi yang besar. Penentuan frekuensi menggunakan perhitungan berdasarkan skenario yang dibuat berdasarkan asumsi logis sehingga kajian risiko dapat diterima dan dapat untuk pengambilan keputusan pada hasil akhir [5]. Dalam tugas akhir ini *Fault Tree Analysis* (FTA) dan *Event Tree Analysis* (ETA) digunakan untuk menetapkan kemungkinan kejadian dan keparahan konsekuensi, untuk bahaya dalam konteks analisa risiko.

C.3 Analisa Konsekuensi

Secara umum konsekuensi dinyatakan dalam jumlah dari orang yang terkena dampak, lingkungan yang tercemar atau mengalami kerusakan akibat dari kejadian yang tidak diinginkan. Skenario- skenario bahaya yang dianalisa pada studi ini adalah *jet fire*, *VCE* (*Vapour Cloud Explosion*), *flash fire*, *toxic effect*. Pemodelan skenario bahaya menggunakan *software* Shell FRED dan ALOHA.

C.4 F-N Curve

F-N curve adalah penggabungan dari frekuensi dan konsekuensi yang telah diketahui sehingga dapat diketahui tingkat risikonya pada tingkat mana bahaya tersebut. Pada F-N curve menampilkan frekuensi (F) dari perpaduan antara histori kecelakaan masa lalu dengan pemodelan jumlah kematian (N) sehingga dapat diketahui apakah risiko tersebut dapat diterima atau tidak.

III. METODOLOGI

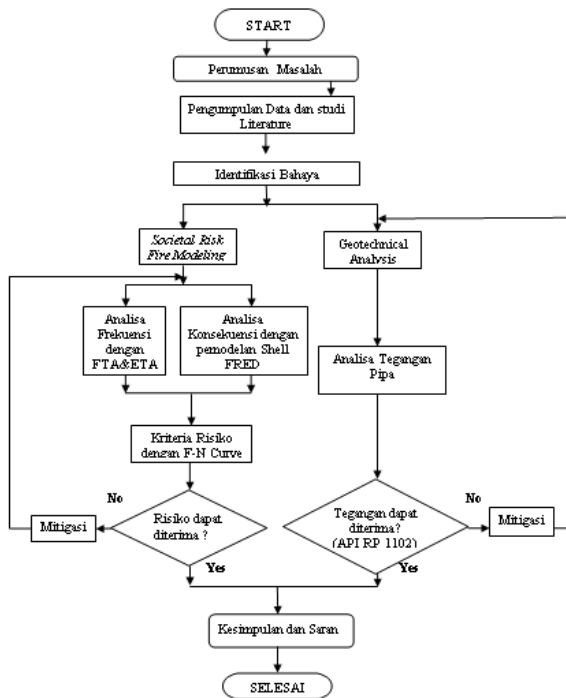
Pada penelitian ini dilakukan analisis pada dua permasalahan yaitu analisa geoteknik terhadap pipa gas LPG terpendam didalam tanah dan penilaian risiko sosial pada jalur pipa gas LPG.

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

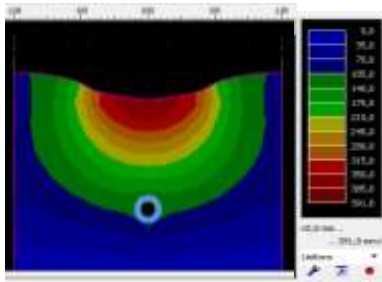
IV.1 Analisis Geoteknik

Hasil analisa penurunan tanah dengan menggunakan metode elemen hingga dapat dilihat pada gambar 2. Pada ilustrasi tersebut dapat diketahui tanah yang telah dibebani *excavator* mengalami penurunan sebesar 391mm atau 0,39 meter.

Hasil penurunan tanah yang didapatkan dari perhitungan manual adalah sebesar 570 mm atau 0,57 meter dengan waktu konsolidasi maximum selama 2,45 tahun. Terdapat perbedaan hasil dengan selisih 0,18 meter yang disebabkan karena properti yang digunakan sebagai data input tidak sama. Untuk masukan analisa tegangan pipa diambil nilai terbesar yaitu 0,57 meter.



