

Pemodelan dan Simulasi Penurunan Tekanan pada Pipa Transmisi Menggunakan Metode Iterasi Titik Tetap

Modeling and Simulation Pressure Drop in Transmission Pipeline Using Fixed Point Iteration Method

Aisyah^[1]

Prodi S1 Ilmu Komputasi, Fakultas Informatika, Universitas Telkom^[1]

Asyh20@gmail.com^[1]

Abstrak

Dalam penyebaran gas sebagai sumber energi alternatif, dibutuhkan suatu alat transportasi. Transportasi gas yang lebih sering digunakan adalah dengan pipa transmisi karena lebih ekonomis. Saat mengalir tekanan dan temperatur gas akan mengalami penurunan nilai dari inlet pipa outlet pipa. Sedangkan tekanan dan temperatur dapat mempengaruhi karakteristik dari gas alam yang dialirkan. Untuk itu, dibutuhkan suatu pemodelan untuk memprediksi distribusi tekanan dan temperatur pada pipa tersebut. Pada tugas akhir ini akan dilakukan penelitian untuk mengukur distribusi tekanan pada pipa transmisi dengan menggunakan metode Iterasi Titik Tetap. Prediksi distribusi tekanan akan dilakukan baik untuk pipa dengan asumsi temperatur isothermal (konstan) maupun non isothermal. Kemudian hasil prediksi distribusi tekanan dan temperatur tersebut akan dibandingkan dan dianalisis dengan data lapangan yang diberikan. Berdasarkan pemodelan tersebut diperoleh hasil distribusi tekanan dengan kondisi temperatur tidak konstan dan dengan perubahan elevasi yang paling mendekati data lapangan. Sehingga nilai error yang dihasilkannya pun bernilai paling kecil jika dibandingkan dengan kondisi-kondisi yang lain.

Kata kunci : gas alam, pipa transmisi, metode iterasi titik tetap, distribusi tekanan, distribusi temperatur

1. Pendahuluan

Menipisnya cadangan minyak bumi sebagai salah satu sumber energi mengakibatkan dibutuhkan sumber energi alternatif. Gas alam merupakan sumber energi alternatif yang paling banyak digunakan di dunia karena karakteristik gas yang ramah lingkungan dan lebih efisien dibandingkan dengan minyak dan batu bara [1, 2]. Biasanya, jarak stasiun pengumpul gas alam dengan konsumen yang membutuhkan gas terpisah jauh. Sehingga dalam penyebarannya gas membutuhkan suatu alat transportasi. Transportasi yang biasanya digunakan adalah truk/tanker yang digunakan untuk gas alam yang telah terlebih dahulu dikompresi menjadi gas cair (LNG) dan melalui sistem pipa transmisi. Untuk jarak yang pendek, menggunakan pipa lebih ekonomis dibandingkan dengan menggunakan truk/tanker. Oleh karena itu, pipa transmisi untuk gas alam menjadi cara yang paling sering digunakan untuk transportasi gas dibandingkan dengan truk/tanker.

Dalam transportasi gas dengan pipa, terdapat dua jenis sistem transmisi pipa yaitu pipa transmisi dan pipa distribusi. Pipa transmisi adalah pipa yang mentransportasikan gas dengan jumlah yang besar dari sistem pengumpul, *outlet gas processing plant*, atau lapangan penimbun ke pipa distribusi tekanan tinggi atau rendah dengan satu atau lebih ruas pipa yang biasanya saling terkoneksi satu sama lain membentuk jaringan [3]. Sedangkan pipa distribusi adalah sistem pipa yang dipasang untuk menyalurkan gas mulai dari stasiun penerima sampai ke meter pelanggan dengan tekanan operasi dan berdiameter lebih kecil daripada pipa transmisi. Perbedaan lainnya adalah pada pipa transmisi aliran volume tekanan gas tinggi, sedangkan pada pipa distribusi aliran volume tekanan rendah.

Saat penyebaran gas melalui pipa, dibutuhkan tekanan agar gas tersebut bisa mengalir. Tekanan dalam pipa tersebut akan selalu berubah. Gas tersebut akan mengalami penurunan tekanan sehingga nilainya tidak akan sama dengan tekanan saat di inlet pipa. Tekanan pada gas tersebut mengalami penurunan karena adanya faktor-faktor seperti *compressibility factor*, *gas gravity*, temperatur dan panjang pipa. Namun, untuk menghitung distribusi tekanan sepanjang pipa masih sulit untuk diukur dilapangan. Padahal, distribusi tekanan dan temperatur dapat menggambarkan karakteristik dari gas yang dialirkan.

