

# PENGARUH ETANA PADA REFRIGERAN HIDROKARBON

Zainal Abidin<sup>(1)</sup>, Ari Darmawan Pasek<sup>(2)</sup>, dan Abdurrachim<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup>Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jl. MT. Haryono 167 Malang 65145

Email: abiding@vkmb.tu-graz.ac.at

<sup>(2)</sup>Laboratorium Termodinamika PPAU-IR ITB

Jl. Gansha 10 Bandung 40132

Email: ari@termo.pauir.itb.ac.id

<sup>(3)</sup>Laboratorium Mesin Pertanian dan Energi Matahari ITB

Jl. Ganesha 10 Bandung 40132

Email: arhalim@bdg.centrin.net.id

## Ringkasan

Refrigeran hidrokarbon merupakan salah satu jenis refrigeran yang dikembangkan untuk menggantikan refrigeran CFC dan HCFC. Zat-zat yang terkandung dalam refrigeran hidrokarbon diantaranya etana, propana, normal butana, dan iso butana. Etana yang terkandung dalam refrigeran diduga dapat menurunkan performansi mesin pendingin. Dalam makalah ini dilakukan kaji teoritis pengaruh etana terhadap dua jenis refrigeran campuran hidrokarbon, yaitu HCR-12 dan HCR-22. Untuk melakukan kaji teoritis ini perlu dibuat terlebih dahulu perangkat lunak untuk perhitungan sifat-sifat termodinamika campuran hidrokarbon. Perangkat lunak dibuat dengan berbagai pilihan input data sifat termodinamika. Dari hasil kajian ini diketahui bahwa semakin besar kandungan etana dalam HCR-12, semakin besar penyimpangan kurva tekanan- temperatur jenuh refrigeran terhadap kurva yang sama pada R-12. Sementara untuk HCR-22, pada tekanan kurang dari 4 bar, semakin besar kandungan etana, semakin besar penyimpangan kurva tekanan-temperatur jenuh refrigeran terhadap kurva yang sama pada R-22. Pada tekanan di atas 4 bar, semakin besar tekanan kurva tekanan-temperatur jenuh R-22 mendekati kurva yang sama untuk HCR-22 dengan kandungan etana 4%. Pada uji performansi mesin pendingin standar diketahui bahwa semakin besar kandungan etana dalam HCR-12 dan HCR-22, nilai COP semakin kecil. Begitu juga temperatur rata-rata pada evaporator dan kondensor juga mengalami penurunan.

## Abstract

Hydrocarbon refrigerant is one kind of refrigerants, which is developed to substitute CFC and HCFC. The substances contained in hydrocarbon refrigerant are etane, propane, normal butane, and iso butane. Etane is being suspected on reducing the performance of refrigerator. This paper deals with theoretical study of etane influence in hydrocarbon refrigerant. First of all it is necessary to create software for evaluating thermodynamics properties. This software has many choiches for prescribed thermodynamics properties. According to the analysis, it is known that the more etana content in HCR-12, the more deviation of saturated pressure-temperature curves between HCR-12 and R-12. While in HCR-22 when the pressure is less that 4 bar, it is known that the more etana content, the more deviation of saturated pressure-temperature curve between HCR-22 and R-22. However, if the pressure is above 4 bars, it is known that the more etana, the saturated pressure-temperature curve is close to the one of HCR-22 with 4% etana content. On performance test of standard refrigeration system using the refrigerant, it is known that the more etane content in HCR-12 and HCR-22, COP of the system decreases gradually. The average temperature in evaporator and condensor also declines.

**Keywords:** Hydrocarbon, Etane, HCR-12, HCR-22, R-12, R-22

## 1. PENDAHULUAN

Sampai pertengahan tahun 1976 refrigeran halokarbon menjadi pilihan utama sebagai fluida kerja untuk mesin pendingin [1]. Dari segi teknik memang refrigeran jenis ini mempunyai keunggulan dibanding refrigeran lainnya, ditambah juga sifatnya yang tidak beracun dan tidak mudah terbakar. Penggunaan refrigeran halokarbon disepakati untuk dikurangi setelah terbukti bahwa

refrigeran jenis ini termasuk dalam kategori jenis zat yang berpotensi merusak lapisan ozon [2].

