

PENENTUAN PERSAMAAN FAKTOR GESEKAN BARU DENGAN MENGGUNAKAN METODE REGRESI MULTI VARIABEL BERTOLAK UKUR PADA PERSAMAAN FAKTOR GESEKAN CHEN

Jenne Syarif

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Lhokseumawe

Faktor gesekan, f , merupakan salah satu variable yang menentukan besarnya penurunan tekanan pada aliran fluida dalam pipa. Untuk aliran gas dalam pipa korelasi yang sering digunakan di lapangan adalah persamaan Weymouth untuk diameter pipa kecil dan Panhandle.B untuk pipa diameter besar. Korelasi yang dapat digunakan pada selang ukuran pipa yang lebih lebar adalah persamaan Chen. Akan tetapi persamaan Chen memerlukan banyak input variable yang tidak mudah di jumpai dilapangan.

Kata kunci : Tekanan, faktor gesekan, temperatur, faktor deviasi gas, viskositas gas, Laju alir gas, diagram Moody, kekasaran relatif, kekasaran pipa., Chen, persamaan Baru.

PENDAHULUAN

Gas alam diperkirakan akan menjadi sumber energi utama yang akan berkembang paling cepat di seluruh dunia dalam 25 tahun mendatang. Penggunaan gas diperkirakan akan tumbuh rata-rata 3.3 persen pertahun sampai tahun 2020.

Di Indonesia, gas bumi mempunyai peranan yang sangat penting mengingat gas termasuk salah satu penghasil devisa negara yang besar. Diperkirakan Indonesia memiliki cadangan gas sebesar 170 trillion standard cubic feet (TSCF). Lebih dari 70 persen cadangan gas tersebut terletak di lepas pantai sekitar enam puluh persen gas alam di Indonesia dipasarkan sebagai LNG dan LPG untuk ekspor.

Produksi gas untuk dapat sampai pada konsumen memerlukan sarana transportasi. Pipa merupakan salah satu sarana transportasi gas yang paling banyak digunakan sebab dinilai paling efisien. Pembuatan dan pemasangan pipa relatif mudah dan dapat digunakan dalam jangka waktu yang lama.

Gas yang mengalir dalam pipa akan mengalami kehilangan tekanan. Besar kecilnya kehilangan tekanan yang terjadi dipengaruhi oleh beberapa besaran, seperti : tekanan gas, laju alir gas (Q), diameter pipa (d), panjang pipa (L), temperatur

(T), viskositas (μ), faktor deviasi gas (z), besarnya sudut elevasi apabila gas mengalir dalam pipa yang membentuk sudut tertentu terhadap permukaan horizontal serta gesekan yang terjadi antara dinding bagian dalam pipa dengan gas yang mengalir.

Untuk menghitung faktor gesekan persamaan – persamaan yang banyak digunakan dilapangan adalah persamaan umum aliran gas antara lain: persamaan Panhandle B, persamaan Panhandle A, persamaan Weymouth, dan persamaan Chen. Dengan harga dari persamaan faktor gesekan Chen menurunkan korelasi faktor gesekan yang dituliskan secara regresi banyak variabel (multiple variable regression) untuk mendapatkan persamaan baru, sehingga mudah penggunaannya. Untuk mendesain pipa aliran turbulen penuh dilapangan menggunakan persamaan Chen.

Karena persamaan Chen itu sendiri memiliki persamaan yang cukup panjang dan kompleks dan juga tidak praktis jika digunakan dilapangan, maka perlu dilakukan suatu modifikasi tertentu pada persamaan tersebut sehingga pada akhirnya dapat diperoleh suatu persamaan baru yang praktis dalam melakukan perhitungan laju alir dan kehilangan tekanan pada sistem pemipaan

TEORI DASAR

sebagai akibat proses yang terjadi di dalam sistem tersebut akan mengikuti hukum konservasi energi. Secara umum hukum konservasi energi yang pada suatu sistem aliran fluida dalam pipa, dimana fluida mengalir dari satu titik ke titik lain, dan diantara kedua titik tersebut fluida mengalami berbagai proses mekanik, misalkan proses pemanasan, pemompaan, maka perubahan energi terjadi diantara kedua titik tersebut menyatakan bahwa :

Energi yang masuk ke titik pertama ditambah dengan kerja yang dilakukan oleh dan terhadap fluida diantara titik pertama dan kedua, dikurangi dengan energi yang hilang diantara kedua titik tersebut sama dengan energi yang keluar dari titik yang kedua.

Berdasarkan hukum konservasi energi tersebut dapat diturunkan persamaan energi yang selanjutnya dapat digunakan sebagai dasar pengembangan persamaan aliran fluida dalam pipa. Tiga komponen energi penyebab timbulnya kehilangan tekanan aliran dalam pipa yaitu energi potensial, energi kinetik dan energi karena gesekan.

Dasar Persamaan Aliran Gas dalam Pipa

Pada sub bab 2.1 ini akan dibicarakan tentang sifat fisik gas.

1. Kecepatan Aliran

Apabila seluruh penampang hanya dialiri oleh satu fasa saja, maka kecepatan aliran fasa tersebut disebut kecepatan superficial.

