

Pemodelan dan Simulasi Penurunan Tekanan pada Pipa Transmisi Menggunakan Metode Secant

Modeling and Simulation Pressure Drop in Transmission Pipeline Using Secant Method

Kaisa S P¹

¹Prodi S1 Ilmu Komputasi, Fakultas Informatika, Universitas Telkom

¹kakakhai@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Pipa transmisi merupakan salah satu alat transportasi yang cukup ekonomis untuk mendistribusikan gas alam dari suatu sumber ke konsumen. Saat gas alam sedang ditransmisikan melalui pipa, temperatur dan tekanan gas menurun di sepanjang pipa karena dipengaruhi oleh beberapa faktor. Dalam tugas akhir ini, metode secant akan digunakan untuk menganalisa seberapa besar penurunan tekanan dan temperatur saat gas didistribusikan dalam pipa transmisi, baik ketika temperatur dalam pipa diasumsikan konstan (isothermal) maupun tidak konstan (non-isothermal) dengan menggunakan elevasi maupun mengabaikan elevasi, dan akan dibandingkan dengan hasil dari data lapangan. Berdasarkan hasil perhitungan distribusi penurunan tekanan dan temperatur gas pada pipa, diperoleh bahwa tekanan dengan kondisi temperatur non isothermal dan menggunakan elevasi merupakan hasil yang paling mendekati dengan data lapangan dan memiliki error terkecil dibandingkan dengan kondisi yang lainnya, yaitu sebesar 0,32 %.

Kata Kunci: Pipa Transmisi, Gas Alam, Metode Secant, Penurunan Temperatur, Penurunan Tekanan.

1. Pendahuluan

Gas alam merupakan sumber daya alam yang sangat tinggi jumlah penggunaannya, karena gas alam dinilai memiliki beberapa keunggulan karakteristik. Salah satu keunggulan karakteristik gas alam adalah ramah lingkungan [1]. Pada umumnya lokasi sumber gas alam yang akan dipergunakan sulit untuk dijangkau, sedangkan permintaan akan gas alam semakin lama semakin meningkat, sehingga membutuhkan suatu media untuk menyalurkan gas alam tersebut dari sumber ke lokasi tujuan dengan cepat. Terdapat beberapa cara untuk menyalurkan gas alam tersebut, beberapa diantaranya yaitu menggunakan tanker/truk dan saluran transmisi pipa. Jika menggunakan tanker/truk, gas alam terlebih dahulu di kompres menjadi cairan LNG baru kemudian dimasukkan kedalam tanker atau truk dan kemudian didistribusikan ke lokasi tujuan, sedangkan jika menggunakan saluran transmisi pipa, gas alam masih murni tanpa kompresi ke bentuk apapun, dan kemudian gas alam tersebut didistribusikan melalui pipa yang menghubungkan antara sumber dengan lokasi tujuan [2].

Adapun penggunaan saluran transmisi pipa menjadi yang paling banyak digunakan dibandingkan transportasi LNG menggunakan tanker/truk, terutama untuk transportasi dengan jarak pendek. Selain itu keunggulan menggunakan saluran transmisi pipa adalah dapat menekan pengeluaran, berbeda dengan transportasi LNG yang justru memakan biaya cukup tinggi dikarenakan biaya kompres yang mahal. Pada saat gas berada didalam saluran transmisi pipa untuk didistribusikan ke lokasi tujuan, tekanan dan temperatur gas tersebut akan sedikit demi sedikit mengalami penurunan. Tekanan dan temperatur gas diawal pipa tidak akan sama dengan tekanan dan temperatur gas diakhir pipa.

Pada tugas akhir ini bertujuan untuk menentukan nilai penurunan tekanan dan juga penurunan temperatur yang terjadi saat gas ditransmisikan didalam pipa. Terdapat penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dengan kondisi *Transmission Pipeline Network System* (TPNS) dan dalam menghitung distribusi tekanannya menggunakan metode Newton Raphson.