Salah satu refrigeran yang sekarang ini dikembangkan adalah refrigeran hidrokarbon. Refrigeran hidrokarbon adalah refrigeran campuran berbagai zat yang termasuk dalam golongan hidrokarbon. Zat-zat yang terlibat dalam pencampuran ini tidak dapat bereaksi satu sama lain karena kuatnya ikatan atom karbon pada tiap zat

tersebut. Sifat-sifat campuran hidrokarbon dapat didekati dari sifat-sifat komponen murni yang membentuknya dengan menyertakan parameter-parameter tambahan seperti fugasitas dan faktor asentrik.

## 2. TERMODINAMIKA CAMPURAN HIDROKARBON

Sesuai dengan tingkat keadaannya, campuran hidrokarbon dapat berada dalam satu fasa dan dapat pula berada dalam dua fasa. Campuran yang terdiri atas satu fasa disebut campuran homogen, sedangkan campuran yang terdiri atas dua fasa atau lebih disebut campuran heterogen. Persamaan-persamaan berikut ini diambil dari buku *Applied Hydrocarbon Thermodynamics* karangan Wayne C. Edmister dan Byung Ik Lee.

Persamaan-persamaan pada campuran homogen dapat diterapkan pada campuran heterogen jika semua fasa berada dalam tingkat kesetimbangan. Semua persamaan termodinamika untuk zat murni dapat diterapkan langsung pada campuran homogen. Sifat-sifat termodinamika sebagai fungsi dari temperatur dan volume adalah sebagai berikut:

### 1. Energi dalam

$$\frac{U - U^*}{RT} = \frac{1}{RT} \int \left\{ T \left( \frac{\partial P}{\partial T} \right)_V - P \right\} dV \quad (1)$$

### 2. Entalpi

$$\frac{H - H^*}{RT} = Z - 1 + \frac{1}{RT} \int \left\{ T \left( \frac{\partial P}{\partial T} \right)_V - P \right\} dV \quad (2)$$

### 3. Entropi

$$\frac{S - S_0^*}{R} + \ln \frac{P}{P_0} = \ln Z + \frac{1}{R} \int \left\{ \left( \frac{\partial P}{\partial T} \right)_V - \frac{R}{V} \right\} dV \quad (3)$$

### 4. Fugasitas

$$\ln \left( \frac{f}{P} \right) = \frac{1}{RT} \int \left( V - \frac{RT}{P} \right) dP \quad (4)$$

Sembarang sifat termodinamika pada campuran homogen dapat didefinisikan oleh dua sifat termodinamika lain. Sedangkan pada campuran heterogen kuantitas tiap komponen juga mempengaruhi sifat-sifat tersebut. Persamaan-persamaan termodinamika pada campuran heterogen adalah sebagai berikut:

$$1. \quad dU = (TdS) - (PdV) + \sum_I \left( \frac{\partial U}{\partial n_i} \right)_{S,V,n_j} dn_i \quad (5)$$

$$2. \quad dH = (TdS) - (VdP) + \sum_I \left( \frac{\partial H}{\partial n_i} \right)_{S,P,n_j} dn_i \quad (6)$$

$$3. \quad dA = -(SdT) - (PdV) + \sum_I \left( \frac{\partial A}{\partial n_i} \right)_{T,V,n_j} dn_i \quad (7)$$

$$4. \quad dG = -(SdT) + (VdP) + \sum_I \left( \frac{\partial G}{\partial n_i} \right)_{T,P,n_j} dn_i \quad (8)$$

Suku-suku terakhir pada keempat persamaan merupakan perubahan sifat terhadap perubahan komposisi. Turunan-turunan ini bernilai sama dan disebut potensial kimia.

## 3. KESETIMBANGAN FASA

Setiap sistem terbuka pada campuran heterogen dapat ditinjau sebagai sistem homogen dari suatu sistem tertutup jika keseluruhan sistem berada pada tingkat keadaan kesetimbangan. Pada tingkat keadaan ini tidak ada perbedaan potensial yang dapat menyebabkan aliran massa atau energi melewati batas fasa.

