

KAJIAN NUMERIK SIFAT DENSITAS SISTEM HIDROKARBON GAS KONDENSAT BERBASIS KOMPOSISI MENGGUNAKAN PERSAMAAN SOAVE REDLICH-KWONG (SRK-EOS)*)

Oleh : Supahar

Juridik Fisika FMIPA UNY

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat densitas system hidrokarbon gas kondensat terhadap perubahan tekanan dan temperature menggunakan persamaan keadaan Soave-Redlich-Kwong (SRK-EOS).

Metode penelitian dimulai dari penentuan sifat fisik seperti temperature kritis, tekanan kritis, volume kritis, dan factor asentrik gas untuk masing-masing komponen gas hidrokarbon menggunakan table yang telah dibakukan secara Internasional. Khusus untuk menentukan sifat fisik komponen Heptana plus pada penelitian ini digunakan persamaan korelasi Riazi-Duabert. Untuk mementukan persen mole tiap komponen hidrokarbon pada setiap perubahan tekanan gas digunakan metode flash Liberation. Data sifat fisik gas dan hasil flash liberation ini selanjutnya digunakan untuk menentukan factor kompresibilitas gas menggunakan persamaan SRK-EOS. Untuk menentukan kuantitas Densitas gas, hasil penentuan factor kompresibilitas dipakai untuk menyelesaikan persamaan Mattar dalam bentuk persamaan korelasi Dranchuk – Abou Kassem.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa, untuk gas kondensat pada temperature konstan penurunan tekanan gas akan diikuti dengan penurunan densitas gas secara linear. Sebaliknya pada tekanan konstan, penurunan temperature reservoir gas akan diikuti dengan naiknya densitas.

Kata Kunci : *Densitas , Gas Kondensat*

**)Disarikan dari laporan penelitian yang berjudul: Kajian sifat densitas sistem hidrokarbon gas kondensat berbasis komposisi menggunakan Persamaan soave redlich-kwong (srk-eos)*

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Untuk mempelajari perilaku fasa, para ilmuwan hingga saat ini tetap menggunakan model persamaan keadaan, yakni suatu bentuk persamaan empirik yang menyatakan hubungan timbal balik antara tekanan (p), volume (V), dan temperatur (T). Hubungan pVT untuk fluida nyata menjadi sangat esensial dalam menghitung sifat-sifat fisik fluida baik pada komponen tunggal (*pure component*) maupun pada multi-komponen (*mixture*).

Persamaan keadaan bentuk kubik pertama kali diturunkan oleh **Van der Waals** untuk menyatakan kesinambungan (*continuity*) keadaan dari fasa gas menuju fasa cair¹⁾. Kemudian para ahli mengembangkan hubungan pVT semi empirik untuk menyatakan sifat volumetric, sifat termodinamika, dan kesetimbangan fasa. Modifikasi persamaan keadaan yang dianggap paling berhasil adalah yang dibuat oleh **Redlich** dan **Kwong** yang dikenal

dengan RK EOS. Kemudian dikembangkan oleh **Soave** yang dikenal sebagai persamaan **Soave-Redlich-Kwong (SRK EOS)** ³⁾. Persamaan keadaan SRK menghasilkan kemampuan lebih baik dalam perhitungan kesetimbangan gas-cair sistem hidrokarbon gas kondensat. Secara matematis persamaan **Soave-Redlich-Kwong (SRK EOS)** dirumuskan sebagai :

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

dengan a adalah faktor tak berdimensi, $a=1$ pada $T = T_c$ sedangkan untuk temperatur selain temperatur kritik $a = (1 + m(1 - T_r^{0.5}))^2$ dengan $m = 0.480 + 1.574 w - 0.176 w^2$ dimana :

T_r = temperatur tereduksi , T/T_c

w = factor asentris

Dengan mengevaluasi persamaan (1) pada kondisi temperatur kritik diperoleh parameter a dan b sebesar :

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

Jika volume molar $v = \frac{zRT}{p}$ disubstitusikan pada persamaan (1) diperoleh persamaan kubik