Hasil distribusi tekanan yang didapat bisa kurang dari 10 iterasi dengan batas error sebesar 10^{-11} [2]. Distribusi tekanan akan diprediksi dengan tolak ukur temperatur yang bernilai konstan (isothermal) dan temperatur yang bernilai non-isothermal (berubah) dengan menggunakan metode Secant.

2. Dasar Teori /Material dan Metodologi/perancangan

2.1 Dasar Teori

2.1.1 Gas Alam

Gas alam atau biasa disebut gas bumi terdapat pada ladang minyak maupun tambang batubara. Sedangkan saat ini penggunaan gas alam merupakan yang terbanyak dibandingkan dengan sumber daya alam lainnya. Selain

itu, banyaknya penggunaan gas alam dikarenakan salah satu karakteristik gas alam yang dikenal ramah lingkungan. Gas alam itu sendiri bersifat tidak berbau dan juga tidak berasa [1].

2.1.2 Transmisi Pipa

Saluran pipa sendiri mempunyai pengertian, yaitu sebagai bagian keseluruhan dari pergerakan gas, saat gas tersebut sedang dalam transportasi atau perjalanan pendistribusian dari sumber menuju lokasi tujuan [3].

Pipa transmisi dapat didefinisikan sebagai satu atau lebih pipa yang saling berhubungan membentuk suatu jaringan yang berfungsi untuk mengangkut gas alam dari sumber ke lokasi tujuan. Dalam perjalanan pendistribusiannya, didalam saluran transmisi pipa gas alam mengalami penurunan tekanan. Penurunan tekanan terjadi dikarenakan adanya gesekan dengan beberapa faktor-faktor yang mempengaruhi baik dari dalam maupun luar pipa. Sama halnya dengan tekanan, temperatur juga mengalami penurunan dikarenakan faktor perbedaan lingkungan yang secara tiba-tiba sehingga terjadi perbedaan suhu [4].

2.1.3 Pressure Drop

Persamaan *Panhandle A* merupakan persamaan laju alir yang sesuai untuk kondisi pipa dengan diameter pipa yang berskala medium hingga relatif besar, yaitu kisaran 12-60 inch dan juga untuk kondisi tekanan yang besarnya mulai dari 800 psia hingga 1500 psia [5]. Jika kondisi pipa dan tekanan tidak memenuhi kriteria tersebut, maka persamaan *Panhandle A* tidak bisa digunakan sebagai model acuan. Berikut persamaan *Panhandle A* [8] :

$$Q = 435.87 \cdot P^{1.0788} \cdot \left(\frac{L}{D} \right)^{-1.8539} \cdot \left(\frac{T}{T_b} \right)^{-0.5394} \cdot \left(\frac{P_b}{P} \right)^{-2.6182} \quad (1)$$

Keterangan:

- Q = Upstream pressure (psia)
- P = Downstream pressure (psia)
- s = Elevation adjustment parameter (dimensionless)
- γ_g = Specific gravity
- Q = Volume flow rate (SCFD)
- Z = Compressibility factor (dimensionless)
- η = Pipeline efficiency
- T = Average gas Temperature (R)
- L_e = Equivalent length of pipe segment (mile)
- D = Pipe id (in)
- P_b = Base pressure (psia)
- T_b = Base temperature (R)

Dengan persamaan untuk *Elevation adjustment parameter (s)* dan *Equivalent length of pipe segment (L_e)*[6] sebagai berikut:

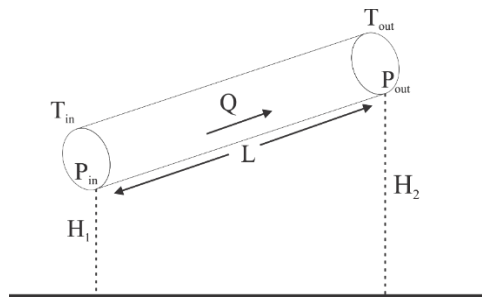
$$s = 0,0375 \cdot \left(\frac{H_1 - H_2}{L} \right) \quad (2)$$

$$L_e = \frac{L \cdot \left(\frac{H_1 - H_2}{L} \right)}{1} \quad (3)$$

Keterangan:

- H_1 = Inlet elevation (ft)
- H_2 = Outlet elevation (ft)
- L = Length pipe (ft)

Gambar 1 memaparkan ilustrasi H_1 (inlet elevation) dan H_2 (Outlet elevation) pada pipa :



Gambar 1 Penjelasan Elevasi

Jika Elevasi diabaikan (Elevasi = 0) atau dapat dikatakan pipa yang digunakan berbentuk horisontal, maka persamaan Panhandle A menjadi

$$Q = 435.87 \cdot P^{1.0788} \cdot \left(\frac{L}{D^{5.3139}} \right)^{0.5394} \cdot S^{6.182} \quad (4)$$

2.1.4 Temperature Drop

Pada awalnya gas alam yang ditransmisikan kedalam pipa memiliki suatu nilai temperatur, namun selama gas alam tersebut berada disepanjang pipa tidak hanya tekanan saja yang akan berubah nilainya, namun temperaturnyapun juga dapat mengalami perubahan nilai. Untuk mengetahui besar penurunan temperatur gas alam disepanjang pipa dapat menggunakan persamaan Hein[7],

$$\frac{T_2 - (T_0 + \beta)}{T_1 - (T_0 + \beta)} = \exp(-\beta \cdot L) \quad (5)$$

Keterangan:

- T_1 = Temperatur gas alam pada awal pipa, °F
- T_2 = Temperatur gas alam pada akhir pipa, °F
- β = $\frac{1.467 \cdot P \cdot Q}{D^2}$
- L = Panjang pipa, ft
- T_0 = Temperatur of undistrubed soil at pipe conterline depth (for condition to soil) or temperature of air, sea water, or other surrounding material (for convection), °F

Dengan persamaan β sebagai berikut,

$$\beta = \frac{1.467 \cdot P \cdot Q}{D^2} \quad (6)$$

Keterangan:

- h = $\frac{1}{2} \left(\frac{D}{L} \right)^{0.5} - \frac{1}{2} \left(\frac{D}{L} \right)^{1.5}$ - °F
- h = $\frac{1}{2} \left(\frac{D}{L} \right)^{0.5} - \frac{1}{2} \left(\frac{D}{L} \right)^{1.5}$
- Q = $\frac{1}{2} \left(\frac{D}{L} \right)^{0.5} - \frac{1}{2} \left(\frac{D}{L} \right)^{1.5}$
- h = $\frac{1}{2} \left(\frac{D}{L} \right)^{0.5} - \frac{1}{2} \left(\frac{D}{L} \right)^{1.5}$ - °F

Persamaan untuk menghitung fluid flow rate (m) sebagai berikut,

$$Q = \frac{W}{379.5 \cdot 24 \cdot 3600} \quad (7)$$

Keterangan:

W = Molecular Weigth

Dimana

$$W = \frac{29 \cdot P}{Q} \quad (8)$$

Keterangan:

$Q_{sc} = 29$

Sedangkan untuk menghitung Pressure efect factor (θ) dengan persamaan sebagai berikut,

$$\theta = \left[\frac{Q^2 (T_1 - T_2)}{\beta \cdot L} \right] + \frac{(T_1 - T_2)}{(788 \cdot P^2)} \quad (9)$$

Keterangan:

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

T_1 = Temperatur gas alam pada awal pipa (ft)

T_2 = Temperatur gas alam pada akhir pipa (ft)

Jika The joule thomson diabaikan (JT = 0) maka persamaan diatas menjadi

$$\theta = \frac{(T_1 - T_2)}{L}$$



(10)

2.1.5 Z Factor

California Natural Gas Association atau biasa disingkat CNGA merupakan persamaan perhitungan Z _faktor yang lebih sederhana dibandingkan dengan persamaan yang lainnya, namun untuk dapat menggunakan persamaan CNGA besar nilai tekanan rata-ratanya harus lebih dari 100 psig. Jika kurang dari 100 psig maka rumusan CNGA tidak valid untuk digunakan [7].