Karena tidak ada perubahan sifat-sifat sistem pada tingkat keadaan kesetimbangan, maka perubahan entropi total, perubahan volume total, perubahan energi dalam total, dan jumlah mol total sistem juga bernilai nol. Berangkat dari kenyataan ini, tingkat keadaan kesetimbangan sistem yang terdiri atas  $N$  komponen tercapai jika temperatur dan tekanan tiap fasa adalah sama serta potensial kimia komponen di tiap fasa adalah sama. Dalam bentuk persamaan dapat ditulis sebagai berikut:

$$\begin{aligned} T^{(1)} &= T^{(2)} = \dots = T^{(M)} \\ P^{(1)} &= P^{(2)} = \dots = P^{(M)} \\ \mu_i^1 &= \mu_i^2 = \dots = \mu_i^M \quad (i = 1, 2, \dots, N) \end{aligned} \quad (9)$$

Parameter lain yang digunakan dalam kesetimbangan fasa adalah konstanta kesetimbangan. Konstanta kesetimbangan komponen  $i$  dalam campuran ( $K_i$ ) didefinisikan sebagai berikut

$$K_i = \frac{Y_i}{X_i} \quad (10)$$

Konstanta kesetimbangan dapat pula dinyatakan dalam sifat termodinamika, yaitu:

$$K_i = \frac{\phi_i^L}{\phi_i^V} \quad (11)$$

## 4. PERSAMAAN TINGKAT KEADAAN

Persamaan sifat termodinamika yang telah diturunkan di atas dapat dipecahkan jika diketahui hubungan  $PVT$  dan sifat-sifat gas ideal. Untuk sistem campuran diperlukan satu data tambahan, yaitu komposisi campuran. Umumnya hubungan  $PVT$  diambil dari persamaan tingkat keadaan yang telah ada. Dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, umumnya persamaan tingkat keadaan Soave memberikan hasil yang lebih akurat dalam memprediksi sifat-sifat campuran hidrokarbon [2]. Persamaan Soave diturunkan dari persamaan Redlich-Kwong dan berbentuk

$$P = \frac{RT}{V - b} - \frac{a}{V(V + b)} \quad (12)$$

Koefisien  $a$  merupakan perkalian dari parameter fungsi temperatur dan parameter bukan fungsi temperatur. Koefisien  $a$  dapat ditulis dalam bentuk

$$a = a' f(T) \quad (13)$$

Persamaan (12) dapat pula ditulis dalam bentuk persamaan pangkat tiga dari volume  $V$  sebagai berikut:

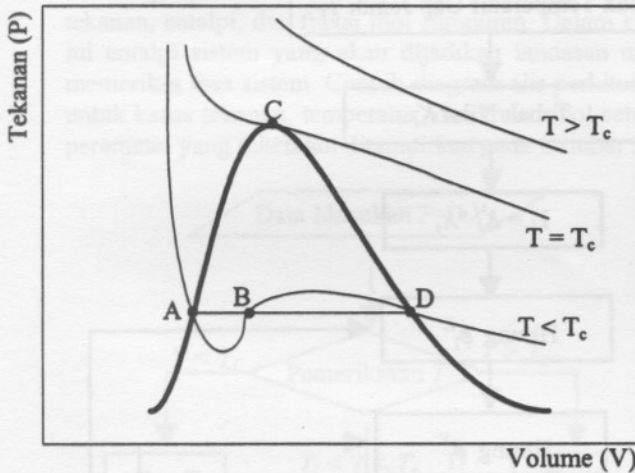
$$V^3 - \left( \frac{RT}{P} \right) V^2 + \left( \frac{a}{P} - \frac{bRT}{P} - b^2 \right) V - \frac{ab}{P} = 0 \quad (14)$$

Dalam diagram  $PV$  bentuk persamaan di atas diperlihatkan pada Gambar (1). Seperti yang ditunjukkan pada gambar tersebut, semua garis isothermal di bawah



garis isothermal kritis mempunyai tiga akar, yaitu A, B, dan D. Titik A dan D menyatakan volume cair jenuh dan volume uap jenuh, sedangkan titik B tidak mempunyai arti fisik. Ketika temperatur mendekati temperatur kritis, tiga akar ini menjadi lebih dekat satu sama lain dan akhirnya menjadi identik di titik kritis. Kondisi ini secara aljabar dapat dijabarkan sebagai berikut

$$(V - V_c)^3 = V^3 - 3V_c V^2 + 3V_c^2 V - V_c^3 = 0 \quad (15)$$



Gambar 1 Diagram PV Zat Murni

Pada titik kritis, persamaan (14) dan (15) harus identik. Dengan demikian nilai koefisien kedua persamaan harus sama pula, yaitu