Superficial velocity gas adalah :

$$V_{sg} = \frac{q_g}{A} \quad (2.1)$$

2. Sifat Fisik Gas

Sifat fisik gas yang akan diterangkan disini meliputi :

1. Specific gravity gas
2. Viskositas gas
3. Faktor kompresibilitas gas

2.1 Specific Gravity Gas (γ gas)

Specific gravity gas didefinisikan sebagai perbandingan antara densitas gas dengan densitas udara pada kondisi tekanan dan temperatur yang sama.

$$SG_{gas} = \frac{\rho_{gas}}{\rho_{udara}} \quad (2.2)$$

Untuk gas nyata, persamaan densitas gas dapat dituliskan sebagai :

$$\rho_{gas} = \frac{M_w P}{R T} \quad (2.3)$$

Apabila densitas gas dan densitas udara diasumsikan sebagai gas nyata, maka specific gravity gas adalah sebagai berikut :

$$SG_{gas} = \frac{\rho_{gas}}{\rho_{udara}} = \frac{(M_w P / RT)_{gas}}{(M_w P / RT)_{udara}} \quad (2.4)$$

atau

$$SG_{gas} = \frac{(M_w)_{gas}}{28.964} \quad (2.5)$$

2.2 Viskositas Gas

Viskositas fluida didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya geser persatuan luas dengan kecepatan geser fluida tersebut, atau dengan kata lain viskositas adalah suatu ukuran keengganan fluida untuk mengalir perlawanan terhadap pengaliran jika diberikan suatu kekuatan tertentu. Secara umum harga viskositas tergantung oleh tekanan, temperatur dan komposisi fluida. Viskositas dari suatu campuran komponen-komponen gas dapat ditentukan sebagai berikut :

$$\mu_m = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i X_i \sqrt{M_i}}{\sum_{i=1}^n X_i \sqrt{M_i}} \quad (2.6)$$

Bila tekanan turun maka viskositas gas akan turun, dan bila viskositas gas akan naik jika temperatur naik. Pada persamaan semi empiris untuk mengkalkulasikan viskositas gas dijabarkan oleh Lee Gonzalez dan Eakin.

$$\mu_g = 10^{-4} K \text{ EXP} (X (\rho_g / 62.4)^Y) \quad (2.7)$$

Dimana :

$$K = \frac{(9.4 + 0.02 MW_u)}{209 + 19 MW_u} T^{1.5} \quad (2.8)$$

$$X = 3.5 + \frac{986}{T} + 0.01 MW_a \dots\dots\dots(2.9)$$

$$\bar{Y} = 2.4 - 0.2 X \dots\dots\dots(2.10)$$

2.3. Temperatur Pseudokritis (T_{pc}), Tekanan Pseudokritis (P_{pc}), Temperatur Pseudoreduksi (T_{pr}), dan Tekanan Pseudo-reduksi (P_{pr})

Temperatur pseudokritis yaitu temperatur tertinggi dimana fasa gas dan cair dapat berada dalam fasa terpisah. Tekanan pseudokritis adalah tekanan pada titik kritis merupakan tertinggi dimana fasa gas dan cair dapat berada dalam keadaan terpisah. Untuk itu diperlukan temperatur dan tekanan pseudokritis yang dapat ditentukan dengan menggunakan korelasi Brown, dkk untuk gas adalah :

$$T_{pc} = 168 + 325 \gamma_g - 12.5 \gamma_g^2 \dots\dots\dots(2.11)$$

$$P_{pc} = 677 + 15.0 \gamma_g - 37.5 \gamma_g^2 \dots\dots\dots(2.12)$$

Harga temperatur pseudokritis dan tekanan pseudokritis digunakan untuk menghitung temperatur pseudoreduksi dan tekanan pseudoreduksi yang dihitung dengan persamaan sebagai-berikut :

$$P_{pr} = P / P_{pc} \dots\dots\dots(2.13)$$

dan

$$T_{pr} = T / T_{pc} \dots\dots\dots(2.14)$$

2.4. Faktor Kompresibilitas Gas (Z)

Faktor deviasi gas merupakan ukuran besarnya penyimpangan volume gas nyata dibandingkan dengan kondisi idealnya. Pada penulisan tesis ini faktor deviasi gas dicari dengan menggunakan metode Dranchuk, Purvis dan Robinson (1974), dimana delapan koefisien dari metode ini diperoleh dari data grafik Standing dan Katz .

$$Z = 1 + \left[A_1 + \frac{A_2}{T_{pr}} + \frac{A_3}{T_{pr}^3} \right] \rho_r + \left[A_4 + \frac{A_5}{T_{pr}} \right] \rho_r^2 + \left(\frac{A_5 A_6}{T_{pr}} \right) \rho_r^5 + \left[\frac{A_7}{T_{pr}^3} \rho_r^2 \right] \left[1 + A_8 \rho_r^2 \right] \text{EXP} \left(-A_8 \rho_r^2 \right) \dots\dots\dots(2.15)$$

dimana :

Pada persamaan ini densitas gas dihitung dengan rumus :

$$\rho_r = \frac{0.27 P_{pr}}{Z_a T_{pr}} \dots\dots\dots(2.16)$$

Besarnya koefisien A_1 sampai dengan A_8 adalah :

$A_1 = 0.31506237$	$A_5 = -0.61232032$
$A_2 = -1.0467099$	$A_6 = -0.10488813$
$A_3 = -10.57832729$	$A_7 = 0.68157001$
$A_4 = 0.53530771$	$A_8 = 0.68446549$

3. Aliran Gas Dalam Pipa

3.1. Persamaan Dasar Aliran

Didalam pipa aliran gas merupakan aliran satu fasa, yang mana fungsi dari perbedaan tekanan inlet (upstream) dan tekanan outlet (downstream), serta parameter-parameter lainnya dari sifat fisik gas tersebut serta dari pipa itu sendiri. Pada aliran gas didalam pipa ini ada dua hal yang erat berkaitan adalah menentukan kapasitas maksimum dari sistem pemipaan dan besarnya tekanan yang diperlukan .