$$\begin{aligned}
 \diamond &= \frac{1}{[1 + (\frac{\diamond}{3.825} \cdot \frac{344400 (10)^{1.7836}}{\diamond})]} \tag{11}
 \end{aligned}$$

Keterangan :

$$\begin{aligned}
 \diamond &= \text{.....} \\
 \frac{\diamond}{3.825} &= \text{.....} \\
 \frac{\diamond}{3.825} \cdot \frac{344400 (10)^{1.7836}}{\diamond} &= \text{.....}
 \end{aligned}$$

2.1.6 Metode Secant

Metode Secant merupakan metode pencarian akar yang muncul setelah adanya metode Newton Raphson. Perbedaan antara dua metode tersebut adalah metode Secant tidak perlu mencari $f'(x)$ yang jauh lebih sulit daripada $f(x)$. Pada metode Secant cukup dengan fungsi $f(x)$ dan menggunakan dua nilai tebakan. Adapun

langkah-langkah perhitungannya sebagai berikut [8] :
 INPUT initial approximations p_0, p_1 ; tolerance TOL ; maximum number of iterations N .

OUTPUT approximate solution p or message of failure.

Step1 Set $i = 2$;

$$q_0 = f(p_0);$$

$$q_1 = f(p_1).$$

Step 2 While $i \leq N$ do Steps 3 – 6

$$\text{Step 3 Set } p = p_1 - \frac{q_1(p_1 - p_0)}{q_1 - q_0}. \quad (\text{Compute } p_i)$$

Step 4 If $|p - p_1| < TOL$ then

OUTPUT (p); (The procedure was succesful.)

Step 5 Set $i = i + 1$.

Step 6 Set $p_0 = p_1$; (Update p_0, q_0, p_1, q_1)

$$q_0 = p;$$

$$p_1 = p;$$

$$q_1 = f(p).$$

Step 7 OUTPUT (The method failed after N iteration, $N = N$);

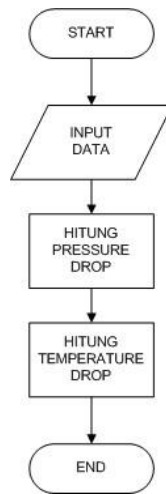
(The procedure was unsuccessful.)

STOP.

2.2 Metodologi dan Desain Sistem

2.2.1 Deskripsi Sistem

Perlu adanya perancangan sistem untuk menentukan nilai penurunan tekanan pada transmisi pipa. Gambar 2 adalah flowchart secara umum yang akan dibangun:



Gambar 2 Flowchart sistem secara umum

2.2.2 Data Lapangan Pipa dan Fluida

Data yang digunakan adalah data lapangan yang di ukur pada suatu lokasi. Data tersebut terbagi menjadi 2 jenis, yaitu data pipa dan data fluida.

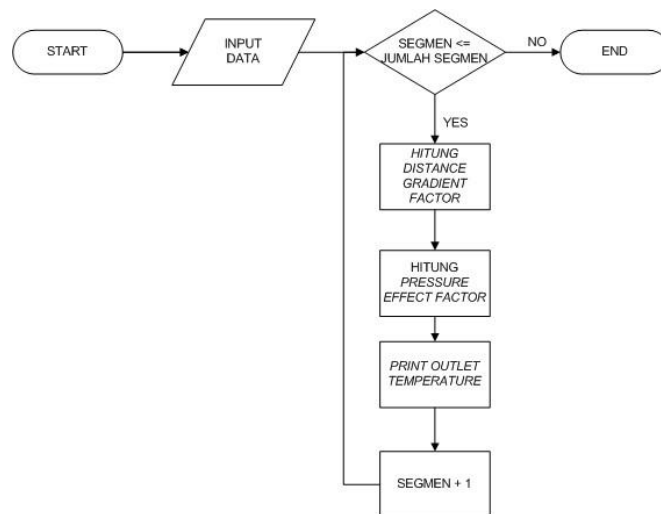
Tabel 1 Tabel data lapangan pipa dan fluida (1)