Oleh karena itu, tugas akhir ini bertujuan untuk membuat pemodelan yang dapat memprediksi distribusi tekanan dengan menggunakan persamaan panhandle A dengan metode iterasi titik tetap untuk mencari akar persamaan tekanan pada pipa. Pada distribusi tekanan ini, diberikan beberapa kondisi. Seperti kondisi dimana temperatur isothermal dan temperatur non-isothermal. Hasil dari pemodelan tersebut akan dibandingkan dan dianalisis dengan data lapangan asli.

2. Studi Literatur dan Metodologi/Perancangan

2.1 Studi Literatur

2.1.1 Gas Alam

Gas alam atau gas bumi adalah bahan bakar fosil berbentuk gas. Gas alam dapat ditemukan di ladang minyak, gas bumi, dan juga tambang batubara. Gas alam merupakan sumber energi yang paling banyak digunakan dalam pemenuhan kebutuhan karena gas memiliki karakteristik yang ramah lingkungan dan gas alam merupakan energi yang efisien jika dibandingkan dengan minyak dan batu bara. Komponen utama gas alam adalah metana (CH₄) sekitar 80 % - 95%. Sumber ladang gas alam juga mempengaruhi komposisi dari gas alam tersebut. Gas alam yang telah diproses dan akan dijual bersifat tidak berasa dan tidak berbau.

Berdasarkan proporsi hydrocarbon yang lebih berat dari metana, gas alam dibagi menjadi beberapa bentuk, yaitu dry gas, wet gas dan condensate. Pada tugas akhir ini gas alam yang diasumsikan adalah dry gas. Dry gas merupakan gas alam yang hampir murni metana [4].

Gas alam dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan. Salah satunya sebagai bahan baku industri. Selain itu, gas alam bisa dimanfaatkan sebagai bahan bakar. Sebagai bahan bakar, gas bumi digunakan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), kendaraan bermotor (Bahan Bakar Gas/ BBG, Liquefied Gas for Vehicle/LGV, Compressed Natural Gas/CNG), industri ringan, menengah dan berat [5]. Bisa pula dimanfaatkan untuk memenuhi berbagai kebutuhan rumah tangga, hotel, restoran dan sebagainya dalam bentuk Liquefied Petroleum Gas (LPG). Tidak hanya itu, gas bumi dapat menjadi komoditas energi untuk ekspor, misalnya dalam bentuk gas alam cair (Liquefied Natural Gas/LNG) [5].

2.1.2 Transportasi Gas

Jauhnya pasar gas alam terhadap sumber gas merupakan salah satu permasalahan pendistribusian gas alam. Biasanya, sumber/tempat cadangan gas cukup jauh dari pusat pasar yang membutuhkan gas tersebut[2]. Untuk itu diperlukan transportasi gas karena hal tersebut merupakan aspek yang esensial bagi bisnis gas. Transportasi yang digunakan biasanya berupa truk/tanker atau pipa transmisi.

2.1.2.1 Pipa Gas

Pipa merupakan moda gas yang sudah lama digunakan dan lebih sering digunakan untuk mendistribusikan gas alam dari sumbernya ke daerah atau pusat pasar dibandingkan truk/tanker. Karena pipa mengalirkan gas dengan aman dan lebih ekonomis [2]. Sehingga, pipa transmisi menjadi lebih sering digunakan dibanding truk/tanker.

Pipa transmisi didefinisikan sebagai pipa yang biasanya mentransportasikan gas dengan jumlah yang besar dari sistem pengumpul, outlet gas processing plant, atau lapangan penimbun ke jaringan pipa distribusi tekanan tinggi atau rendah. Saat ini, kecenderungan dalam pembangunan pipa transmisi gas bumi adalah sependek mungkin jarak yang dibuat untuk menghubungkan sumber gas bumi dan lokasi pasarnya. Hal ini bertujuan untuk meminimalisasikan biaya investasi.

2.1.3 Pressure Drop

Pada penelitian ini, penurunan tekanan yang digunakan adalah persamaan Panhandle A. Berikut persamaan Panhandle A [6] :

$$\left(\frac{P_1 - P_2}{L} \right) = \left(\frac{Q}{D^{2.667}} \right)^{1.852} \quad (2.1)$$

Keterangan:

= *Upstream pressure* (psia)

= *Downstream pressure* (psia)

= *Specific gas gravity*

= *gas flowrate* (SCFD)