Ada beberapa persamaan umum yang digunakan untuk menghitung laju alir gas dalam pipa. Untuk pipa horizontal dan diameter konstan persamaan mekanikal energi yang digunakan adalah :

$$\frac{dp}{dL} = \frac{f \rho u^2}{2 g_c D} = \frac{p M}{Z R T} \frac{f u^2}{2 g_c D} \dots\dots\dots(2.17)$$

Banyak persamaan pipa yang telah dikembangkan berdasarkan persamaan diatas (2.17) .Bila ada perbedaan dalam persamaan biasanya dari penggunaan metode dalam menentukan z - faktor dan faktor gesekan (f).

$$\int dp = \frac{M f u^2}{2 R g_c D} \int \frac{p}{z T} dL \dots\dots\dots(2.18)$$

Jika temperatur dianggap konstan, dan faktor deviasi gas (z) ditentukan pada keadaan temperatur rata-rata (T), dan tekanan rata-rata (P) pada pipa. Evaluasi persamaan (2.19) untuk jarak (L) antara dua titik dengan tekanan upstream (P_1) dan tekanan downstream (P_2) :

$$P_1^2 - P_2^2 = \frac{25 \gamma_g q^2 \bar{T} z f L}{D^5} \dots\dots\dots(2.19)$$

Persamaan (2.20) dapat ditulis untuk menghitung laju alir gas pada kondisi standar T_b ($60^{\circ}F$) dan P_b (14.7 psia).

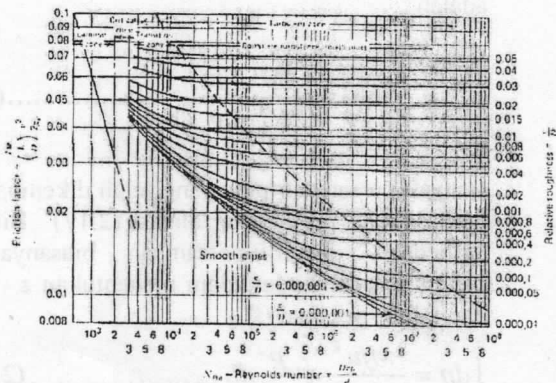
$$q = 77.54 \times 10^{-6} \frac{T_b}{P_b} \left[\frac{(P_1^2 - P_2^2)}{\gamma_g \bar{T} z f L} D^5 \right]^{0.5} \dots (2.20)$$

3.2. Faktor Gesekan.

Pada aliran gas akan terjadi perubahan energi secara irreversible sebab aliran gas tersebut akan menghasilkan energi mekanik yang akan berubah menjadi energi panas. Perubahan itu merupakan kehilangan energi akibat adanya faktor gesekan yaitu gaya yang bekerja pada permukaan padatan, yaitu dinding pipa sebelah dalam dengan fluida yang mengalir dalam pipa.

Secara garis besar faktor gesekan tergantung pada laju alir dan diameter dari pipa. Untuk metode Weymouth faktor gesekan hanya bergantung pada diameter pipa saja, sedangkan metode yang lain merupakan fungsi dari bilangan Reynold. Moody menyatakan bahwa faktor gesekan merupakan fungsi dari bilangan Reynolds dan relative roughness. Hubungan antara bilangan Reynolds, relative roughness dan faktor gesekan dapat ditentukan dengan menggunakan Gambar 2.1 dibawah ini.

Reynolds Number and Friction Factor 253



faktor gesekan menunjukkan harga yang semakin kecil. Dalam penulisan ini diperkirakan turbulen penuh mengingat laju alir gas yang melewati pipa transmisi gas sangat besar. Metode yang digunakan untuk menghitung faktor gesekan dalam penulisan ini dan juga relative roughness sebagai acuan perhitungan dari pipa yang digunakan.

3.2.1 Weymouth

Untuk menghindari prosedur trial dan error, Weymouth akhirnya mengusulkan sebuah persamaan untuk menghitung faktor gesekan yang dinyatakan sebagai fungsi dari diameter pipa, yaitu:

$$f = \frac{0.032}{D^{1/3}} \dots (2.21)$$

3.2.2 Panhandle A

Dalam persamaan Panhandle A menggunakan persamaan dasar yang sama seperti Weymouth. Persamaan aliran pipa oleh Panhandle A menyebutkan bahwa faktor gesekan merupakan fungsi dari bilangan Reynolds dan dinyatakan dalam persamaan berikut ini.

