

PENENTUAN FAKTOR-Z GAS KONDENSAT BERBASIS KOMPOSISI DENGAN METODE ITERASI NEWTON-RAPHSON

Oleh:
S u p a h a r

Abstract

The purpose of this research was to determine z-factor of gas condensate system using an iterative Newton-Raphson method to solve the Soave-Redlich-Kwong cubic equation of state (SRK-CEOS). In this study, some influencing factors were observed, i.e., compositions of hydrocarbon, temperature, and pressure of the gas-condensate system. The research method involves determination process of the Heptane plus characteristic, i.e. Critical Temperature of C_{7+} ($T_{c\ C7+}$), critical pressure of C_{7+} ($P_{c\ C7+}$), and acentric factor of C_{7+} (ω_{C7+}) using Riazi and Duabert equation; and the flash liberation process to determine the compositions of hydrocarbon gas at certain pressure (p) and temperature (T). Comparison of the z-factors calculated using Newton-Raphson method to solve the SRK-CEOS with modified Dranchuk & Abou-Kassem equation and Standing-Katz method yield an average different of: 0.3419 percent and 1.13 percent.

Keywords: z-factor, and Newton-Raphson method

Pendahuluan

Faktor-z didefinisikan sebagai perbandingan antara volume gas pada keadaan tekanan dan temperatur nyata terhadap volume gas pada keadaan ideal. Faktor-z dapat digunakan untuk melukiskan penyimpangan gas dari kelakuan ideal. Faktor-z nilainya tidak konstan tetapi bervariasi dengan perubahan komposisi hidrokarbon, temperatur, dan tekanan reservoir gas.

Metode grafis Standing-Katz (1990: 126) hingga saat ini masih diterima sebagai sumber praktis dalam penentuan faktor-z sistem reservoir gas dan hasil kondensasi gas. Faktor-z dapat pula ditentukan melalui persamaan keadaan *hard-sphere* yang diperluas seperti yang dikembangkan oleh KR.Hall dan L. Yorborough (1977: 227-235). Namun demikian, kedua metode penentuan faktor-z tersebut masih ada kelemahannya sehingga perlu ditinjau kembali untuk mendapatkan hasil penentuan faktor-z yang lebih memuaskan.

Dalam studi ini persamaan kubik Soave-Redlich-Kwong (SRK-CEOS) dipilih untuk menentukan faktor-z sistem gas kondensat yang berbasis pada perubahan komposisi hidrokarbon, tekanan, dan temperatur reservoir. Persamaan kubik Soave-Redlich-Kwong (SRK-CEOS) dipilih karena mempunyai kelebihan yakni menghasilkan ketelitian yang lebih baik dalam perhitungan kesetimbangan uap-cair dibandingkan dengan persamaan keadaan yang dibuat sebelumnya, baik oleh Van der Waals maupun Redlich-Kwong.

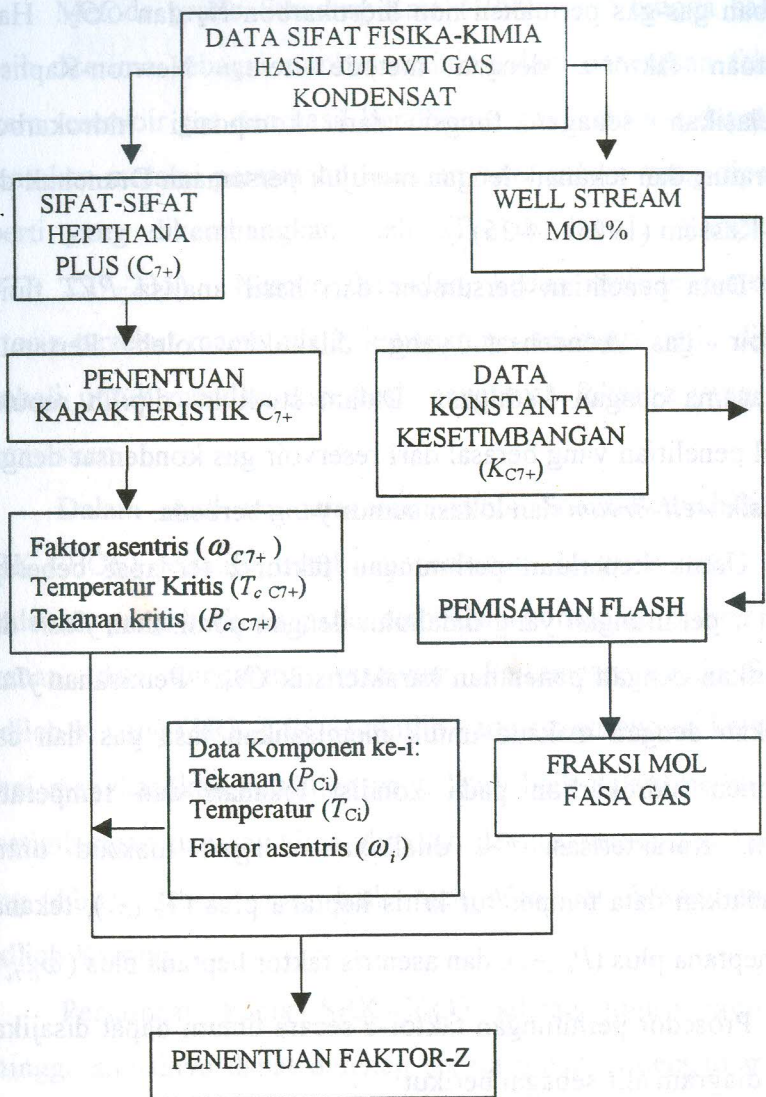
Persamaan kubik SRK-CEOS adalah fungsi non-linear sehingga solusinya dapat didekati secara numerik dengan metode iterasi Newton-Raphson. Faktor-z dihitung terutama pada kondisi kesetimbangan fasa uap-cair dengan melibatkan komposisi hidrokarbon dari Metana (C_1) hingga heptana plus (C_{7+}), dan