Gambar 1. Flowchart Metodologi



Gambar 2. Hasil Settlement dengan metode elemen hingga

Pada perhitungan tegangan pipa yang mengacu *standard code* API RP 1102 (*Steel Pipelines Crossing Railroads and Highways*) didapatkan hasil tegangan *circumferential* dan tegangan efektif total. Dari perhitungan tersebut kemudian dilakukan pemeriksaan batas maksimal tegangan pipa berdasarkan formula Barlow dan faktor keamanan yang ada pada API RP 1102. Hasil perhitungan tegangan pipa dan batas keamanannya ditampilkan pada Tabel. 1

Tabel 1. Hasil Perhitungan Tegangan Pipa

Tegangan	Beban Tegangan (psi)	Batas Aman (psi)	Status
Total effective stress	35497	26250	unacceptable

Pada analisa tegangan pipa didapatkan hasil akhir tegangan total yang dialami pipa akibat pembebanan *excavator* sebesar 37891 psi, dimana batas aman tegangan pipa 26250 psi. Untuk menghindari terjadinya kegagalan pada pipa maka perlu dilakukan mitigasi atau tindakan rekomendasi.

- Mitigasi

Agar pipa dapat difungsikan secara aman, maka direkomendasikan untuk memberikan *grouting* pada lapisan tanah disepanjang jalur pipa sebelum dilakukan reklamasi. *Grouting* merupakan proses menginjeksikan suatu material cair seperti semen ke dalam tanah dengan tujuan meningkatkan kuat geser, mengurangi permeabilitas dan kompresibilitas sehingga *settlement* dapat diminimalisir. Tipe *permeation grouting* direkomendasikan karena pada *grouting* jenis ini bahan *grout* berviskositas rendah diinjeksikan ke dalam tanah dengan tekanan dan kecepatan yang relatif rendah. Sehingga dalam proses pekerjaannya tidak mengganggu struktur tanah dan instalasi pipa.

IV.2 Analisa Risiko Sosial

IV.2.1 Analisis Frekuensi

Pada tugas akhir ini dilakukan identifikasi bahaya menggunakan 2 metode, yaitu HAZID dan HAZOP. Dari analisa tersebut dapat diketahui kejadian – kejadian bahaya yang mungkin dapat terjadi dan selanjutnya dilakukan analisa frekuensi. Analisis frekuensi dilakukan dengan menggunakan 2 metode, yaitu FTA dan ETA. Metode FTA digunakan untuk analisis frekuensi dengan keluaran (*top event*) hanya 1 kejadian yang kemudian dikaji penyebabnya. Sedangkan ETA menggunakan masukan pemicu kejadian dari nilai dan kejadian *top event* dari FTA. Nilai yang berada pada *initiating event* merupakan nilai kegagalan dari suatu komponen yang didapatkan dari EGIG Database dan OREDA 2002.

Untuk analisis frekuensi pada setiap segmen akan dilakukan perhitungan frekuensi dengan menyesuaikan panjang setiap segmen. Terkecuali untuk kebocoran pada sambungan *manifold* dan MLA karena tidak berada pada jalur pipa. Faktor pengali untuk analisis risiko ini diasumsikan selama 10 tahun kedepan.

$$Freq\ per\ Segmen = Leak\ Freq \times \frac{length\ segmen}{Lenght\ pipeline} \times year$$

Tabel 2. Frequency per Segment

No. Segmen	Leak cause	Leak Frequency	Frequency per Segmen
1	Manifold tanker	9,40E-05	9,40E-04

Tabel 3. Frequency per Segment, leak size

No. Segmen	Leak cause	Leak Frequency	Frequency per Segment of Leak Size		Freq per Segment
			0,254m (Rupture)	0,05m (Hole)	
2	Ground movement	2,60E-05	1,53E-05	1,91E-05	-
4	Pipeline over pressure	6,09E-02	-	-	2,38E-02

Dalam analisis frekuensi ini akan dianalisis nilai frekuensi kejadian dan nilai frekuensi konsekuensi skenario yang mungkin akan terjadi seperti *jet fire*, *flash fire*, *toxic effect*, *vapour cloud explosion* dengan menggunakan ETA.