$$3V_c = \frac{RT_c}{P_c} \quad (16)$$

$$3V_c^2 = \frac{a_c}{P_c} - \frac{bRT_c}{P_c} - b^2 \quad (17)$$

$$3V_c^3 = \frac{a_c b}{P_c} \quad (18)$$

$$a_c = a' f(T_c) \quad (19)$$

Jika persamaan (16), (17), dan (18) digabung maka akan diperoleh

$$b^3 + (3V_c)b^2 + (3V_c^2)b - V_c^3 = 0 \quad (20)$$

Persamaan (20) ini dapat juga ditulis dalam bentuk

$$(b^3 + 3b^2 V_c + 3bV_c^2 + V_c^3) = 2V_c^3 \quad (21)$$

atau

$$(b + V_c)^3 = 2V_c^3 \quad (22)$$

Jika persamaan (16) dan persamaan (22) digabung maka akan diperoleh

$$b = \frac{(2^{1/3} - 1)RT_c}{3P_c} = 0,08664 \frac{RT_c}{P_c} \quad (23)$$

Menggabungkan persamaan (16), (18), dan (23) akan memberikan

$$a_c = \frac{(RT_c)^2}{9(2^{1/3} - 1)P_c} = 0,42748 \frac{(RT_c)^2}{P_c} \quad (24)$$

Dari persamaan (13) dan (19) akan diperoleh

$$a = a_c \frac{f(T)}{f(T_c)} \quad (25)$$

Nilai  $f(T)/f(T_c)$  pada persamaan di atas biasanya diganti dengan  $\alpha$ , sehingga persamaan tersebut dapat ditulis dalam bentuk

$$a = a_c \alpha \quad (26)$$

Pada saat sistem berada pada titik kritis,  $\alpha$  akan bernilai satu.

Jika parameter  $V$  pada persamaan (12) diganti dengan  $ZRT/P$  maka akan diperoleh persamaan baru dalam bentuk derajat tiga, yaitu

$$Z^3 - Z^2 + (A - B - B^2)Z - AB = 0 \quad (27)$$

dimana

$$A = \frac{aP}{(RT)^2} \quad (28)$$

$$B = \frac{bP}{RT} \quad (29)$$

Faktor penting yang membedakan persamaan Soave dengan persamaan-persamaan sebelumnya adalah dalam mendefinisikan  $\alpha$ . Persamaan (25) dan (26) menyatakan bahwa  $\alpha$  tergantung pada  $T$  dan  $T_c$  sistem tersebut. Soave menambahkan satu parameter tambahan dalam menentukan  $\alpha$  dan disebut sebagai faktor asentrik. Faktor asentrik digunakan sebagai ukuran bentuk molekul sistem dan nilainya telah ditabalkan.

Soave mendefinisikan nilai  $\alpha$  sebagai berikut

$$\alpha = [1 + m(1 - T_r^{0.5})]^2 \quad (30)$$

$$m = 0,48 + 1,574\omega - 0,176\omega^2 \quad (31)$$

## 5. ATURAN PENCAMPURAN

Persamaan tingkat keadaan yang telah dijabarkan di atas berlaku untuk zat murni. Persamaan tersebut dapat juga digunakan untuk zat campuran dengan menerapkan aturan pencampuran. Aturan pencampuran ini dimaksudkan untuk merefleksikan pengaruh komposisi terhadap sifat termodinamika zat campuran.

Untuk campuran yang terdiri atas  $N$  komponen, koefisien persamaan Soave adalah

$$a = \sum_i^N \sum_j^N x_i x_j (a_i a_j)^{0.5} (1 - k_{ij}) \quad (32)$$

$$b = \sum_i^N x_i b_i \quad (33)$$

Koefisien interaksi dapat diperoleh dari data kesetimbangan uap-cair secara eksperimen. Untuk campuran hidrokarbon, koefisien interaksi ini bernilai nol. Jika koefisien interaksi bernilai nol maka persamaan (32) dapat disederhanakan menjadi

$$a = \left[ \sum_i^N x_i a_i^{0.5} \right]^2 \quad (34)$$

## 6. FUNGSI TERMODINAMIKA CAMPURAN DARI PERSAMAAN TINGKAT KEADAAN SOAVE

dengan menggunakan hubungan  $PVT$  yang telah diperoleh dari persamaan tingkat keadaan Soave, diperoleh persamaan-persamaan sifat termodinamika sebagai berikut:

Entalpi

$$\frac{H-H^*}{RT} = Z-1 - \frac{A}{B} \left[ 1 + \frac{1}{a} \sum_i \sum_j x_i x_j m_j (a_i a_{cj} T_{rj})^{0.5} (1-k_{ij}) \right] \ln \left( 1 + \frac{B}{Z} \right) \quad (35)$$

Entropi

$$\frac{S-S^*}{R} + \ln \frac{P}{P_0} = \ln(Z-B) - \frac{A}{B} \left[ \sum_i \sum_j x_i x_j m_j (a_i a_{cj} T_{rj})^{0.5} (1-k_{ij}) \right] + \ln \left( 1 + \frac{B}{Z} \right) \quad (36)$$

Koefisien fugasitas

$$\ln \phi_i = -\ln(Z-B) + (Z-1)B_i^* - \frac{A}{B} (A_i^* - B_i^*) \ln \left( 1 + \frac{B}{Z} \right) \quad (37)$$

dimana:

$$A_i^* = \frac{1}{an} \left[ \frac{\partial(n^2 a)}{\partial n_i} \right]_{T,n}$$

$$B_i^* = \frac{1}{b} \left[ \frac{\partial(nb)}{\partial n_i} \right]_{T,n}$$

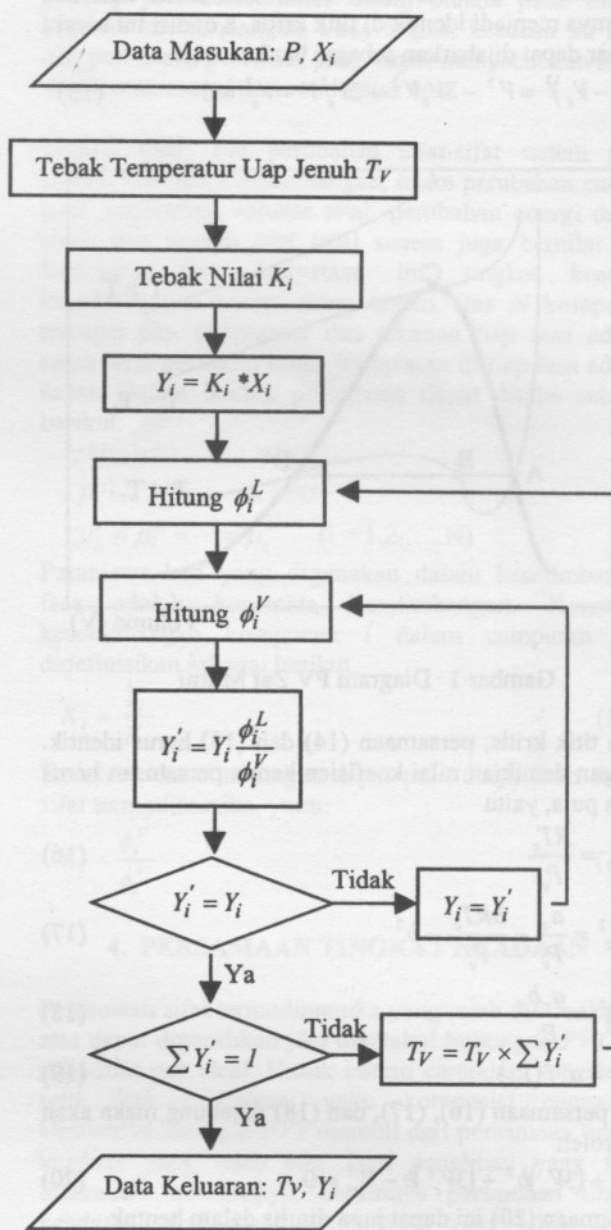
## 7. PERANGKAT LUNAK PERHITUNGAN SIFAT-SIFAT TERMODINAMIKA

Karena terlalu banyaknya parameter yang terlibat dan proses iterasi dalam orde ribuan, diperlukan bantuan computer untuk melakukan perhitungan sifat-sifat termodinamika campuran hidrokarbon. Perangkat lunak yang dibuat dapat digunakan untuk membantu menganalisis fenomena lain sepanjang berkaitan dengan sifat-sifat termodinamika campuran hidrokarbon.