- = *Compressibility factor (dimensionless)*
- = *Pipeline efficiency*
- = *Average gas Temperature (R)*
- = *Equivalent length of pipe segment (mile)*
- = *Elevation adjustment parameter (dimensionless)*
- = *Pipe Inside Diameter (in)*
- = *Base pressure (14,7 psia)*
- = *Base temperature (520 R)*

dimana

$$\left(\frac{\dots}{\dots} \right) \tag{2.2}$$

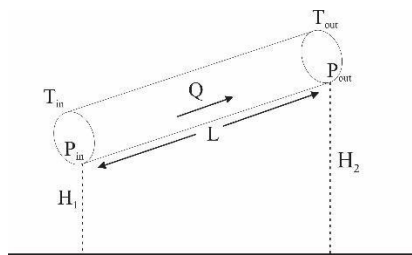
Dan untuk perubahan elevasi menggunakan persamaan berikut:

$$\left(\frac{\dots}{\dots} \right) \tag{2.3}$$

Keterangan :

- = *Upstream elevation (m)*
- = *Downstream elevation (m)*

Dari persamaan tersebut dapat diketahui bahwa laju gas dipengaruhi penurunan tekanan, *compressibility factor*, *gas gravity*, temperatur, panjang pipa dan elevasi. Elevasi yang dimaksud bukanlah sudut dari pipa. Melainkan sebuah jarak seperti yang diilustrasikan pada Gambar 1. Dari persamaan Panhandle A tersebut diketahui jika pipa makin panjang dan akan menurun dan jika temperatur rata-rata naik laju gas akan menurun.



Gambar 1. Ilustrasi elevasi pada pipa

Jika elevasi diabaikan atau pipa dianggap horizontal. Persamaan Panhandle A akan menjadi seperti berikut:

$$\left(\frac{\dots}{\dots} \right) \tag{2.4}$$

2.1.4 Temperature Drop

Persamaan yang digunakan untuk penurunan temperatur adalah dengan menggunakan persamaan Hein [7]

$$\frac{()}{()} () \tag{2.5}$$

Keterangan :

= temperatur at distance L along line (°F)

= temperatur at distance line inlet (°F)

= distance gradient factor (mile⁻¹)

= distance along line (mile)

= pressure effect factor (°F)

= temperatur surrounding (°F)

dimana

$$() \tag{2.6}$$

Keterangan :

= overall heat transfer coefficient (Btu/hr-ft²-°F)

= heat transfer area (ft² per ft of pipe)

= fluid mass rate (lb/s)

= gas heat capacity (Btu/lb-°F)

Dimana pada persamaan ini, nilai Cp, U, dan A merupakan konstanta. Sedangkan untuk mencari nilai menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Keterangan :} \tag{2.7}$$

= gas flowrate (SCFD)

= molecular Weigth

Dimana,

$$\tag{2.8}$$

Keterangan :

= Spesific gas gravity

= 29

Untuk mencari nilai *pressure effect factor* menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\left[\frac{(\quad)}{(\quad)} \right] \frac{(\quad)}{(\quad)} \tag{2.9}$$

Keterangan:

= *the Joule Thomson coefficient of the gas* (F/psi)

= *Upstream elevation* (ft)

= *Downstream elevation* (ft)

2.1.5 California Natural Gas Association (CNGA)

California Natural Gas Association (CNGA) merupakan Salah satu korelasi *compressibility factor* Z atau bisa disebut dengan gas faktor deviasi untuk mengevaluasi kuantitas gas yang ditentukan oleh karakter, temperatur dan tekanan pada gas tersebut [8]. Perhitungan ini untuk mengetahui seberapa dekat gas tersebut dengan gas ideal [6]. Dari beberapa persamaan untuk menghitung *compressibility factor* CNGA adalah persamaan yang paling sederhana. Jika gas gravity, temperetur dan tekanan diketahui. Dan persamaan ini valid jika nilai tekanan rata-rata > 100 psig [6].

$$* \frac{(\quad)}{(\quad)} \tag{2.10}$$

Keterangan :

= *Compressibility factor* (dimensionless)

= *Average gas Pressure* (psig)

= *Average gas Temperature* (R)

2.1.6 Metode Iterasi Titik Tetap

Metode iterasi titik tetap merupakan salah satu metode pencarian akar. Iterasi titik tetap ini merupakan metode yang sederhana karena prosedur iterasinya yang mudah. Hal pertama yang kita lakukan ketika menggunakan metode ini adalah membentuk persamaan () dari persamaan asalnya, yakni () .