SRK untuk factor-z (factor kompresibilitas gas) ⁵⁾ sebagai berikut:

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

dengan : $A = \frac{(aa)p}{R^2 T^2}$ dan $B = \frac{bp}{RT}$

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

$$(aa)_m = \sum_i \sum_j [x_i x_j (a_i a_j a_i a_j)^{0.5} (d_{ij} - 1)] \quad \text{dan} \quad b_m = \sum_i x_i b_i$$

Parameter d_{ij} adalah faktor koreksi yang ditentukan secara empirik, dinamakan *binary interaction coefficient* ¹⁾. Koefisien ini digunakan untuk memodelkan interaksi antara molekul, dan tergantung pada perbedaan ukuran molekul dari komponen dalam sistem binary tersebut yang mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

- a. Interaksi antara komponen hidrokarbon meningkat dengan meningkatnya selisih berat molekul, $d_{i,j+1} > d_{i,j}$

b. Komponen-komponen hidrokarbon yang mempunyai berat molekul yang sama mempunyai koefisien interaksi binary sama dengan nol, $d_{i,j} = 0$

c. Matrik koefisien interaksi binary bersifat simetrik, $d_{i,j} = d_{j,i}$

Dranchuk dan Abou-Kassem ¹⁾ mengusulkan persamaan korelasi factor-z . sebagai berikut:

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

dimana :

$$T_{pr} = \frac{T}{\sum_i Y_i T_{ci}} \quad \text{dan} \quad P_{pr} = \frac{P}{\sum_i Y_i P_{ci}}$$

$$\begin{aligned} A_1 &= 0.3265 & A_4 &= 0.01569 & A_7 &= -0.7361 & A_{10} &= 0.6134 \\ A_2 &= -1.070 & A_5 &= -0.05165 & A_8 &= 0.1844 & A_{11} &= 0.7210 \\ A_3 &= -0.5339 & A_6 &= 0.5464 & A_9 &= 0.1056 \end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan SRK-EOS dan persamaan korelasi factor-z Dranchuk dan Abou-Kassem maka, kuantitas densitas gas kondensat r_r dapat ditentukan dengan cara substitusi hasil penentuan factor-z ke dalam persamaan korelasi factor-z Dranchuk dan Abou-Kassem.

Sistem hidrokarbon gas kondensat merupakan gas nyata ²⁾ yang mempunyai energi internal sebagai fungsi dari temperatur (T), dan tekanan (p) dengan memperhitungkan tenaga ikat antar molekul-molekul gas. Jika gas kondensat ini diproduksi maka akan berubah menjadi dua fasa yaitu gas dan cairan apabila tekanan turun hingga di bawah titik embun (*dew point*). Hasil produksi gas kondensat didominasi oleh metana, etana, serta sejumlah kecil propane, butana, pentana, hexana, dan heptana plus ⁴⁾. Dalam hal ini heptana plus didefinisikan sebagai komponen terakhir hasil analisis hidrokarbon yang terdiri dari heptana dan seluruh komponen berat hidrokarbon setelah heptana.

Fluida yang terproduksi dari sistem hidrokarbon gas kondensat merupakan campuran hidrokarbon kompleks dengan sifat-sifat fisik yang berbeda. Pemisahan fluida reservoir di permukaan perlu dilakukan untuk memisahkan fasa gas dan cairan agar diperoleh akumulasi minyak tanah atau gas pada tangki pengumpul serta untuk mendapatkan kesetabilan yang maksimum dari fasa gas dan cairan. Salah satu metode

pemisahan sistem gas kondensat adalah melalui *flash liberation*^{6,7)} yaitu pemisahan gas dan cairan dimana gas yang terbebaskan tetap kontak dengan cairan sampai tercapai kesetimbangan dengan menjaga komposisi sistem konstan. Makin besar prosentase fraksi mol berat maka makin besar pula akumulasi cairan yang akan diperoleh dan makin besar prosentase fraksi mol ringan maka gas yang diperoleh akan makin besar pula.