Tabel 4. Frekuensi terjadinya jet fire, flash fire, VCE, toxic effect

Bore Hole	Node	Jet Fire	VCE	Flash Fire	Toxic Effect
50 mm (Hole)	Segmen 1	1,92E-06	-	4,79E-07	2,58E-05
	Segmen 2	-	1,46E-06	1,62E-07	1,75E-05
	Segmen 3	1,14E-08	-	2,85E-09	1,28E-07
254 mm (Rupture)	Segmen 1	5,87E-06	-	1,47E-06	2,09E-05
	Segmen 2	-	4,47E-06	4,97E-07	1,41E-05
	Segmen 3	4,02E-09	-	1,01E-09	4,53E-08

IV.2.2 Analisis Konsekuensi

Skenario bahaya yang mungkin dapat terjadi pada setiap segmen jalur pipa gas telah dikaji pada analisa *event tree analysis* adalah seperti pada Tabel. 5 berikut ini.

Tabel 5. Skenario Bahaya pada Setiap Segmen

Segmen	Hole	Jet Fire	VCE	Flash Fire	Gas Dispersion / Toxic
Segmen 1	0,05 m	YES	NO	YES	YES
Segmen 2		NO	YES	YES	YES
Segmen 3		YES	NO	YES	YES
Segmen 1	0,254 m	YES	NO	YES	YES
Segmen 2		NO	YES	YES	YES
Segmen 3		YES	NO	YES	YES

IV.2.2.1 Jet Fire

*Jet fire* merupakan salah satu jenis kebakaran yang disebabkan oleh kebocoran atau lepasnya bahan bakar bertekanan dari tangki atau pipa yang dimampatkan. *Jet fire* dapat terjadi apabila bahan bakar terlepas dalam fase gas yang bertekanan tinggi dan langsung terpapar sumber api .

Hasil analisa konsekuensi dengan skenario *jet fire* dengan menggunakan *software fire modelling Shell Fred* didapatkan perbedaan hasil yang hampir sama pada setiap segmennya.

Tabel 6. Rekapitulasi *Jet Fire* pada *Rupture* 0,254 m

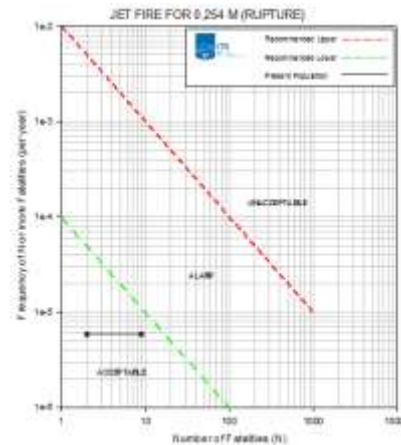
Segmen	Receiver	Jumlah Orang	Heat Flux (kW/m2)	Fatality (N)
Segmen 1	Control Panel Room On Jetty	3	5	0
	Jetty Control	4	10	4
	Loading arm in open deck	5	32	5
	In closed deck	18	2	0
Segmen 3	Office	49	2	0
	Pipeline after Metering area	2	16	2
	Storage Tank	3	2	0

Hasil konsekuensi inilah yang nantinya akan digunakan sebagai masukan analisis risiko dengan cara mengalikan dengan nilai frekuensi .