Algoritmanya sebagai berikut [9]:

Input inialisasi perkiraan untuk nilai p dan toleransi (TOL) untuk iterasi N

Output berupa perkiraan solusi dari p atau input error

Step 1 set

Step 2 while do step 3-6

Step 3 set () hitung p_i

Step 4 if | | then

Output (p)

Stop

Step 5

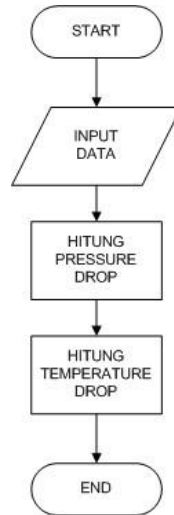
Step 6 set update p₀

Step 7 output (metode gagal setelah iterasi N, N = N)

Prosedur gagal → Stop

2.2 Metodologi/Perancangan

Sistem yang dirancang adalah untuk mengukur distribusi tekanan dengan dua kondisi yaitu distribusi tekanan dengan temperatur isothermal dan non isothermal menggunakan persamaan Panhandle A dan metode iterasi titik tetap untuk mencari akar persamaanya. Hasil yang diharapkan mendapatkan model yang optimal dan sesuai dengan data asli lapangan lapangan. Sistem yang dibangun sesuai dengan *flowchart* pada Gambar 2.



Gambar 2. Flowchart Sistem Secara Umum

2.2.1 Input data

Data yang diinputkan adalah seperti pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1 Data Asli Lapangan Gas

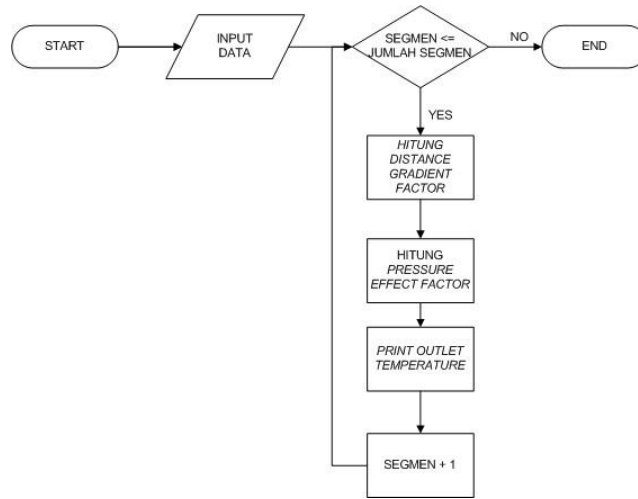
Parameter	Value	Unit
<i>Inside diameter (id pipe)</i>	11,938	In.
<i>Flow efficiency (E)</i>	90	%
<i>Pipe length (L)</i>	41,775	Km
<i>Flow rate (Q)</i>	40,4	MMscfd
<i>Outlet pressure (P out)</i>	908,41	Psig
<i>Inlet temperature (T in)</i>	90,8	°F

Tabel 2 Sampel Data Pipa

No.	Pipe Length (km)	Elevation Change (m)
1	0,1	1,303
2	0,1	-0,433
...
116	0,5	-0,526
117	0,275	-4,232

2.2.2 Hitung Temperature Drop

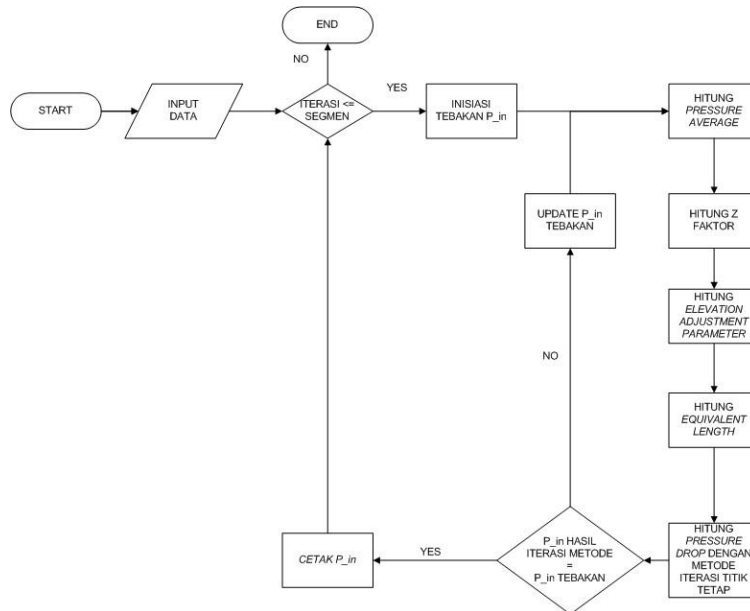
Flowchart untuk proses *pressure drop* ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Flowchart Distribusi Temperatur

2.2.3 Hitung Pressure Drop

Flowchart untuk proses *pressure drop* ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Flowchart Distribusi Tekanan

3. Pembahasan

Dari hasil pengujian berdasarkan sistem, nilai yang diperoleh akan dibandingkan dengan data lapangan.