$$f = \frac{0.085}{N_{Re}^{0.147}} \dots (2.22)$$

3.2.3 Panhandle B

Persamaan Panhandle B merupakan modifikasi dari persamaan Panhandle A, yang dapat digunakan untuk pipa transmisi jarak jauh, permukaan halus dan laju alir nya besar. Sama halnya metode Panhandle A, Panhandle B menyatakan bahwa faktor gesekan merupakan fungsi dari bilangan Reynolds dan dinyatakan dalam persamaan berikut ini :

$$f = \frac{0.015}{N_{Re}^{0.0392}} \dots (2.23)$$

3.2.4 Chen

Chen menurunkan korelasi faktor gesekan yang sangat kompleks dibandingkan dari semua persamaan faktor gesekan yang telah ada tetapi dibuat berdasarkan penelitian dan sesuai untuk pipa-pipa yang permukaan kasar dan daerah turbulen penuh. Persamaan Chen (Economides M.J "Petroleum Production Systems") adalah fungsi dari bilangan Reynold dan kekasaran relatif namun persamaannya sangat kompleks. Persamaan Chen dinyatakan dalam persamaan berikut ini :

$$\frac{1}{\sqrt{f_f}} = -4 \log \left\{ \frac{\epsilon}{3.7065} - \frac{5.0452}{N_{Re}} \log \left[\frac{\epsilon^{1.1098}}{2.8257} + \left(\frac{7.149}{N_{Re}} \right)^{0.8981} \right] \right\} \dots (2.24)$$

Pada persamaan (2.24) persamaan Chen dihubungkan dengan faktor gesekan fanning (f^*) yang mana hasil dari persamaan Chen dikalikan dengan 4 ($f^* \text{ Chen} \times 4$) maka hasilnya sama dengan Darcy atau faktor gesekan Moody.

3.3 Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds adalah bilangan tak berdimensi yang digunakan sebagai acuan untuk menentukan jenis aliran dalam pipa apakah aliran laminar atau aliran turbulen.

Persamaan untuk menentukan bilangan Reynolds adalah:

$$N_{re} = \frac{20000 \gamma_g q_g}{\mu_g d} \quad (2.25)$$

Dimana :

q = laju alir gas (MCFD) pada $T = 60^\circ\text{F}$ dan $P = 14,73$ psia

γ_g = gravity gas (udara = 1)

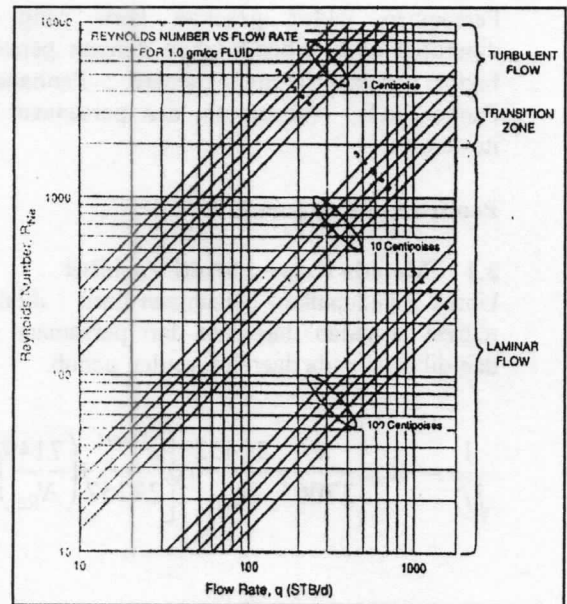
μ = viscositas gas (cp)

D = Diameter pipa (in)

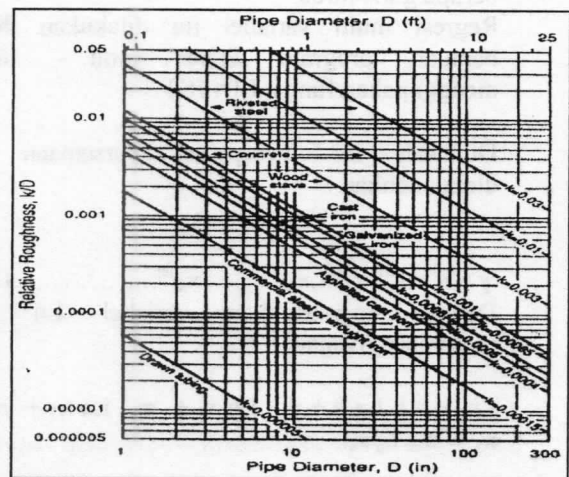
Bila Laju alirnya bertambah besar maka N_{re} akan naik. Bila laju alirnya bertambah terus, maka jenis/sifat aliran berubah dari laminar ke turbulen. Batasan N_{re} untuk perubahan sifat aliran dari laminar ke turbulen biasanya adalah 2100. Dalam tulisan ini fokus kajian di tunjukkan pada aliran turbulen penuh mengingat laju alir gas yang melalui pipa sangat besar dan untuk N_{re} nya tidak ada batasan yang pasti, dan berhubungan pada kekasaran relatif dari pipa tersebut.

Pada gambar (2.2) memberikan grafik yang menunjukkan variasi dari bilangan Reynolds dengan volumetrik laju alir, dan viskositas sebagai parameter, dan ukuran pipa. Pada aliran laminar akan terjadi secara relatif untuk laju alir tinggi dengan fluida viscositas tinggi.

Gambar (2.3) memberikan grafik yang menunjukkan kekasaran pipa untuk beberapa material pipa yang nantinya digunakan untuk mencari harga laju alir dengan persamaan faktor gesekan yang terakhir diperoleh pada penulisan tesis ini dan persamaan – persamaan faktor gesekan lainnya, biasanya digunakan untuk pipa baru yang dikomersialkan.



Gambar 2.2 Variasi bilangan Reynolds dengan Volumetrik laju alir, Viscositas, dan ukuran pipa.



Gambar 2.3 Kekasaran relatif dari beberapa material pipa (Moody).