Perhitungan sifat termodinamika selalu dimulai dengan perhitungan tingkat keadaan jenuh campuran berdasarkan tekanan atau temperatur yang diketahui. Diagram alir perhitungan temperatur uap jenuh ditampilkan pada Gambar 2. Pada kasus ini parameter yang diketahui adalah tekanan dan fraksi mol campuran. Pola perhitungan yang sama dapat diterapkan untuk perhitungan temperatur cair jenuh. Pada kasus ini, tebakan nilai  $K_i$  digunakan untuk menghitung  $X_i$  (fraksi mol bagian cair) dan harus selalu diperbaharui sampai jumlah totalnya satu.

Diagram alir untuk perhitungan tekanan jenuh sama dengan diagram alir untuk perhitungan temperatur jenuh. Untuk temperatur dan fraksi mol campuran sebagai parameter yang diketahui, akan diperoleh nilai tekanan

jenuh campuran. Perhitungan dapat dilanjutkan dengan perhitungan entalpi jenuh dan entropi jenuh dengan persamaan (35) dan persamaan (36).



Gambar 2 Diagram Alir perhitungan Temperatur Uap Jenuh

Jika tekanan, temperatur, dan fraksi mol suatu campuran hidrokarbon diketahui, dengan melakukan perhitungan tingkat keadaan jenuh maka fasa campuran akan diketahui. Untuk kasus temperatur sistem lebih kecil dibandingkan temperatur cair jenuh, fasa campuran adalah cair. Sebaliknya untuk kasus temperatur sistem lebih besar dibandingkan temperatur uap jenuh, fasa campuran adalah uap. Sedangkan untuk kasus temperatur sistem diantara temperatur cair jenuh dan temperatur uap jenuh, fasa campuran adalah cair dan uap. Saat memecahkan persamaan (27) selalu akan diperoleh tiga nilai  $Z$ . Nilai  $Z$  terkecil adalah nilai  $Z$  fasa cair, nilai  $Z$  terbesar adalah nilai  $Z$  fasa uap. Sedangkan nilai  $Z$  yang lain tidak mempunyai arti apa-apa. Metode

yang digunakan dalam pemecahan akar persamaan (27) adalah Metode Newton-Rapshon. Jika fasa sistem adalah cair, maka untuk mendapatkan nilai  $Z$  terkecil adalah dengan memberikan tebakan  $Z$  sebesar nol. Sebaliknya jika fasa sistem adalah uap maka tebakan  $Z$  adalah satu. Perhitungan tingkat keadaan kesetimbangan akan dilakukan jika fasa sistem adalah campuran.

Metode perhitungan yang sama dapat dilakukan untuk kasus tiga parameter lainnya yang diketahui, misalnya tekanan, entalpi, dan fraksi mol campuran. Dalam kasus ini entalpi sistem yang akan dijadikan landasan untuk memeriksa fasa sistem. Contoh diagram alir perhitungan untuk kasus tekanan, temperatur, dan fraksi mol sebagai parameter yang diketahui ditampilkan pada Gambar 3.



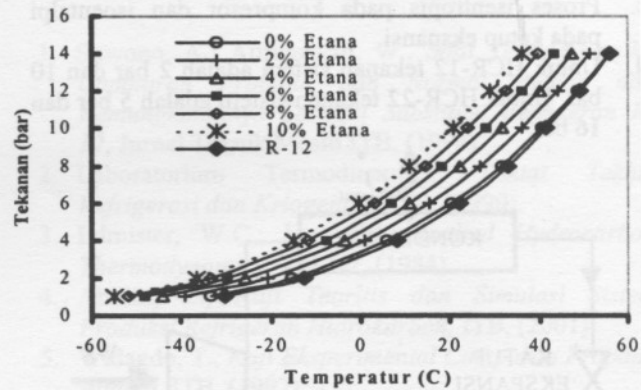
Gambar 3 Diagram Alir Perhitungan Sifat termodinamika