Tabel 3 Data lapangan Pipa

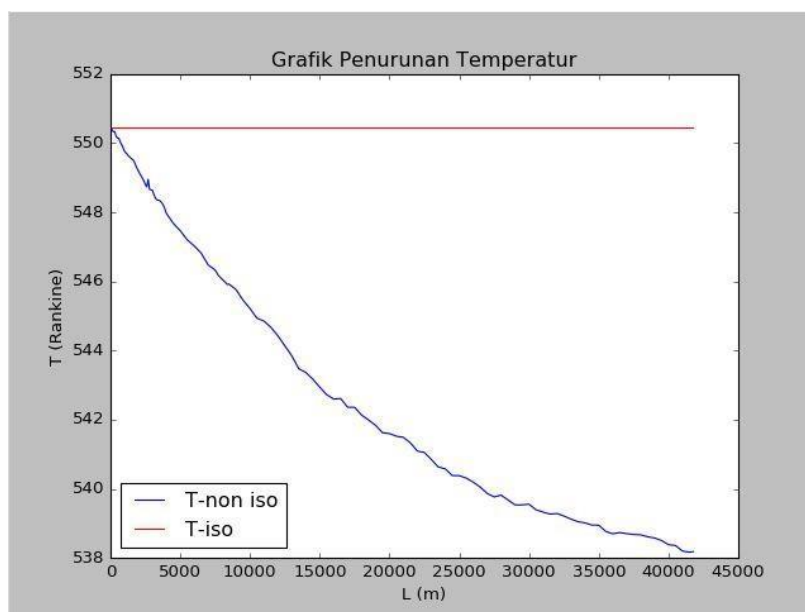
Parameter	value	Unit
<i>Inlet pressure</i>	954,48	Psig
<i>Outlet pressure</i>	908,41	Psig
<i>Inlet temperature</i>	90,8	°F
<i>Outlet temperature</i>	82,32	°F

3.1 Hasil Pengujian Temperature Drop

Dari hasil pengujian distribusi temperatur dengan temperatur isothermal dan non-isothermal diperoleh hasil seperti pada Tabel 4:

Tabel 4 Sampel Hasil Pengujian Sistem Distribusi Temperatur

Length (m)	Temperatur isothermal	Temperatur non-isothermal
0	550,47	550,47
100	550,47	550,39249
200	550,47	550,32991
...
41.500	550,47	538,16725
41.775	550,47	538,18278



Gambar 5. Grafik Distribusi Temperatur Terhadap Panjang Pipa

Pada distribusi temperatur yang dicari adalah nilai temperatur pada outlet pipa yang paling mendekati nilai data asli yaitu 541,99 °Rankine dengan inlet temperatur diketahui yaitu 90,8 °F atau 550,47 °Rankine. Pengujian ini dilakukan untuk dua kondisi temperatur, yaitu temperatur isothermal dan non-isothermal.

Dari hasil pengujian, untuk kondisi temperatur isothermal nilai temperatur pada inlet pipa akan sama dengan outlet pipa yaitu 550,47 °Rankine. Sedangkan untuk kondisi non-isothermal nilai temperatur menurun dari 550,47 °Rankine pada inlet pipa sampai 538,18278 °Rankine pada outlet pipa seperti pada Gambar 5. Jadi, hasil yang paling mendekati temperatur data lapangan adalah temperatur non isothermal.