Segment	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

Tabel 2 Tabel data lapangan pipa dan fluida (2)

Parameter	Value	Unit
Inside diameter (D)	11,938	in.
Flow Efficiency (E)	90	%
Pipe length (L)	41,775	km
Flow rate (Q)	40,4	MMscfd
Inlet pressure (P_{in})	954,48	psig
Outlet pressure (P_{out})	908,41	psig
Inlet temperature (T_{in})	90,8	°F
Outlet temperature (T_{out})	82,32	°F
Ambient temperature (T_s)	77	°F

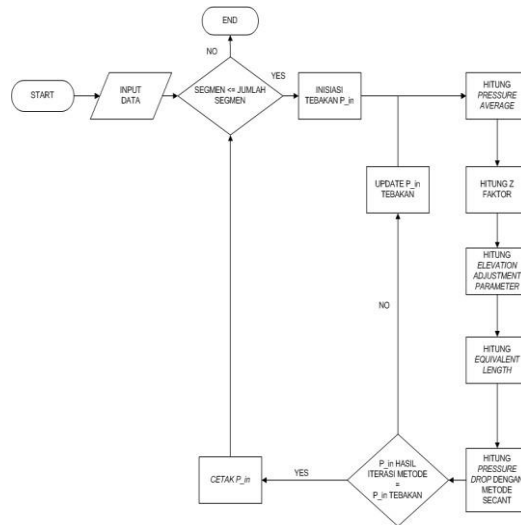
2.2.3 Perhitungan Temperature Drop



Gambar 3 Flowchart Sistem Perhitungan Temperature Drop

2.2.4 Perhitungan Pressure Drop

Model yang akan digunakan metode secant untuk melakukan perhitungan penurunan adalah persamaan Panhandle A (equation 1). Gambar 4 adalah flowchart perhitungan pressure drop:

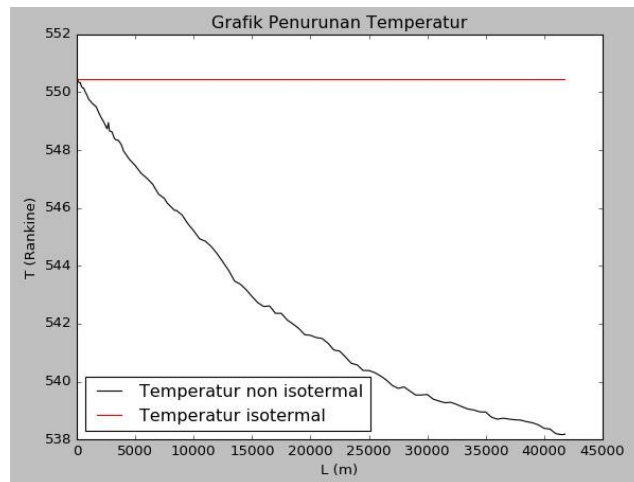


Gambar 4 Flowchart Sistem Perhitungan *Pressure Drop*

3. Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian dan Analisis Distribusi Temperatur

Pada pengujian ini, temperatur dibagi menjadi dua, yaitu isothermal dan non isothermal, setelah itu hasil yang didapat dibandingkan dengan hasil temperatur dari data lapangan. Dari pengujian tersebut diperoleh hasil seperti Gambar 5.



Gambar 5 Grafik Distribusi Temperatur

Dari pengujian tersebut diperoleh hasil temperatur akhir sebesar 538.18 R, sedangkan hasil temperatur akhir yang diperoleh pada data lapangan sebesar 541.27 R. Dari hasil tersebut berarti kurang lebih temperatur mengalami penurunan sebesar 9 sampai 12 R. Untuk hasil yang lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.