Tabel 7. *Cumulative Frequency Jet Fire Bore Hole* 0,254m

Node/ Segmen	Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
Segmen 1	9	5,87E-06	5,87E-06
Segmen 3	2	4,02E-09	5,87E-06

Nilai *cumulative frequency* yang didapat dari Tabel 7. selanjutnya direpresentasikan ke *F-N Curve* seperti berikut ini



Gambar 3. F-N Curve *Jet Fire Rupture* 0,254m

IV.2.2.2 VCE (*Vapour Cloud Explosion*)

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan dengan menggunakan ETA, skenario (VCE) hanya terdapat pada segmen 2. Hal ini dikarenakan kondisi jalur pipa terpendam didalam tanah (*confined*). Sehingga apabila terjadi kebocoran pipa, gas LPG terkumpul didalam tanah hingga dalam kondisi tertentu akan mengakibatkan *explosion*. *Explosion* dapat terjadi apabila gas LPG bertekanan di dalam tanah melebihi kapasitas kekuatan tanah dan terkena sumber api.

Dari simulasi bahaya VCE dengan lubang kebocoran 0,254 m pada segmen 2 dapat diketahui bahwa ledakan yang terjadi berpotensi tidak menimbulkan korban jiwa

IV.2.2.3 Flash Fire

Skenario *flash fire* pada tugas akhir ini dilakukan pada setiap segmen jalur pipa gas. *Flash fire* terjadi karena adanya kumpulan *flammable vapour* di udara yang terbentuk dari kebocoran pipa yang terkena paparan sumber api. Berikut ini adalah hasil pemodelan *flash fire* pada segmen 1 dengan menggunakan ALOHA.

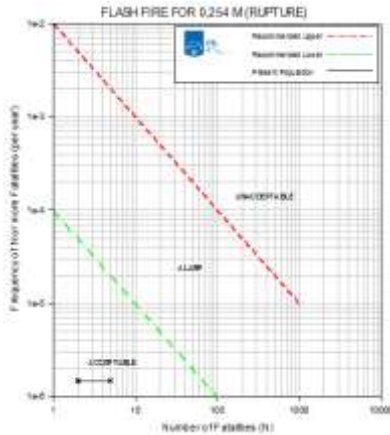
Tabel 8. Rekapitulasi *Flash Fire Bore Hole* 0,254m

Segmen	Receiver	Jumlah Orang	LEL	Fatality (N)
Segmen 1	Control Panel Room On Jetty	3	-	0
	Jetty Control	4	-	0
	Barge Loading arm	5	LEL	5
	In closed deck	21	-	0
Segmen 2	JMI Shipyard	122	-	0
Segmen 3	Office	49	-	0
	Pipeline after Metering area	2	LEL	2
	Storage Tank	3	-	0

Tabel 9. *Cumulative Frequency Flash Fire Rupture* 0,254m

Node/ Segmen	Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
Segmen 1	5	1,47E-06	1,47E-06
Segmen 3	2	1,01E-09	1,47E-06
Segmen 2	-	4,97E-07	1,97E-06

Nilai *cumulative frequency* yang didapat dari Tabel. 9 selanjutnya direpresentasikan ke F-N Curve seperti berikut ini:



Gambar 4. F-N Curve Flash Fire Rupture 0,254m

IV.2.2.3 Gas Dispersion /Toxic Effect

Paparan gas LPG (propana dan butana) dapat merusak sistem pernapasan manusia hingga dapat menyebabkan kematian. Hal ini tergantung dari kadar ppm yang terlepas akibat kebocoran.

Tabel 10. Rekapitulasi Toxic Effect, Rupture 0,254m

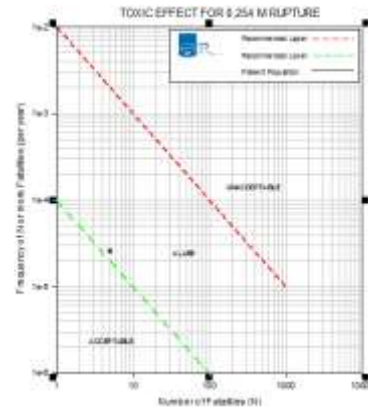
Segmen	Receiver	Jumlah Orang	PPM	Fatality (N)
Segmen 1	Control Panel Room On Jetty	3	-	0
	Jetty Control	4	-	0
	Barge Loading arm	5	33000	5
	In closed deck	21	-	0
Segmen 2	JMI Shipyard	122	-	0
Segmen 3	Office	49	-	0
	Pipeline after Metering area	2	33000	2
	Storage Tank	3	33000	3

Total korban jiwa akibat dari *toxic effect* adalah 10 orang dimana 5 orang diantaranya berada pada segmen 1 dan selebihnya berada pada segmen 3.