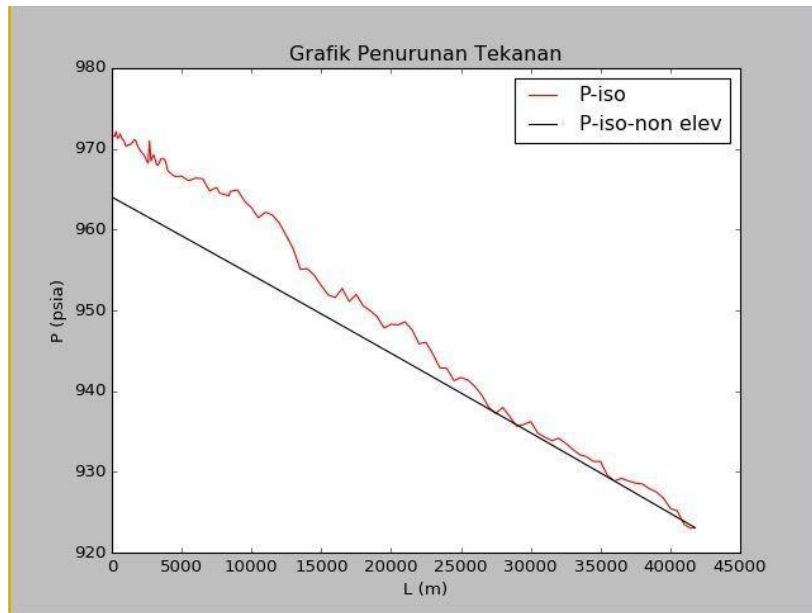
3.2 Hasil Pengujian Pressure Drop

Berdasarkan pengujian sistem distribusi tekanan dengan pemberian kondisi asumsi temperatur isothermal dan temperatur non isothermal diberikan kondisi lagi dimana elevasi diperhitungkan dan elevasi diabaikan.

1. Hasil pengujian distribusi tekanan dengan temperatur isothermal dengan elevasi dan tanpa elevasi diperoleh hasil seperti pada Tabel 5:

Tabel 5 Sampel hasil pengujian sistem distribusi tekanan dengan dengan temperatur isothermal

	Length (m)	T isothermal non elevasi	T isothermal
0	0	965,60787	973,0628569
1	100	965,5086679	972,856409
2	200	965,4094542	972,7939708
..
116	41.500	923,3930199	923,0623699
117	41.775	923,105949	923,105949



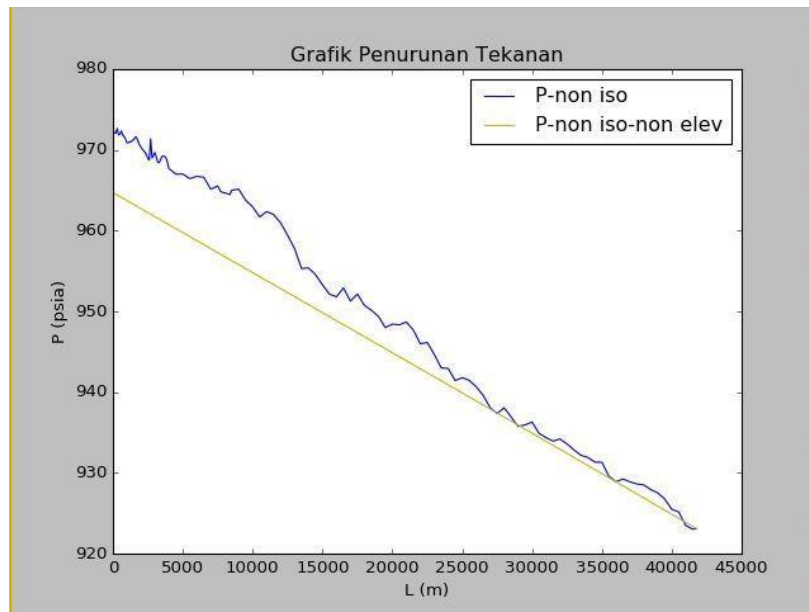
Gambar 6. Grafik Distribusi Tekanan Dengan Temperatur Isothermal

Dari Tabel 5 dan Gambar 6 dapat diketahui bahwa distribusi tekanan dengan kondisi temperatur isothermal dan asumsi pipa horizontal yang lebih mendekati data lapangan. Pada Gambar 6 kondisi temperatur isothermal dan pipa horizontal nilai tekanan selalu mengalami penurunan. Sedangkan pada kondisi temperatur isothermal dan elevasi dihitung nilai tekanan mengalami penurunan dan juga peningkatan.

2. Hasil pengujian distribusi tekanan dengan temperatur non isothermal dengan elevasi dan tanpa elevasi diperoleh hasil seperti pada Tabel 6:

Tabel 6 Sampel Hasil Pengujian Sistem Distribusi Tekanan Dengan Temperatur Non-Isothermal

	Length (m)	T non isothermal non elevasi	T non-isothermal
0	0	964,7043025	972,3101839
1	100	964,6050036	972,1037434
2	200	964,5057114	972,0412273
..
116	41.500	923,3835559	923,0410359
117	41.775	923,105949	923,105949



Gambar 7. Grafik Distribusi Tekanan Dengan Temperatur Non-Isotermal

Dari Tabel 6 dan Gambar 7 dapat diketahui bahwa distribusi tekanan dengan kondisi temperatur non isotermal dan dengan elevasi yang lebih mendekati data lapangan. Pada kondisi ini, sama dengan kondisi temperatur isotermal. Dimana pipa diasumsikan horizontal tekanan selalu mengalami penurunan dan saat elevasi diperhitungkan tekanan mengalami penurunan dan juga peningkatan.