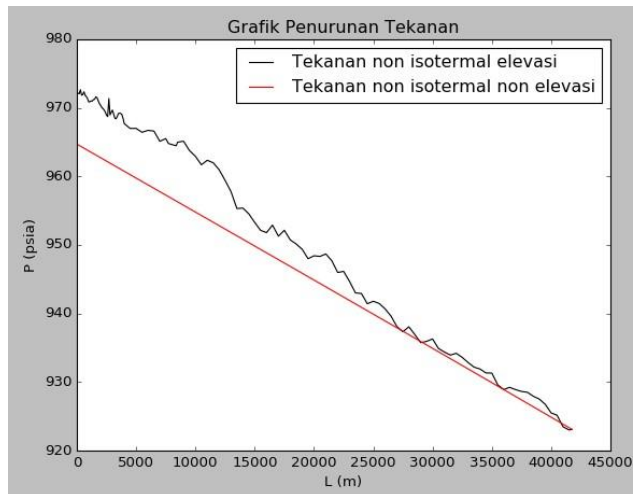
Tabel 3 Tabel Hasil Distribusi Temperatur

Iterasi	Length (m)	Temperatur (R) non-iso	Temperatur (R) iso
1	0	550,47	550,47
2	100	550,3925	550,47
...
117	41.500	538,1672	550,47
118	41.775	538,1828	550,47

3.2 Hasil Pengujian dan Analisis Distribusi Tekanan

3.2.1 Tekanan Dengan Temperatur Non Isotermal

Pada pengujian kondisi tekanan dengan temperatur non isotermal ini dibagi lagi menjadi dua, yaitu kondisi tekanan dengan temperatur non isotermal dan menggunakan elevasi, yang kedua yaitu kondisi tekanan dengan temperatur non isotermal tanpa elevasi (asumsi elevasi = 0).



Gambar 6 Grafik Distribusi Tekanan dengan temperatur non isotermal

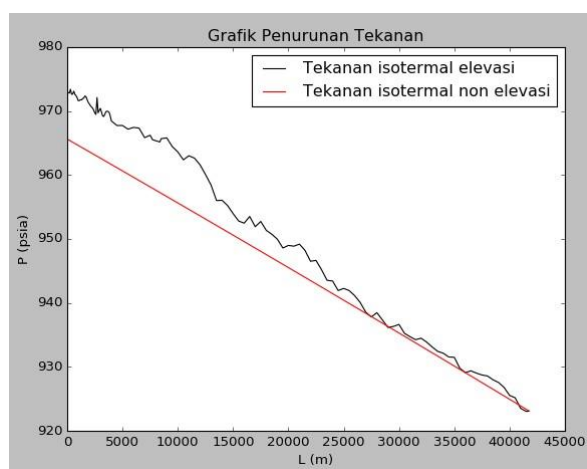
Diketahui tekanan akhir pada pipa sebesar 923.1059 psia. Lalu setelah dihitung menggunakan persamaan *Panhandle A* hasil outputan kondisi tekanan dengan temperatur non isotermal dan elevasi diperhitungkan adalah 972.3101 psia. Sedangkan hasil outputan kondisi tekanan dengan temperatur non isotermal dan elevasi diabaikan sebesar 964.7043 psia. Dari data diketahui tekanan awal pipa sebesar 969.176. Penurunan tekanan terjadi kurang lebih sebesar 3 sampai 5 psia. Untuk lebih lengkapnya dijelaskan pada Tabel 4.

Tabel 4 Tabel Distribusi Tekanan Berubah non Elecvasi

Iterasi	Length	P non iso	P noniso non elev
1	0	972.3101839	964.7043025
2	100	972.1037434	964.6050036
...
117	41500	923.0410359	923.3835559
118	41775	923.105949	923.105949

3.2.2 Tekanan Dengan Temperatur Isotermal

Pada pengujian kondisi tekanan dengan temperatur isotermal ini dibagi juga menjadi dua, yaitu kondisi tekanan dengan temperatur isotermal dan menggunakan elevasi, yang kedua yaitu kondisi tekanan dengan temperatur isotermal tanpa elevasi (asumsi elevasi = 0).