Dengan menggunakan konsep dasar kesetimbangan materi (*material balance*) yang dirumuskan sebagai berikut:

$$nZ_i = y_i n_g + x_i n_l \quad \text{dan} \quad n_g + n_l = 1,$$

sehingga diperoleh persamaan :

$$\sum x_i = \sum \frac{Z_i}{1 + n_g (K_i - 1)} \quad \text{dan} \quad \sum y_i = \sum \frac{Z_i}{1 + n_l (1/K_i - 1)}$$

dengan : n = jumlah total mol campuran

n_g = jumlah mol fasa gas

n_l = jumlah mol fasa cair

Z_i = fraksi mol well stream

x_i = fraksi mol cairan kondensat komponen ke-i

y_i = fraksi mol gas kondensat komponen ke-I

K_i = konstanta kesetimbangan komponen ke-i

Perhitungan terhadap perilaku fasa sistem hidrokarbon gas kondensat pada dasarnya adalah untuk merepresentasikan sifat-sifat fisika seperti **densitas, factor kompresibilitas, porositas, dan viscositas** sistem gas kondensat terhadap perubahan tekanan dan temperatur secara kuantitatif. Kaidah-kaidah yang digunakan adalah persamaan keadaan, dan hukum keadaan yang berhubungan dan prinsip-prinsip termodinamika.

Penentuan sifat-sifat fisika fasa gas-cairan kondensat di laboratorium akan memerlukan waktu, biaya, dan pekerjaan yang banyak. Untuk itulah maka dalam penelitian ini dibuat suatu program komputer berbasis numeric dalam bahasa MS Fortran Versi 3.2 guna melakukan proses perhitungan sistem hidrokarbon gas kondensat pada data hasil analisa *pVT* laboratorium, sehingga kuantitas sifat-sifat fisika gas kondensat dapat ditentukan. Hasil penentuan sifat-sifat fisika gas kondensat dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan untuk mempelajari perilaku fasa dan sifat-sifat densitas fluida berbasis komposisi.

B. Rumusan Masalah

Permasalahan pokok yang akan dipecahkan dalam penelitian ini adalah untuk mempelajari perilaku fasa, dan sifat-sifat densitas sistem gas kondensat menggunakan persamaan keadaan Soave-Redlich-Kwong. Akan dikaji bagaimana dampak dari perubahan temperatur, dan tekanan terhadap densitas sistem gas kondensat. Agar cakupan dalam penelitian ini lebih terarah, maka penelitian ini dibatasi hanya pada sistem hidrokarbon gas kondensat dengan komponen yang terdiri dari metana (CH_4) sampai dengan Heptana Plus (C_{7+}) ditambah gas-gas permanen N_2 dan CO_2 dan tidak melibatkan air (H_2O) dan asam sulfat (H_2S). Adapun perilaku fasa yang dimaksud dalam tulisan ini adalah berhubungan dengan perubahan dari suatu fasa menjadi fasa yang lain akibat perubahan tekanan sistem.

C. Tujuan Penelitian

Mengacu pada permasalahan yang telah dirumuskan di atas maka tujuan penelitian ini adalah : merancang program komputer dengan bahasa Fortran 3.2 untuk mempelajari perilaku fasa dan sifat-sifat densitas karena adanya perubahan komposisi, temperatur, dan tekanan sistem gas kondensat menggunakan persamaan keadaan Soave-Redlich-Kwong.

D. Manfaat Penelitian

1. Program komputer yang berhasil dibuat dapat digunakan untuk menganalisis hasil uji pVT laboratorium Migas berbasis komposisi.
2. Hasil penentuan densitas sistem hidrokarbon dapat dimanfaatkan pada industri perminyakan dan gas bumi, yaitu dalam optimalisasi prediksi cadangan migas dalam suatu sumur produksi.

METODE PENELITIAN

Untuk mengetahui karakteristik fluida reservoir dibutuhkan suatu sample atau contoh fluida resevoir. Sampel ini kemudian dibawa ke laboratorium untuk dianalisa dan ditentukan sifat-sifatnya yang selanjutnya dikenal sebagai analisis *PVT*. Data penelitian di sini bersumber dari hasil analisis *PVT* fluida reservoir gas kondensat yang dilakukan oleh Pertamina bekerjasama dengan Lemigas.