PEMBAHASAN

PENENTUAN PERSAMAAN FAKTOR GESEKAN BARU

Hasil dari persamaan Chen digunakan untuk mencari persamaan faktor gesekan baru yang didasari oleh persamaan factor gesekan Chen itu sendiri pada aliran turbulen penuh. Persamaan Chen ini merupakan fungsi dari bilangan Reynolds dan kekasaran relatif.

Persamaan faktor gesekan baru yang telah diperoleh akan dibandingkan dengan persamaan faktor gesekan lainnya seperti : Panhandle.A, Panhandle.B, Weymouth, dan persamaan Chen itu sendiri.

Penurunan Persamaan

3.1 Metode Regresi Multi Variabel

Untuk mendapatkan persamaan baru dilakukan regresi terhadap data-data dari persamaan Chen dan dibatasi pada daerah turbulen penuh.

$$\frac{1}{\sqrt{f_f}} = -4 \log \left[\frac{\epsilon}{3.7065 N_{Re}} \log \left[\frac{\epsilon^{1.1098}}{28257} + \left(\frac{7.149}{N_{Re}} \right)^{0.8981} \right] \right]$$

Metode regresi yang dilakukan merupakan regresi multi variabel dimana kekasaran relatif dan Reynolds Number merupakan variabel bebas. Regresi dilakukan pada skala Logaritma Natural (Ln) sehingga diharapkan akan terjadi hubungan berupa garis lurus.

Regresi multi variabel ini dilakukan dengan bantuan program Excel yaitu dengan menggunakan fungsi LINEST.

Dibawah ini merupakan persamaan yang diexponenkan :

$$y = e^b \cdot x_1^{m_1} \cdot x_2^{m_2} \cdot x_3^{m_3} \dots x_n^{m_n} \dots \dots \dots (2.27)$$

Dengan memasukkan variabel Ln maka persamaan menjadi :

$$\ln y = b \ln e + m_1 \cdot \ln x_1 + m_2 \cdot \ln x_2 + m_3 \cdot \ln x_3 + \dots m_n \cdot \ln x_n \dots \dots \dots (2.28)$$

Dimana :

- y = merupakan fungsi dari variabel bebas x
- m = merupakan koefisien yang berhubungan dengan masing- masing harga x
- b = adalah konstanta

Pada penulisan tesis ini bentuk persamaan umum diatas menjadi :

$$\ln(f) = b \ln e + m_1 \ln(Nre) + m_2 \ln(e/D) + m_3 \ln(e/D)^2 + \dots \dots \dots (2.29)$$

Atau:

$$f = e^b \cdot (Nre)^{m_1} \cdot (e/D)^{m_2} \cdot (e/D)^{-2 \cdot m_3} + \dots \dots \dots (2.30)$$

Data yang keluar dari fungsi LINEST adalah sebagai mana yang diperlihatkan pada table (3.1) :

Tabel 3.1 Contoh urutan konstanta yang akan diperoleh:

	A	B	C	D	E
F					
1	m_n	m_{n-1}	...	m_2	m_1
b					
2	Se_n	Se_{n-1}	...	Se_2	Se_1
Se_b					
3	r_2	Se_y			
4	f	df			
5	SSreg	SSresid			

Dimana :

Se_1, Se_2, \dots, Se_n = Standar error untuk koefesien m_1, m_2, \dots, m_n

Se_b = Standar error untuk konstanta b

r_2 = Koefesien penentu (coefficient of determination). Harganya berkisar antara 0 dan 1.

Angka 1 menunjukkan adanya korelasi yang sempurna untuk sampel tersebut yang berarti tidak ada perbedaan antara harga y hasil persamaan dengan harga y yang sebenarnya. Sebaliknya jika menunjukkan harga 0 berarti persamaan tersebut tidak dapat dipakai untuk menentukan harga y.

Se_y = Standar error untuk y hasil perkiraan

f = Statistik f

df = derajat kebebasan

SS_{reg} = jumlah kuadrat regresi

SS_{resid} = jumlah kudrat residual

3.2 Persamaan Hasil Regresi

Data dari persamaan Chen yang telah dicari dari program Excel berkisar Nre $10^6 - Nre 10^8$ dan kekasaran relatif berkisar ($e/D = 0.000001$ sampai $e/D = 0.05$) untuk mencari satu persamaan baru dari program excel untuk melakukan regresi. Berikut tabel (3.2) yang digunakan untuk mencari program LINEST.

Tabel 3.2 Data regresi untuk Nre = 10^6 sampai 2×10^6

f Chen x 4	e/D	Nre	LN f	f
0.011675	0.000001	10^6	-4.74217	0.008719674
0.01177	0.000005	10^6	-4.69452	0.009145296
0.011885	0.00001	10^6	-4.64526	0.009607013
0.012682	0.00005	10^6	-4.46419	0.011513986
0.013479	0.0001	10^6	-4.35748	0.012810604
0.014717	0.0002	10^6	-4.23347	0.014501909
0.016511	0.0004	10^6	-4.09217	0.016702922
0.017867	0.0006	10^6	-4.0015	0.018288253