3.3 Analisis Pengujian Pressure Drop

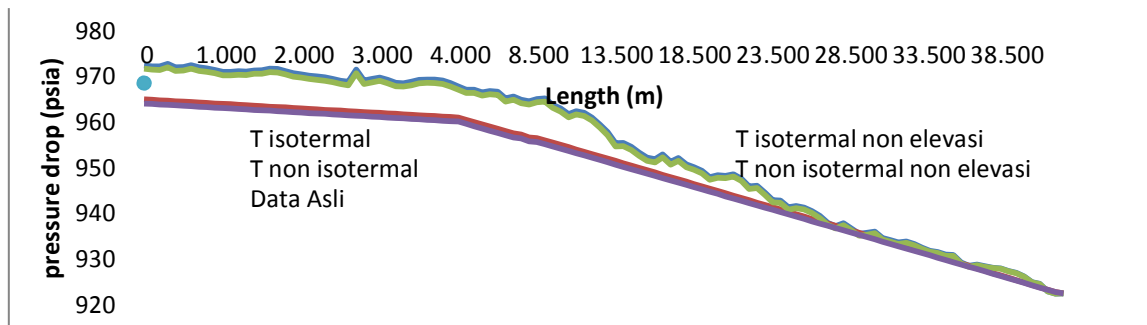
Dari hasil pengujian distribusi tekanan (P_{in}) yang diperoleh akan dibandingkan dengan P_{in} pada data lapangan yaitu 969,176 psia. Maka bisa diperoleh analisis seperti pada Tabel 7.

Tabel 7 Perbandingan *Pressure Drop*

<i>Pressure Drop</i>		P_{in} (psia)	P_{out} (psia)	Error
Data Lapangan		969,175949	923,105949	
T Isotermal	Elevasi	973,0628569	923,105949	0,401053
	Non Elevasi	965,60787	923,105949	-0,36816
T Non Isotermal	Elevasi	972,3101839	923,105949	0,323392
	Non Elevasi	964,7043025	923,105949	-0,46139

Pada saat kondisi temperatur tidak konstan dan perubahan elevasi pipa dihitung diperoleh penurunan tekanan yang lebih sedikit dibandingkan dengan kondisi-kondisi yang lain. Dan pada kondisi tersebut nilai P_{in}

yang diperoleh lebih mendekati data lapangan yaitu 972,3101839 psia sehingga memiliki nilai error yang paling kecil yaitu 0,323392 %.



Gambar 8. Grafik Distribusi Tekanan Terhadap Panjang Pipa

Dari Gambar 8 dapat diperoleh analisis bahwa distribusi tekanan dengan kondisi temperatur isothermal maupun non isothermal memiliki hasil yang tidak jauh berbeda jika dengan elevasi atau tanpa elevasi. Dalam grafik tersebut, menunjukkan bahwa hasil distribusi tekanan yang paling mendekati data lapangan adalah distribusi tekanan dengan temperatur non isothermal dan dengan elevasi. Grafik tersebut juga menunjukkan bahwa perubahan tekanan tidak hanya menurun, namun juga ada yang naik. Hal itu disebabkan oleh perubahan elevasi dan juga perubahan temperatur.

Dari hasil terbaik yang diperoleh analisis, dibandingkan kembali dengan metode pencarian akar Newton-Raphson. Karena metode tersebut merupakan metode yang lebih sering digunakan dalam sains dan rekayasa. Hasil perbandingan metode iterasi titik tetap dengan metode Newton Raphson dengan iterasi maksimal 5 seperti pada Tabel 8.