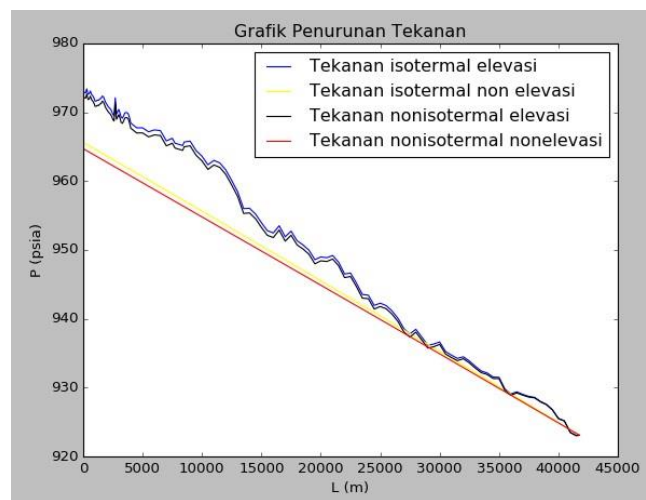
Gambar 7 Grafik Distribusi Tekanan isotermal

Hasil outputan kondisi tekanan dengan temperatur isothermal dan elevasi diperhitungkan adalah 973.0628 psia. Sedangkan hasil outputan kondisi tekanan dengan temperatur isothermal dan elevasi diabaikan sebesar 965.6078 psia. Dari data lapangan diketahui tekanan awal pipa sebesar 969.176. Penurunan tekanan terjadi kurang lebih sebesar 4 sampai 5 psia. Untuk lebih lengkapnya dijelaskan pada Tabel 5.

Tabel 5 Tabel Distribusi Tekanan isothermal

Iterasi	Length (m)	P isothermal elevasi (psia)	P isothermal non elevasi(psia)
1	0	973.0628569	965.60787
2	100	972.856409	965.5086679
...
117	41500	923.0623699	923.3930199
118	41775	923.105949	923.105949

Setelah melakukan pengujian terhadap tiap kondisi seperti yang telah dijelaskan di atas, dari keseluruhan hasil pengujian tersebut diperoleh grafik nilainya seperti pada Gambar 8.



Gambar 8 Grafik Distribusi Tekanan Keseluruhan

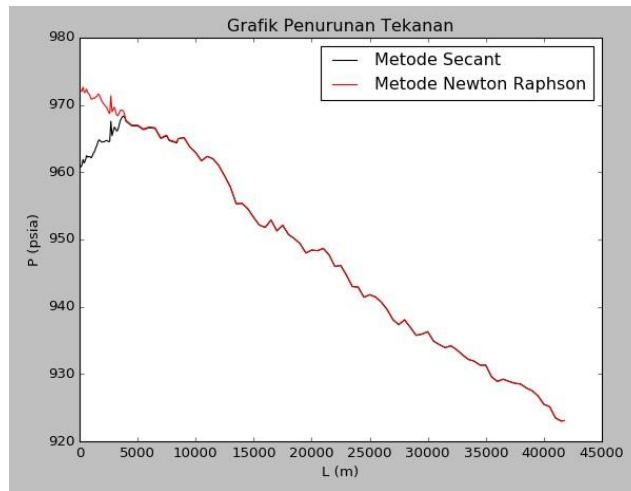
Dari grafik hasil pengujian tiap kondisi seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, terlihat bahwa hasil keseluruhan dari tiap kondisi tidak terlalu jauh perbedaannya, untuk hasil lebih jelasnya pada Tabel 6.

Tabel 6 Tabel Distribusi Tekanan Keseluruhan

Kondisi	Tekanan Awal (psia)	Tekanan Akhir (psia)	Error (%)
Tekanan dengan temperatur non isothermal dan menggunakan elevasi	972.3102	923.1059	0.3234
Tekanan dengan temperatur non isothermal tanpa elevasi	964.7043	923.1059	0.4614
Tekanan dengan temperatur isothermal dengan menggunakan elevasi	973.0628	923.1059	0.4010
Tekanan dengan temperatur isothermal tanpa elevasi	965.6079	923.1059	0.3681
Data Lapangan	969.176	923.1059	-

Hasil tersebut menunjukkan bahwasannya kondisi tekanan dengan temperatur non isothermal dan menggunakan elevasi yang paling mendekati data lapangan dengan mengalami penurunan tekanan yang paling kecil dilihat dari errornya yang hanya kisaran 0,32 % dengan jumlah iterasi sebesar 43 iterasi.