0.018985	0.0008	10 ⁶	-3.93357	0.019573633
0.019952	0.001	10 ⁶	-3.87883	0.020674922
0.023607	0.002	10 ⁶	-3.69737	0.024788643
0.028521	0.004	10 ⁶	-3.49861	0.030239412
0.032188	0.006	10 ⁶	-3.37432	0.034241269
0.035251	0.008	10 ⁶	-3.28255	0.037532337
0.037945	0.01	10 ⁶	-3.20932	0.040384175
0.043711	0.015	10 ⁶	-3.07166	0.046344303
0.048645	0.02	10 ⁶	-2.9704	0.051282997
0.057164	0.03	10 ⁶	-2.82262	0.059450101
0.064648	0.04	10 ⁶	-2.71418	0.066259367
0.071516	0.05	10 ⁶	-2.62801	0.07222172

Sambungan :

f Chen x 4	e/D	Nre	LN f	f
0.010414	0.000001	2 x 10 ⁶	-4.75465	0.008611557
0.010563	0.000005	2 x 10 ⁶	-4.70699	0.009031903
0.010738	0.00001	2 x 10 ⁶		0.009487894
0.011841	0.00005	2 x 10 ⁶	-4.47667	0.011371222
0.012832	0.0001	2 x 10 ⁶	-4.36996	0.012651763
0.014262	0.0002	2 x 10 ⁶	-4.24595	0.014322098
0.016213	0.0004	2 x 10 ⁶	-4.10465	0.016495821
0.017639	0.0006	2 x 10 ⁶	-4.01397	0.018061495
0.018798	0.0008	2 x 10 ⁶	-3.94605	0.019330937

Untuk bentuk logaritma Natural maka data pada Tabel 3.2 menjadi sebagai-berikut :

0.019793	0.001	2 x 10 ⁶	-3.89131	0.02041857
0.023509	0.002	2 x 10 ⁶	-3.70985	0.024481286
0.028461	0.004	2 x 10 ⁶	-3.51109	0.029864469
0.032143	0.006	2 x 10 ⁶	-3.3868	0.033816707
0.035214	0.008	2 x 10 ⁶	-3.29503	0.037066969
0.037913	0.01	2 x 10 ⁶	-3.22179	0.039883446
0.043686	0.015	2 x 10 ⁶	-3.08413	0.045769673
0.048625	0.02	2 x 10 ⁶	-2.98287	0.050647132
0.057148	0.03	2 x 10 ⁶	-2.83509	0.058712971
0.064634	0.04	2 x 10 ⁶	-2.72666	0.065437807
0.071504	0.05	2 x 10 ⁶	-2.64049	0.071326233

Tabel 3.3 Data regresi untuk Nre 10⁶ sampai 2x10⁶ dalam bilangan Logaritma Natural

ln f chen	ln e/d	Ln Nre	(ln e/d)^2
-4.45032	-13.8155	13.815511	190.86833
-4.442169	-12.2061	13.815511	148.98821
-4.43244	-11.5129	13.815511	132.54745
-4.36755	-9.90349	13.815511	98.079066
-4.306637	-9.21034	13.815511	84.83037

-4.218758	-8.51719	13.815511	72.54258
-4.103703	-7.82405	13.815511	61.215696
-4.024814	-7.41858	13.815511	55.035343
-3.964088	-7.1309	13.815511	50.849718
-3.914402	-6.90776	13.815511	47.717083
-3.746231	-6.21461	13.815511	38.621354
-3.557117	-5.52146	13.815511	30.486531
-3.43615	-5.116	13.815511	26.173413
-3.345253	-4.82831	13.815511	23.312614
-3.271618	-4.60517	13.815511	21.207592
-3.130166	-4.19971	13.815511	17.637523
-3.023198	-3.91202	13.815511	15.303924
-2.861832	-3.50656	13.815511	12.295948
-2.738803	-3.21888	13.815511	10.361162
-2.637836	-2.99573	13.815511	8.9744119

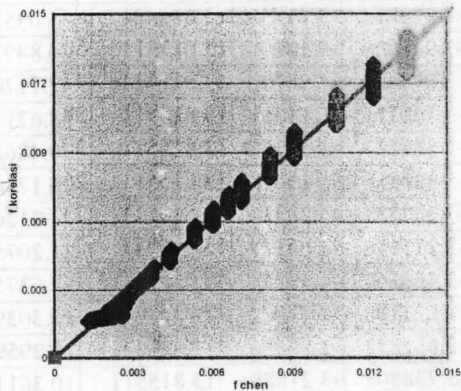
Sambungan:

ln f chen	ln e/d	Ln Nre	(ln e/d)^2
-4.564569	-13.8155	14.508658	190.86833
-4.550372	-12.2061	14.508658	148.98821
-4.533996	-11.5129	14.508658	132.54745
-4.436219	-9.90349	14.508658	98.079066
-4.355803	-9.21034	14.508658	84.83037
-4.250187	-8.51719	14.508658	72.54258
-4.121947	-7.82405	14.508658	61.215696
-4.03765	-7.41858	14.508658	55.035343
-3.97398	-7.1309	14.508658	50.849718
-3.922444	-6.90776	14.508658	47.717083
-3.750376	-6.21461	14.508658	38.621354
-3.559214	-5.52146	14.508658	30.486531
-3.43755	-5.116	14.508658	26.173413
-3.346303	-4.82831	14.508658	23.312614
-3.272457	-4.60517	14.508658	21.207592
-3.130724	-4.19971	14.508658	17.637523
-3.023615	-3.91202	14.508658	15.303924
-2.862108	-3.50656	14.508658	12.295948
-2.739009	-3.21888	14.508658	10.361162
-2.638	-2.99573	14.508658	8.9744119