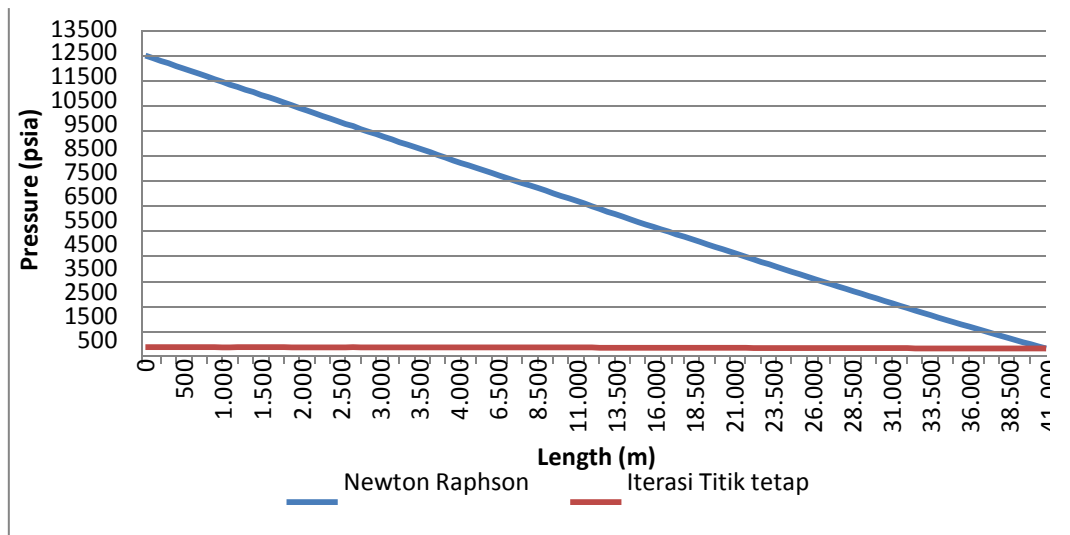
Tabel 8 Perbandingan Metode

Grid	Length (m)	Pressure Drop	
		Newton Raphson	Iterasi Titik Tetap
1	0	12622,83	972,3102
2	100	12516,36	972,1037
..
117	41.500	1008,504	923,041
118	41.775	923,1059	923,1059

Tabel 9 Perbandingan Nilai Error Metode

Metode	Iterasi	Error
Newton Raphson	5	1202,435 %
Iterasi Titik Tetap	5	0,32 %

Dari Tabel 8 menunjukkan distribusi tekanan dengan metode Newton Raphson dengan batas iterasi maksimal 5 diperoleh error yang sangat besar dibandingkan dengan metode iterasi titik tetap. Hal itu terjadi karena pada kasus ini, metode Newton Raphson membutuhkan iterasi yang lebih banyak untuk mencapai hasil yang benar.



Gambar 9. Grafik Perbandingan Distribusi Tekanan Metode Newton Raphson Dan Metode Iterasi Titik Tetap

Dari Tabel 8 diperoleh Gambar 9 yang menggambarkan perubahan tekanan dengan metode Newton Raphson dengan maksimal 5 iterasi mengalami penurunan yang sangat drastis dibandingkan dengan metode iterasi titik tetap.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pemodelan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Distribusi tekanan dengan temperatur isothermal dan dengan elevasi diperoleh hasil $P_{in} = 973,0628569$ psia.
2. Distribusi tekanan dengan temperatur isothermal dan tanpa elevasi diperoleh hasil $P_{in} = 965,60787$ psia.
3. Distribusi tekanan dengan temperatur non isothermal dan dengan elevasi diperoleh hasil $P_{in} = 972,3101839$ psia.
4. Distribusi tekanan dengan temperatur non isothermal dan tanpa elevasi diperoleh hasil $P_{in} = 964,7043025$ psia.
5. Dari kondisi-kondisi tersebut diperoleh hasil yang paling mendekati data lapangan adalah kondisi dimana temperatur non isothermal dan elevasi tidak diabaikan dengan nilai error 0,323392 %.
6. Hasil perhitungan tekanan dengan metode Iterasi Titik Tetap diperoleh pada iterasi ke 5 dengan batasan error 10^{-11}

Daftar Pustaka

- [1] A.D. Woldeyohannes, M.A.A Majid. "Simulation Model for natural gas transmission pipeline network system", Simulation Modelling Practice and Theory 19 (2011) 196-212.
- [2] M. Saeid, A.P. William. "Handbook of Natural Gas Transmission and Processing", Elsevier, USA, 2012
- [3] ASME B31.8, "Gas Transmission and Distribution Piping Systems", The American Society of Mechanical Engineers, New York, 2004.
- [4] A. Bahadori. "Natural Gas Processing: Technology and Engineering Design," Elsevier, 2014.
- [5] "Pembangunan Jaringan Gas Bumi Untuk Rumah Tangga", Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, [Online], Available : <http://www.migas.esdm.go.id/post/category/publikasi/perpustakaan/bukupencapaianmigas> [diakses 1 11 2015]
- [6] M. E. Shashi. "Gas Pipeline Hydraulics", 2005.
- [7] F.S Manning, R.E. Thompson. "Oilfield Processing of Petroleum Volume One: Natural Gas", Pennwell.
- [8] W.C. Lyons, G.J. Plisga. "Standard Handbook of Petroleum and Natural Gas Engineering", second ed., Elsevier, 2005
- [9] R.L. Burden, J.D. Faires. "Numerical Analysis", Ninth Edition, Brooks/Cole cengage learning, Canada, 2011.