ditambah gas-gas permanen non hidrokarbon N_2 dan CO_2 . Hasil penentuan faktor-z dengan metode iterasi Newton-Raphson dikorelasikan sebagai fungsi dari komposisi hidrokarbon, temperatur, dan tekanan dengan merujuk persamaan Dranchuk dan Abou-Kassem (1975: 34-36).

Data penelitian bersumber dari hasil analisa *PVT* fluida reservoir gas kondensat yang dilakukan oleh Pertamina bekerjasama dengan Lemigas. Dalam studi ini dipilih sepuluh sampel penelitian yang berasal dari reservoir gas kondensat dengan sifat fisik *well stream* dan lokasi sumur yang berbeda.

Untuk keperluan perhitungan faktor-z terdapat beberapa prosedur perhitungan yang didahului dengan pemisahan *flash* dan dilanjutkan dengan penentuan karakteristik C_{7+} . Pemisahan *flash* dilakukan dengan maksud untuk memisahkan fasa gas dan cair komponen hidrokarbon pada kondisi tekanan dan temperatur tertentu. Karakterisasi C_{7+} dilakukan dengan maksud untuk mendapatkan data temperatur kritis heptana plus ($T_{c\ C_{7+}}$), tekanan kritis heptana plus ($P_{c\ C_{7+}}$), dan asentris faktor heptana plus ($\omega_{C_{7+}}$).

Prosedur perhitungan faktor-z secara umum dapat disajikan dalam diagram alir sebagai berikut:



Gambar 1.
Diagram Alir Prosedur Perhitungan Faktor-Z

Berdasarkan pengamatan yang dilakukan beberapa peneliti diketahui bahwa pemilihan metode untuk menghitung sifat fisika-kimia fluida sama pentingnya dengan pemilihan persamaan keadaan yang digunakan. Dalam penelitian ini dipilih metode grafis Standing-Katz dan persamaan korelasi Dranchuk dan Abou-Kassem sebagai pembanding terhadap hasil penentuan faktor-z dengan metode iterasi Newton-Raphson untuk menyelesaikan persamaan kubik Soave-Redlich-Kwong.

Soave (1972: 1197-1203) mengusulkan sebuah faktor koreksi pada persamaan keadaan Redlich-Kwong (RK) sebagai fungsi dari temperatur ($a\alpha$), yang dapat dituliskan sebagai berikut:

$$p = \frac{RT}{v-b} - \frac{a\alpha}{v(v+b)} \quad (1)$$

dengan:

$$a = 0.42747 \frac{R^2 T_c^{2.5}}{P_c} \quad \text{dan} \quad b = 0.08664 \frac{RT_c}{P_c}$$

$$\alpha = \left(1 + m(1 - T_r^{0.5})\right)^2, \quad \alpha \text{ adalah faktor tak berdimensi}$$