Dalam studi ini terdapat lima sampel penelitian yang berasal dari reservoir gas kondensat dengan sifat fisik dari sumur (*well stream*) dan lokasi yang berbeda. Pemilihan sampel didasarkan atas pertimbangan akan keterbatasan sumber data lapangan yang ada.

Sampel hasil analisa PVT fluida reservoir gas kondensat disajikan pada Tabel 1 berikut ini:

Tabel 1 Hydrocarbon analyses of separator products and calculated well steam

Komponen Hydrokarbon	Well Stream (mole percent)				
	CO ₂	0.0227	0.0907	0.0272	0.0111
Nitrogen	0.0413	0.0090	0.0249	0.0217	0.0326
Methane	0.8396	0.6824	0.7994	0.8608	0.8488
Ethane	0.0389	0.0975	0.0700	0.0475	0.0289
Propane	0.0269	0.0993	0.0393	0.0286	0.0266
i - butane	0.0075	0.0205	0.0079	0.0063	0.0083
n - butane	0.0061	0.0252	0.0097	0.0076	0.0075
i - pentane	0.0032	0.0085	0.0038	0.0030	0.0037
n - pentane	0.0019	0.0062	0.0029	0.0023	0.0022
Hexane	0.0028	0.0057	0.0036	0.0028	0.0026
Hepthane plus	0.0091	0.0150	0.0133	0.0083	0.0063
Properties of Hepthane plus					
PI Gravity @ 60°F	53.39	47.46	49.69	56.02	54.90
pecific gravity @ 60/60°F	0.7646	0.7899	0.7802	0.7538	0.7584
olecular weight	127.34	116.36	119.82	123.16	116.32
Temperatur (F)	241.5	231	252	211	198

A. Prosedur Penelitian

Untuk mengetahui perilaku fasa dan sifat densitas sistem hidrokarbon gas kondensat berbasis komposisi maka dibuatlah suatu program komputer berbahasa Fortran 3.2. Adapun prosedur yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Data input yaitu komposisi fluida sistem gas kondensat pada well stream (Z_i) yang diambil dari beberapa lapangan industri perminyakan dan gas bumi yang ada di Lemigas.
2. Menentukan sifat-sifat fisik sistem gas kondensat seperti, temperatur kritik, tekanan kritik, volume kritik, serta factor asentrik untuk masing-masing komponen melalui tabel sifat-sifat fisik gas kondensat yang telah dibakukan pada keadaan P dan T tertentu.
3. Menentukan karakteristik fraksi berat heptana plus menggunakan persamaan Riazi-Duabert untuk mendapatkan tekanan kritik, temperatur kritik, dan factor asentris fraksi berat heptana plus.

4. Melakukan pemisahan flash dengan metode *flash liberation* untuk menentukan komposisi fasa gas (y_i) dan fasa cairan (x_i) tiap-tiap komponen hidrokarbon.
5. Penentuan factor kompresibilitas gas kondensat dengan persamaan SRK.
6. Menghitung kuantitas densitas menggunakan persamaan Mattar dalam persamaan korelasi Drancuk dan Abu Kasem .