Tabel 3.4 Hasil Regresi adalah :

m ₃	m ₁	m ₂	b
0.0178422	-0.0180769	0.49798339	-1.0418762
0.0002743	0.00189745	0.00444445	0.035092799
0.9944337	0.05094614	#N/A	#N/A
22391.245	376	#N/A	#N/A
174.35005	0.9759115	#N/A	#N/A

Hasil dari program LINEST pada Metode Regresi Multi Variabel untuk persamaan baru pada suatu garis lurus dapat dilihat pada grafik (3.1) dibawah:



Grafik 3.1 Hasil dari program LINEST

3.3 Penurunan Persamaan Faktor Gesekan

Penurunan persamaan faktor gesekan didasari oleh persamaan Chen pada daerah turbulen penuh, yang mana dari diagram Moody bisa kita lihat bahwa pada daerah turbulen penuh, harga faktor gesekan sangat kecil dipengaruhi oleh bilangan Reynolds bahkan hampir tidak berpengaruh, sehingga bisa dianggap linier.

Sehingga bila dikaitkan dengan regresi multi variabel maka variabel-variabel yang ada pada persamaan regresi sebelumnya akan dimasukkan harga-harga Nre dan e/D kemudian dipersingkat persamaan tersebut untuk mendapatkan persamaan faktor gesekan yang akan dicari. Tabel (3.5) berikut ini merupakan variabel yang akan digunakan.

Tabel 3.5 Variabel yang digunakan dalam persamaan faktor gesekan baru

Variabel	Melambangkan
Y	Logaritma natural factor gesekan (f)
X ₁	Logaritma natural bilangan Reynolds (Nre).
X ₂	Logaritma natural kekasaran relatif (e/D).
X ₃	Logaritma natural kekasaran relatif kuadrat (e/D) ²

Dari persamaan :

$$\ln y = b + m_1 \ln x_1 + m_2 \ln x_2 + m_3 \ln x_3 + \dots + m_n \ln x_n \dots (2.31)$$

Atau :
 Persamaan :

$$y = e^b \cdot x_1^{m_1} \cdot x_2^{m_2} \cdot x_3^{m_3} \dots x_n^{m_n} \dots (2.32)$$

Dengan mengubah variabel pada persamaan diatas dengan variabel yang ada pada tabel (3.4) maka akan didapat persamaan berikut ini :

$$\begin{aligned} \ln f &= -1.0418 - 0.01808 \cdot \ln Nre + 0.497983 \cdot (\ln e/D) + \\ & 0.017842 \cdot (\ln e/D)^2 \\ f &= 0.3528 \cdot Nre^{-0.01808} \cdot (e/D)^{0.497983} \cdot (e/D)^{0.017842} \\ f &= 0.3528 \cdot Nre^{-0.01808} \cdot (e/D)^{0.497983} \cdot (e/D)^{0.035684} \end{aligned}$$

Disederhanakan menjadi :

$$f = 0.3528 \cdot Nre^{-0.01808} \cdot (e/D)^{0.5337}$$

Atau :

$$f = 0.3528 \times ((e/D)^{0.5337}) / (Nre^{0.01808}) \dots (2.33)$$

Persamaan yang telah diperoleh diatas (2.33) dipersingkat lagi dengan memasukkan harga Nre 10⁶ hingga Nre 10⁸ dan kekasaran relatif dipilih pada jenis kekasaran pipa untuk baja komersial atau besi tempa kemudian dari tiga (3) persamaan tersebut dirata-ratakan maka didapat satu persamaan yang lebih singkat dan mudah digunakan .

Persamaan ini diharapkan mirip seperti persamaan Weymouth dan harganya mendekati Panhandle.B sehingga persamaan inilah yang digunakan nantinya.

Dari persamaan (2.33) :

$$\text{Harga : } e = 0.0025 \text{ ft} = 0.0025 \times 12 \text{ in} = 0.03 \text{ in}$$

Maka :

- Untuk harga Nre = 10⁶ didapat $f = \frac{0.04234169}{D^{0.5337}}$
- Untuk harga Nre = 10⁷ didapat $f = \frac{0.040622644}{D^{0.5337}}$
- Untuk harga Nre = 10⁸ didapat $f = \frac{0.03897339}{D^{0.5337}}$

Jumlah dari ke tiga (3) persamaan diatas :

$$f = \frac{0.121937724}{D^{0.5337}} \dots (2.34)$$

Kemudian persamaan yang sudah dirata-ratakan inilah yang akan menjadi persamaan baru :

$$f = \frac{0.040645908}{D^{0.5337}} = \frac{0.04065}{D^{0.5337}} \dots (2.35)$$

Persamaan yang didapat ini sangat singkat dan mirip seperti persamaan Weymouth dan akan sangat mudah untuk digunakan.

Dibawah ini akan memperlihatkan Tabel dan Grafik dari hasil perhitungan persamaan (3.7) yang hasilnya mendekati persamaan faktor gesekan Panhandle.B dan Weymouth. Data - data yang digunakan :

$$Q = 450 \text{ MMSCFD}$$

$$S_g = 0.65$$

$$\mu = 0.0936 \text{ cp}$$

Tabel 3.6 Hasil perhitungan persamaan faktor gesekan baru yang mendekati persamaan Weymouth, dan Panhandle.B.