$$m = 0.480 + 1.574\omega - 0.176\omega^2$$

$$T_r = T/T_c \text{ (temperatur tereduksi)}$$

$$\omega = \text{faktor acentris}$$

Volume molar $v = \frac{zRT}{p}$ disubstitusikan ke dalam persamaan (1)

diperoleh:

$$z^3 - z^2 + (A - B - B^2)z - AB = 0 \quad (2)$$

dengan:

$$A = \frac{(a\alpha)p}{R^2T^2} \quad \text{dan} \quad B = \frac{bp}{RT}$$

Sistem yang diamati berupa sistem campuran, sehingga berlaku *mixing rule* sebagai berikut:

$$(a\alpha)_m = \sum_i \sum_j [x_i x_j (a_i a_j \alpha_i \alpha_j)^{0.5} (\delta_{ij} - 1)]$$

$$b_m = \sum_i x_i b_i$$

Parameter δ_{ij} adalah faktor koreksi yang ditentukan secara empirik dinamakan koefisien interaksi biner.

Persamaan (2) merupakan persamaan non-linear yang dapat diselesaikan dengan metode iterasi Newton-Raphson. Mula-mula suatu terkaan dibuat untuk harga faktor-z, sebutlah $z^{(0)}$. sedemikian rupa sehingga persamaan (2) dapat diuji, tetapi karena $z^{(0)}$ hanya suatu terkaan $f(z^{(0)})$ tidak akan sama dengan nol sebagaimana disyaratkan $f(z)$ dihipotesis melalui ekspansi Taylor orde satu di sekitar $f(z^{(0)})$:

$$0 = f(z^{(0)}) + \frac{\partial f(z^{(0)})}{\partial z} (z - z^{(0)}) \quad (3)$$

Pemecahan persamaan ini diperoleh harga baru untuk faktor-z yang dapat digunakan untuk menguji ulang $f(z)$ dan meng-iterasi sampai $f(z^{(0)})$ lebih kecil daripada bilangan toleransi.

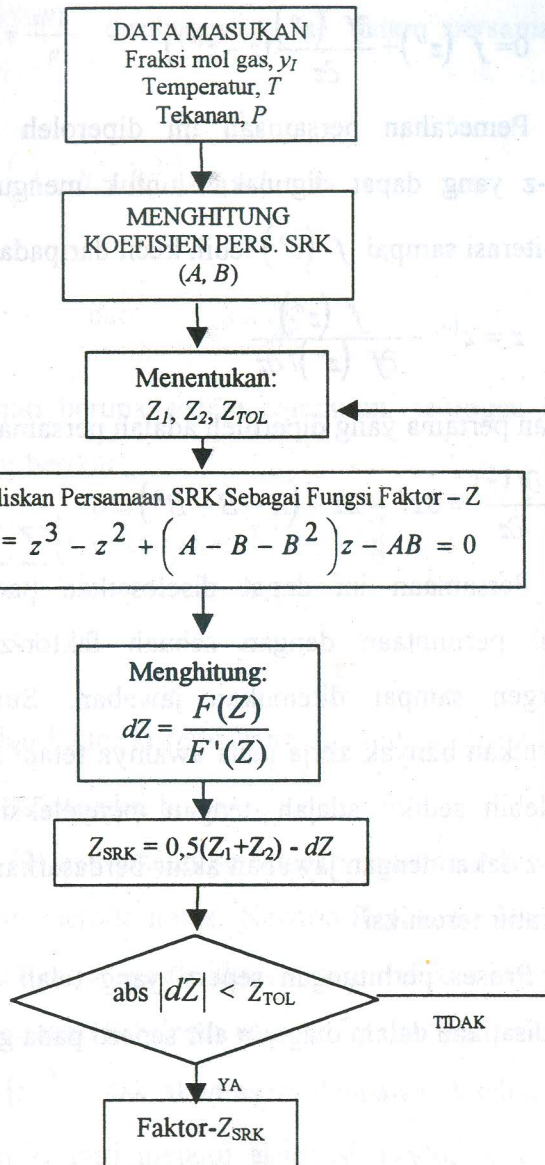
$$z = z^{(0)} - \frac{f(z^{(0)})}{\partial f(z^{(0)})/\partial z} \quad (4)$$