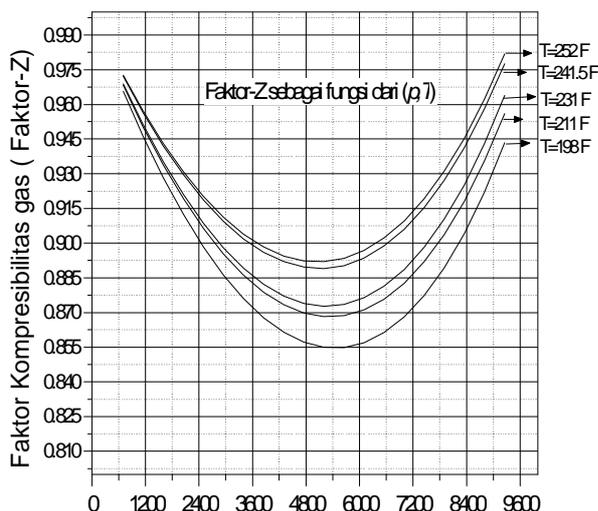
B. Teknik Analisis Data

Analisis data pada penelitian ini meliputi, perhitungan factor kompresibilitas dan densitas gas kondensat yang dilakukan melalui simulasi numeric. Data keluaran hasil simulasi penentuan densitas di analisis berdasarkan hasil grafik fungsi $r(P,T)$ dengan menggunakan program Microcal Origin. Berdasarkan hasil plot $r(P,T)$ dapat dilakukan analisis kuantitatif pada kurva karakteristik sifat fisika densitas dan perilaku fasa sistem hidrokarbon gas kondensat untuk menjawab permasalahan seperti yang dikemukakan dalam rumusan masalah di atas.

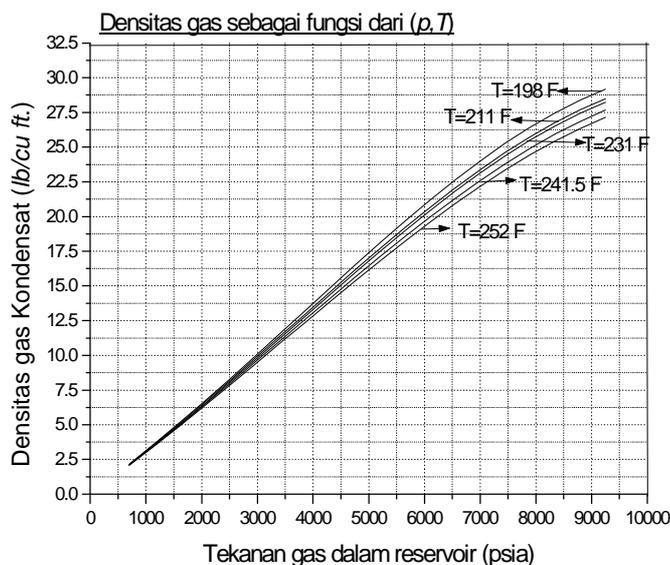
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian.

Data penelitian meliputi hasil perhitungan factor-Z gas kondensat dan densitas semu tereduksi pada berbagai keadaan tekanan dan temperatur (P dan T). Kurva hasil penentuan factor-z dan densitas gas kondensat adalah sebagai berikut :



Gambar 1 Kurva karakteristik Faktor-z gas kondensat



Gambar 2 Kurva Karakteristik Densitas Gas Kondensat

B. Pembahasan

Faktor Kompresibilitas Gas Kondensat

Faktor kompresibilitas didefinisikan sebagai perbandingan antara volume gas pada keadaan tekanan dan temperatur nyata terhadap volume gas pada keadaan ideal.

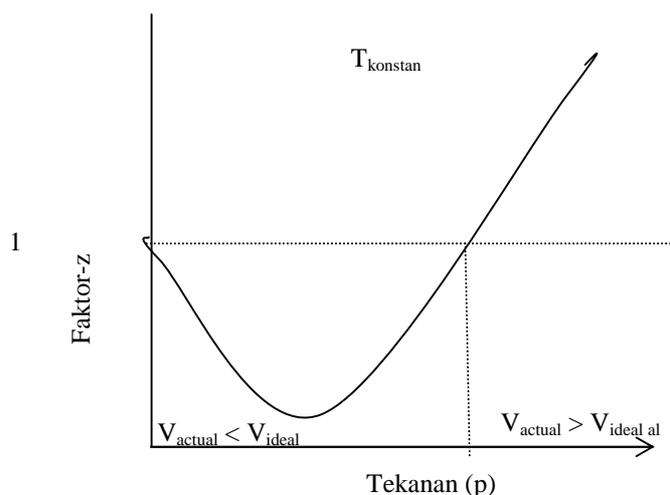
Secara matematis dirumuskan sebagai
$$z = \frac{V_{\text{aktual}}}{V_{\text{ideal}}}$$

Faktor kompresibilitas disebut juga faktor deviasi gas, faktor superkompresibilitas, atau faktor-z yang dapat digunakan untuk melukiskan penyimpangan gas dari kelakuan ideal. Gambar 3 memperlihatkan diagram factor-z sebagai fungsi tekanan (p) pada temperatur (T) konstan. Dalam keadaan ideal faktor-z = 1, sedangkan untuk gas real bervariasi antara 0,7 s/d 1,2.