Selanjutnya hasil dari kondisi tersebut akan dibandingkan dengan melakukan perhitungan menggunakan metode Newton Raphson dengan dibatasi hanya 33 iterasi, setelah itu dibandingkan error yang diperoleh pada masing-masing metode. Hasil perhitungannya ditunjukkan pada Tabel 4-5 dan Gambar 4-5.



Gambar 9 Grafik Perbandingan Dua Metode

Tabel 7 Hasil Perbandingan Dua Metode

	Metode Newton Raphson	Metode Secant
1	972,3102	960,6879
2	972,1037	960,7692
...
117	923,041	923,041
118	923,1059	923,1059

Tabel 8 Tabel Perbandingan Kedua Metode

Metode	Iterasi	Error
Secant	33	1,835 %
Newton Raphson	33	0,32 %

Tabel 8 menunjukkan bahwa error hasil perhitungan menggunakan metode Newton Raphson dengan 33 iterasi lebih kecil dibandingkan metode Secant. Namun, dengan error yang masih dibawah 3% tentu tidak ada salahnya menggunakan metode Secant sebagai metode yang digunakan, karena metode Secant tidak perlu mencari derivatif fungsi yang digunakan.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari tugas akhir ini sebagai berikut.

1. Hasil perhitungan tekanan non isothermal dan menggunakan elevasi yaitu sebesar 972,3102 psia dengan error 0,32 %.
2. Hasil perhitungan tekanan non isothermal dengan pipa horizontal yaitu sebesar 964,7043 psia dan error 0,46 %.
3. Hasil perhitungan tekanan isothermal dan menggunakan elevasi yaitu sebesar 973,0628 psia dengan error 0,401 %.
4. Hasil perhitungan tekanan isothermal dengan pipa horizontal yaitu sebesar 965,6079 psia dengan error 0,36 %.
5. Hasil perhitungan penurunan tekanan yang mendekati dengan data lapangan adalah saat kondisi tekanan dengan temperatur non isothermal dan menggunakan elevasi yaitu sebesar 972,3102 psia dengan error 0,32 %.
6. Hasil perhitungan tekanan dengan metode Secant diperoleh pada iterasi ke 43 dengan batasan error 10^{-11} .

4.2 Saran

Adapun saran yang bisa diperoleh dari tugas akhir ini sebagai berikut.

1. Sebaiknya jangan terlalu banyak mengabaikan variabel yang akan digunakan, agar hasil yang didapat lebih mendekati hasil dari data lapangan.
2. Melakukan pengujian dengan metode yang lain, agar mendapatkan hasil yang lebih baik lagi.

Daftar Pustaka

- [1] “Pembangunan Jaringan Gas Bumi Untuk Rumah Tangga”, Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral, [Online], Available : <http://www.migas.esdm.go.id/post/category/publikasi/perpustakaan/bukupencapaianmigas> [diakses 11 11 2015]
- [2] 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.
- [3] ASME B31.8, “Gas Transmission and Distribution Piping Systems”, The American Society of Mechanical Engineers, New York, 2004.
- [4] F.S. Manning, R.E Thompson. “Oilfield Processing of Petroleum Volume One: Natural Gas”
- [5] M.Saeid, P.A. William. “Handbook of Natural Gas Transmission and Processing”, second ed., 2012.
- [6] E.S. Menon. “Gas Pipeline Hydraulics”, 2005.
- [7] W.C. Lyons, G.J. Plisga. “Standard Handbook of Petroleum and Natural Gas Engineering”, second ed., Elsevier, 2005
- [8] R.L. Burden, J.D. Faires. “Numerical Analysis”, Ninth Edition, Brooks/Cole cengage learning, Canada, 2011.