Turunan pertama yang diperoleh adalah persamaan:

$$\frac{\partial f(z)}{\partial z} = 3z^2 - 2z + (A - B - B^2) = 0 \quad (5)$$

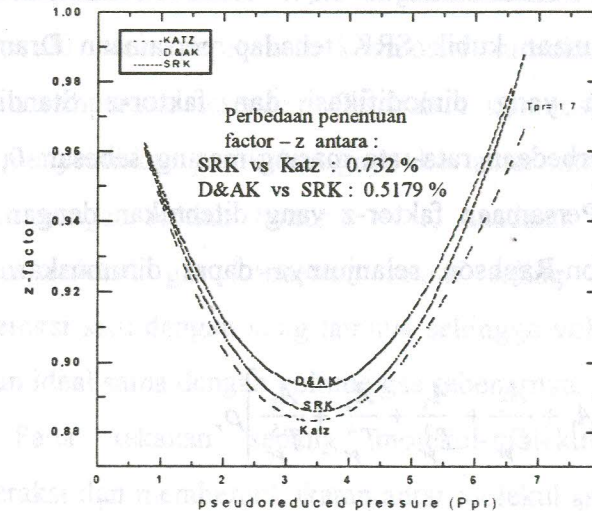
Persamaan ini dapat diselesaikan pada semua kondisi melalui permintaan dengan sebuah faktor-z yang kecil dan konvergen sampai ditemukan jawaban. Suatu metoda yang memerlukan banyak kerja pada awalnya tetapi memerlukan iterasi yang lebih sedikit adalah dengan menyeleksi harga mula-mula faktor-z dekat dengan jawaban akhir berdasarkan pada tekanan dan temperatur tereduksi.

Proses perhitungan seperti yang telah disebutkan di atas dapat disajikan dalam diagram alir seperti pada gambar 2.



Gambar 2.
Diagram Alir Penentuan Faktor -Z Gas Kondensat

Untuk menguji kemampuan perhitungan faktor-z persamaan kubik SRK dengan metode iterasi Newton-Raphson terlebih dahulu divalidasi dengan faktor-z Standing-Katz yang telah dibakukan. Pada gambar 3 dicontohkan hasil validasi perhitungan faktor-z dengan SRK-CEOS untuk sebuah data reservoir terhadap faktor-z Standing-Katz dan persamaan Dranchuk & Abou-Kassem masing-masing memberikan perbedaan rata-rata: 0,732% dan 0,5179%.



Gambar 3.
Faktor-z yang Ditentukan dengan Persamaan SRK , Standing-Katz dan D&A-Kassem pada Temperatur Semu Tereduksi, $T_{pr}= 1.7$

Pembahasan

Hasil penentuan faktor-z dengan metode iterasi Newton-Raphson pada penelitian ini disusun berdasarkan variasi perubahan tekanan semu tereduksi (*pseudoreduced pressure*) dan temperatur semu tereduksi (*pseudoreduced temperature*). Fitting terhadap hasil penentuan faktor-z menghasilkan sebuah kurva faktor-z (T_{pr} , P_{pr}) seperti yang disajikan pada gambar 4. Kurva faktor-z memenuhi persamaan Dranchuk dan Abou-Kassem dengan memodifikasi konstanta $A_1=0.3265$ menjadi $A_1=0.3844$. Penentuan faktor-z dengan persamaan kubik SRK terhadap persamaan Dranchuk & Abou-Kassem yang dimodifikasi dan faktor-z Standing-Katz ditemukan perbedaan rata-rata masing-masing sebesar: 0,3419 % dan 1.13%. Persamaan faktor-z yang ditentukan dengan metode iterasi Newton-Raphson selanjutnya dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Z = \left[A_1 + \frac{A_2}{T_{pr}} + \frac{A_3}{T_{pr}^3} + \frac{A_4}{T_{pr}^4} + \frac{A_5}{T_{pr}^5} \right] \rho_r + \left[A_6 + \frac{A_7}{T_{pr}} + \frac{A_8}{T_{pr}^2} \right] \rho_r^2 - A_9 \left[\frac{A_7}{T_{pr}} + \frac{A_8}{T_{pr}^2} \right] \rho_r^5 + A_{10} \left(1 + A_{11} \rho_r^2 \right) \frac{\rho_r^2}{T_{pr}^3} \text{Exp}(-A_{11} \rho_r^2) + 1 \quad (6)$$

dengan:

$$\rho_r = \frac{0.27 P_{pr}}{z T_{pr}}$$

$$A_1=0.3844 \quad A_4=0.01569 \quad A_7=-0.7361 \quad A_{10}=0.6134$$

$$A_2=-1.070 \quad A_5=-0.05165 \quad A_8=0.1844 \quad A_{11}=0.7210$$

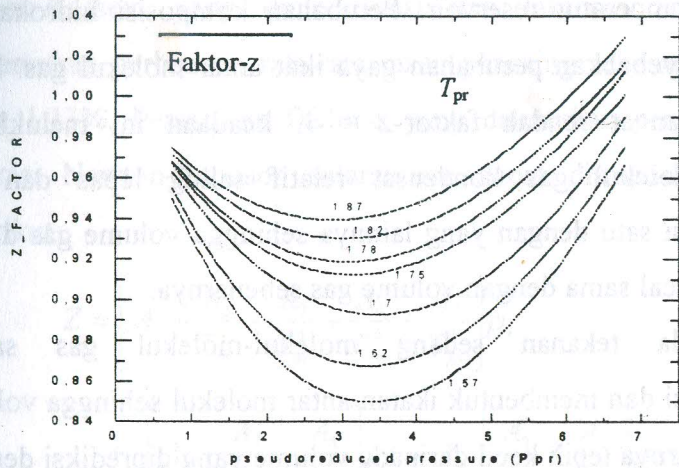
$$A_3=-0.5339 \quad A_6=0.5464 \quad A_9=0.1056$$

Berdasarkan hasil penentuan faktor-z gas kondensat dapat diketahui pula bahwa nilai faktor-z gas kondensat secara simultan dipengaruhi oleh perubahan komposisi hidrokarbon, tekanan, maupun temperatur reservoir. Perubahan komposisi hidrokarbon dapat menyebabkan perubahan gaya ikat antar molekul gas. Pada tekanan sangat rendah faktor-z = 1, keadaan ini melukiskan molekul-molekul gas kondensat relatif saling lepas dan tak berinteraksi satu dengan yang lainnya sehingga volume gas dalam keadaan ideal sama dengan volume gas sebenarnya.

Pada tekanan sedang molekul-molekul gas saling berinteraksi dan membentuk ikatan antar molekul sehingga volume gas sebenarnya lebih kecil daripada volume yang diprediksi dengan persamaan keadaan gas ideal, dengan demikian faktor-z < 1. Pada tekanan tinggi molekul-molekul gas saling bertumbukan satu dengan yang lain. Gaya repulsif yang ditimbulkan oleh tumbukan

antar molekul dapat menyebabkan volume gas sebenarnya lebih besar daripada volume ideal sehingga faktor-z > 1.

Di samping itu, peningkatan temperatur reservoir dapat mempengaruhi bertambahnya nilai faktor-z. Perubahan temperatur menyebabkan berubahnya energi kinetik molekul-molekul gas. Peningkatan energi kinetik gas besarnya sebanding dengan peningkatan temperatur gas dapat menyebabkan gerak molekul bertambah cepat, sehingga jarak antar molekul cenderung menjauh yang kemudian akan meningkatkan volume gas sebenarnya.



Gambar 4.
Kurva Faktor-z Gas Kondensat

Simpulan

Berdasarkan hasil penentuan faktor-z menggunakan persamaan kubik SRK dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kurva faktor-z hasil perhitungan menggunakan persamaan kubik SRK dapat memenuhi persamaan Dranchuk dan Abou-Kassem dengan memodifikasi pada koefisien persamaan $A_1 = 0.3265$ menjadi $A_1 = 0.3844$.
2. Hasil perhitungan faktor-z dari persamaan kubik SRK terhadap persamaan Dranchuk & Abou-Kassem yang dimodifikasi dan faktor-z Standing-Katz mempunyai perbedaan rata-rata masing-masing 0.3419% dan 1.13%.

Daftar Pustaka

- Donald L. Katz dan Robert L. Lee (1990). *Natural gas engineering*. Singapore: Mc Graw-Hill Company.
- K.R. Hall dan Yorborough L (1977). "A new equation of state for z-factor calculations". *SPE Reprint Series*. No.13: 227-235.
- P.M. Dranchuk dan J.H. Abou-Kassem, J.H (1975). "Calculation of z-factors for natural gases using equation of state". *J. Can. Pet. Tech.* (July-Sept 1975) 14, No.3: 34-36.
- Soave. G (1972). "Equilibrium constant from a modified Redlich-Kwong Equation of State". *Chem. Eng. Sci.* No.6: 1197-1203.
- William D. Mc Cain Jr. *The properties of petroleum fluid*. Tulsa: Petroleum Publishing Company.