Hasil penentuan factor-z sebagaimana dilukiskan dalam Gambar 1 menunjukkan kecenderungan kurva factor-z hasil penelitian sama dengan kurva factor-z dalam teori. Faktor-z nilainya tidak konstan tetapi bervariasi dengan berubahnya komposisi (y_i), temperatur (T), dan tekanan gas (p). Hal ini dapat dijelaskan bahwa, pada tekanan yang sangat rendah molekul-molekul gas secara relatif saling lepas dan tidak terjadi interaksi antar molekul sehingga gas berperilaku seperti gas ideal ($z \approx 1,0$). Pada tekanan sedang molekul-molekul saling berinteraksi dan membentuk ikatan antar molekul satu dengan yang lain. Adanya gaya interaksi antar molekul menyebabkan volume gas sebenarnya (V_{aktual}) lebih kecil daripada volume yang diprediksi dengan persamaan keadaan gas ideal

(V_{ideal}), dengan demikian factor-z lebih kecil daripada satu ($z < 1,0$). Pada tekanan yang sangat tinggi molekul-molekul gas saling bertumbukan satu sama lain. Gaya repulsive yang ditimbulkan oleh tumbukan antar molekul dapat menyebabkan Volume gas sebenarnya (V_{actual}) lebih besar daripada volume ideal (V_{ideal}), dan factor-z lebih besar daripada satu ($z > 1$).

Kurva karakteristik factor-z juga berubah terhadap perubahan temperature reservoir. Kenaikan temperatur akan menyebabkan naiknya energi kinetik pada molekul-molekul hidrokarbon. Kenaikan energi kinetik ini menyebabkan gerak molekul bertambah cepat, sehingga jarak antar molekul cenderung menjauh. Keadaan ini menyebabkan volume gas actual menjadi meningkat yang pada gilirannya akan meningkatkan nilai factor-z gas. Adapun pengaruh perubahan komposisi gas kondensat dapat menyebabkan berubahnya gaya ikat antar molekul gas.



Gambar 3 Diagram Faktor-z sebagai fungsi P pada T konstan

Sifat Densitas Gas Kondensat

Dari Gambar 2 tampak bahwa secara umum penurunan tekanan selalu diikuti dengan penurunan densitas gas kondensat. Kurva yang menghubungkan antara densitas (r) dengan tekanan pada temperatur tetap berupa garis lurus yang cenderung berubah secara linier. Dengan kata lain, dapat dikatakan bahwa antara densitas (r) berbanding lurus dengan tekanan. Secara fisis, hal ini dapat dijelaskan bahwa ketika gas diproduksi dengan volume wadah (*sepanjang pipa produksi*) konstan massa gas (*jumlah partikel*) cenderung berkurang karena terjadinya proses kondensasi di sepanjang

perjalanannya. Gas dan cairan kondensat dalam proses produksinya dipisahkan melalui separator, bagian cairan dialirkan kembali ke reservoir sedangkan gas kondensat yang tersisa diteruskan untuk diproduksi. Keadaan ini terus berlangsung di sepanjang pipa produksi, sehingga massa gas (*jumlah partikel*) yang terproduksi sampai dipermukaan lebih kecil dibandingkan dengan massa gas sebelumnya ketika masih berada di pipa produksi. Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa penurunan massa gas kondensat (*jumlah partikel*) sepanjang pipa produksi sebanding dengan penurunan tekanan gas saat diproduksi sehingga densitas gas kondensat juga menurun.