Diameter (inch)	Bilangan Reynold x 10 ⁻⁶	Faktor Gesekan		
		Weymouth	Panhandle B	Baru
10	62,5	0.014864	0.00742152	0.0118937
12	52,1	0.013989	0.00747475	0.0107909
14	44,6	0.013289	0.00752005	0.00993867
16	39,1	0.012711	0.00755952	0.00925503
18	34,7	0.012222	0.0075945	0.00869116
20	31,3	0.011801	0.00762594	0.00821594
22	28,4	0.011432	0.00765448	0.00780847
24	26,1	0.011106	0.00768063	0.00745415
26	24,1	0.010813	0.00770477	0.00714242
28	22,3	0.01055	0.00772719	0.00686544
30	20,8	0.01031	0.00774811	0.00661725
32	19,5	0.010091	0.00776774	0.0063932
34	18,4	0.009889	0.00778622	0.00618966
36	17,4	0.009703	0.00780369	0.00600369
38	16,5	0.00953	0.00782024	0.00583292
40	15,6	0.009368	0.00783598	0.00567541
42	14,9	0.009217	0.00785098	0.00552954
44	14,2	0.009076	0.00786531	0.00539394
46	13,6	0.008942	0.00787903	0.00526748
48	13,1	0.008817	0.00789219	0.00514918
50	12,5	0.008697	0.00790483	0.00503821

3.4 Perbandingan Persamaan Faktor Gesekan Baru Dengan Metode lainnya

Pada tulisan ini untuk membandingkan persamaan faktor gesekan baru dengan persamaan lainnya seperti : Chen, Panhandle.B, Panhandle.A, dan Weymouth maka dibuatlah suatu program perhitungan dengan menggunakan Visual Basic. Karena dalam perhitungan lebih mudah untuk menyelesaikannya bila dibandingkan dengan menggunakan kalkulator atau excel karena adanya iterasi dalam penyelesaian perhitungan tersebut.

Dengan program Visual Basic ini bisa didapatkan harga - harga untuk membuat tabel dan grafik nantinya. Harga - harga yang diperlukan untuk masukan dalam perhitungan ini adalah : Kondisi Standar, Spesifik Gravity Gas, Tekanan inlet, tekanan outlet, temperatur rata-rata, panjang pipa, diameter pipa, kekasaran pipa, variasi laju alir gas.

KESIMPULAN

Dari hasil analisis dan perhitungan yang telah diperoleh maka dapat dilihat terhadap perhitungan - perhitungan bilangan Reynolds, faktor gesekan dan perhitungan laju alir dengan persamaan - persamaan yang ada maka diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Persamaan yang diperoleh dari program LINEST (Metode Regresi Multi Variabel) :

$$f = 0.3528 \times ((e/D)^{0.5337}) / (Nre^{0.01808})$$
- 2) Persamaan faktor gesekan yang diperoleh dari persamaan yang telah diturunkan dari program LINEST kemudian memasukkan ketiga harga bilangan Reynolds dari 10⁶ hingga 10⁸ kemudian di rata-ratakan untuk harga faktor gesekan tersebut kemudian didapat suatu persamaan faktor gesekan baru yaitu : $\frac{0.04065}{D^{0.5337}}$
- 3) Persamaan faktor gesekan baru sangatlah singkat dan mudah dalam pemakaiannya dan hasil yang didapat sangatlah dekat dengan persamaan faktor gesekan Chen dan Panhandle.B.
- 4) Persamaan faktor gesekan baru yang didapat mirip seperti persamaan Weymouth yang merupakan fungsi diameter pipa saja dan lebih mudah bila digunakan dilapangan .
- 5) Untuk diameter kecil (5 dan 6 inch) harga faktor gesekan baru mendekati harga persamaan Weymouth dan bila diameter besar (22, 24, 26 inch) harga faktor gesekan baru mendekati faktor gesekan Panhandle.B.
- 6) Batasan persamaan Panhandle. A dan Panhandle. B adalah : 5 x 10⁶ sampai 20 x 10⁶

- 7) Persamaan Faktor gesekan baru bisa mewakili faktor gesekan Chen.

DAFTAR PUSTAKA

1. Ahmed, Tarek : "*Hydrocarbon Phase Behavior* ", Gulf Publishing Company , Houston, London Paris, Zurich, Tokyo, 1989.
2. Arnold, Ken. : "*Surface Production Operations*", Gulf Publishing Company, Houston , Texas, 1986.
3. Beggs, H.D. : "*Gas Production Operations*", *South Harvarad avenue tulsa, Oklahoma 74135, 1984.*
4. Dougherty, L.R. : "*Fluid Mechanics with Engineering Applica-tions* ", International Student Edition, Kogakusha, 1977.
5. Economides, M.J. : "*Petroleum Production Systems*", Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1994.
6. Ikoku, C.U. : "*Natural Gas Production Engineering*", John Wiley & Sons Inc., New York, 1984.
7. Incropera, F.P. : "*Introduction to Heat Transfer*", John Wiley & Sons Inc., New York, 1996.
8. McCain, W.D Jr : "*The Properties of Petroleum Fluids*", Mississippi State, Mississippi, 1973.
9. Mc Cain, W.D.Jr : "*The Properties of petroleum Fluids*", second edition, Penn Well Books, Tulsa, Oklahoma, 1990.
10. Munson, B.R : "*Fundamentals of Fluid Mechanics*", John Wiley & Sons Inc., New York, 1998.
11. Sukarno, P dan Mucharam, L : "*Aliran Fluida Multi Fasa Dalam Pipa* ", Teknik Perminyakan FKTM, ITB, Bandung, 2000 .