Tabel 11. Cumulative Frequency Toxic Effect Rupture, 0,254m

Node/ Segmen	Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
Segmen 1	5	2,58E-05	2,58E-05
Segmen 3	-	1,75E-05	4,33E-05
Segmen 2	5	1,28E-07	2,59E-05

Nilai *cumulative frequency* yang didapat dari Tabel. 11 selanjutnya direpresentasikan ke F-N Curve seperti berikut ini :



Gambar 5. F-N Curve scenario toxic effect 0,254 m (Rupture)

V. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan terhadap 2 (dua) lingkup kajian, yaitu mengenai analisa geoteknik dan penilaian risiko sosial didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

A. Analisa Geoteknik

1. Hasil akhir tegangan total yang dialami pipa akibat pembebanan *excavator* sebesar 35497 psi, melebihi batas aman tegangan pipa yaitu 26250 psi. Keadaan ini diakibatkan karena adanya pembebanan yang mengakibatkan penurunan tanah berkelanjutan sehingga menyebabkan pipa mengalami *strees* terlalu besar.
2. Rekomendasi tindakan pencegahan yaitu melakukan *permeation grouting* pada lapisan tanah di area jalur pipa. *Grouting* tipe *permeation* dipilih karena proses pekerjaannya menggunakan tekanan dan kecepatan yang rendah sehingga dianggap paling aman untuk menjaga instalasi pipa. *Permeation grouting* diharapkan dapat menambah kekuatan tanah sehingga tidak terjadi penurunan tanah berkelanjutan dan instalasi pipa gas di bawah tanah dapat terlindung dari pengaruh beban *excavator*.

B. Analisa Risiko Sosial

1. Hasil dari identifikasi tersebut diketahui bahwa potensi bahaya yang dapat terjadi pada kebocoran jalur pipa gas Terminal LPG Semarang adalah sebagai berikut

Segmen	Hole	Jet Fire	VCE	Flash Fire	Gas Dispersion / Toxic
Segmen 1	0,05 m	YES	NO	YES	YES
Segmen 2		NO	YES	YES	YES
Segmen 3		YES	NO	YES	YES
Segmen 1	0,254 m	YES	NO	YES	YES
Segmen 2		NO	YES	YES	YES
Segmen 3		YES	NO	YES	YES

2. Representasi risiko pada F-N Curve menunjukkan bahwa semua skenario berada pada tingkat aman atau masih dapat diterima. Sehingga fasilitas jalur pipa pada terminal LPG Semarang aman bagi masyarakat dan lingkungan disekitarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Taryono. (2014,Mar).Pertumbuhan konsumsi LPG di Indonesia  
[www.migas.esdm.go.id](http://www.migas.esdm.go.id)
- [2] Marsudi. 2001. **Prediksi Laju Amblesan tanah Dataran Auvial Semarang**, Disertasi, Bidang Hidrogeologi Rekayasa Pertambangan, ITB,Bandung
- [3] Pasaribu, T.H. 2011. **Analisis Penurunan Tanah Lunak Akibat Timbunan (Studi Kasus Runway Bandara Medan Baru)**, Skripsi, Jurusan Teknik Sipil,USU,Medan
- [4] **Pipe Sress Engineering** oleh Liang- Chuan (L.C) PENG dan Tsen- Loong (Alvin) PENG
- [5] API RP 1102, **Piping Inspection Code : Steel Pipelines Crossing Railroads and Highways**
- [6] **Guidlines for Developing Quantitive Safety Risk Criteria by Center for Chemical proses**. 2009. Institut of Chemical Engineers, Amerika Serikat