Berdasarkan atas kurva seperti yang dilukiskan pada Gambar 2 di atas, dapat diketahui pula, bahwa pada tekanan yang sama densitas berubah naik nilainya ketika temperatur turun. Dengan kata lain, keadaan densitas berbanding terbalik dengan temperature reservoir. Secara teknis dalam proses produksi gas kondensat, suatu gas kondensat dapat diproduksi bilamana temperatur reservoir lebih besar dari temperatur kritisnya. Pada keadaan ini kondensat fasa gas dan fasa cair berada pada keadaan seimbang, sehingga sulit untuk dipisahkan ikatan-ikatan molekulnya. Untuk mengatasi keadaan ini, dalam proses produksi temperatur reservoir harus dinaikkan sampai melampaui harga kritisnya dengan cara memanasi reservoir melalui proses pembakaran atau menyempatkan uap panas pada reservoir tersebut. Hal ini secara fisis dapat diterangkan, bahwa pemanasan resevoir yang dilakukan adalah untuk menurunkan densitas gas kondensat sedemikian rupa sehingga uap dan cairan kondensat dapat dipisahkan. Kalor yang diterima oleh kondensat digunakan untuk melemahkan ikatan molekul-molekul kondensat sehingga dalam keadaan dua fase ini (*fase cairan dan gas*) dapat dibebaskan gas kondensat untuk selanjutnya diproduksi. Berdasarkan kurva karakteristik densitas semu tereduksi di atas juga dapat diketahui bahwa, kemiringan (*gradien*) kurva karakteristik densitas semu tereduksi untuk beberapa keadaan temperatur yang berbeda selalu berubah seirama dengan perubahan temperatur semu tereduksinya. Keadaan seperti ini dapat digunakan untuk memprediksikan bahwa dalam proses produksi ada batas-batas tertentu mengenai besar temperatur semu tereduksi yang diizinkan, yakni di antara batas kemiringan (*gradien*) maksimum dan minimum dari kurva karakteristik tersebut. Kurva Karakteristik perubahan temperatur semu tereduksi pengaruhnya terhadap densitas semu tereduksi pada berbagai keadaan tekanan semu tereduksi (P_{pr}) selengkapnya disajikan melalui kurva karakteristik Gambar 1.

KESIMPULAN

Bertolak dari hasil analisis data dan kurva karakteristik densitas semu tereduksi sebagaimana disajikan dalam pembahasan di depan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pada gas kondensat, penurunan tekanan akan diikuti dengan penurunan densitasnya secara linear, Sebaliknya, penurunan temperatur pada reservoir gas kondensat akan diikuti dengan kenaikan densitasnya.
2. Untuk dapat diproduksi gas kondensat ini, gradien kurva karakteristik densitas gas kondensat tidak boleh melampaui batas-batas maksimum dan minimum yang direkomendasikan menurut kurva karakteristiknya.

DAFTAR PUSTAKA

1. Ahmed, Tarek (1989) . *Hidrokarbon Phase Behavior*. Vol 7. Gulf Publishing Company : Houston.
2. L Katz, Robert L. Lee (1990). *Natural Gas Engineering* . Mc Graw-Hill Co : Singapore.
3. Mc Cain, William D. Jr. (1990) .*The Properties of Petroleum Fluid* 2nd ed . Penn Well Publishing Co : Tulsa
4. Nicholas, P. Chohey, (1994). *Handbook of Chemical Engineering Calculation* 2nd ed . McGraw-Hill Inc.
5. Supahar . (2000) . *Penentuan Faktor Kompresibilitas gas Kondensat dengan Persamaan Soave-Redlich-Kwong*. HAGI : Bandung
6. Supahar . (2002) . *kajian perilaku fasa heptane plus (C₇₊) sistem hidrokarbon gas kondensat sebagai upaya optimalisasi prediksi kemampuan produksi migas*. Laporan Penelitian BBI. 2002
7. Supahar. (2004) : *Simulasi Numerik Konstanta Kesetimbangan Heptana Plus (C₇₊) Sistem kokarbon Menggunakan metode Flash Liberation*. UNY