## 8. HASIL PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

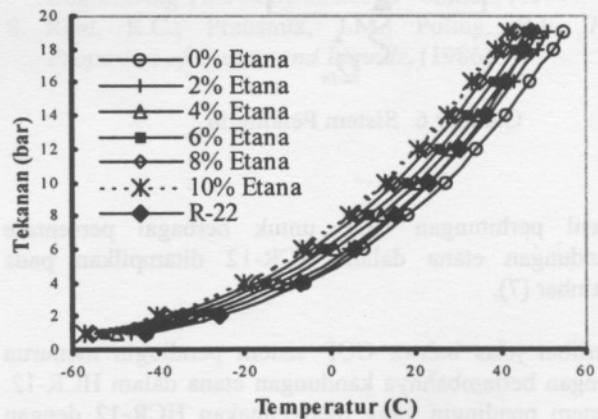
Dengan bantuan perangkat lunak yang telah dibuat akan dilakukan analisis pengaruh etana terhadap refrigera campuran hidrokarbon. Sebelum perangkat lunak digunakan, terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan has keluaran program dengan data eksperimen dan data da tabel sifat termodinamika. Dari hasil pemeriksa tekanan jenuh dan temperatur jenuh kesalahan yan terjadi adalah sekitar 2%. Sedangkan untuk entalpi spesifik, volume spesifik, dan entropi spesifik, kesalah yang terjadi sekitar 0,1% [3]

Analisis ini akan dilakukan terhadap dua jenis refrigera campuran hidrokarbon, yaitu HCR-12 dan HCR-22. HCR-12 adalah refrigera untuk mengganti R-12 sedangkan HCR-22 adalah refrigera untuk menggana R-22. Semua parameter yang ditinjau akan selai dibandingkan dengan R-12 dan R-22.

Tinjauan pertama adalah tekanan dan temperatur jenuh campuran. Gambar (4) dan Gambar (5) menampilkan grafik hubungan tekanan dan temperatur jenuh ini untuk berbagai persentase massa kandungan etana pada HCR 12 dan HCR-22.



Gambar 4 Kurva Tekanan-Temperatur Jenuh R-12 dan HCR-12 dengan Berbagai Persentase massa Kandungan Etana



Gambar 5 Kurva Tekanan-Temperatur Jenuh R-22 dan HCR-22 dengan Berbagai Persentase Massa Kandungan Etana

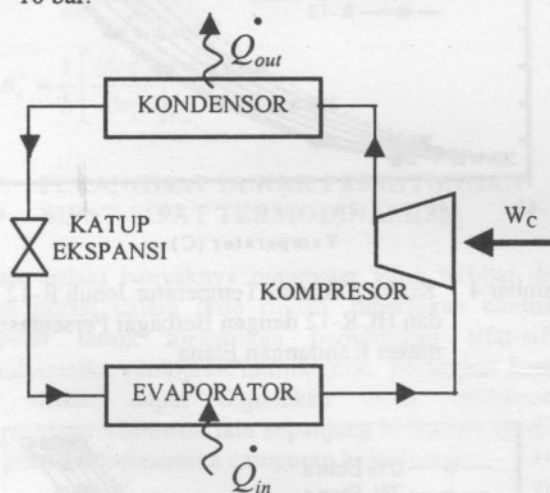


engan memperhatikan Gambar (4) diketahui bahwa makin besar persentase massa etana yang terkandung pada HCR-12, semakin besar pula penyimpangan kurva T jenuh terhadap R-12. Keadaan ini terjadi pada tekanan rendah maupun tekanan tinggi. Kurva HCR-12 dengan kandungan etana 0% merupakan kurva yang paling mendekati kurva R-12.

Untuk HCR-22, sampai tekanan 4 bar terlihat penyimpangan yang semakin besar jika persentase massa etana semakin besar. Namun semakin besar tekanan kurva R-22 semakin mendekati kurva HCR-22 dengan kandungan etana 4%. Pada tekanan tinggi kurva HCR-22 dengan kandungan etana 4% merupakan kurva yang paling mendekati kurva R-22. Sebaliknya pada tekanan rendah, kurva HCR-22 dengan kandungan etana 0% merupakan kurva yang paling mendekati kurva R-22.

Tinjauan kedua adalah nilai COP masing-masing refrigeran. Sistem pendingin yang akan ditinjau ditampilkan pada Gambar (6) dan dengan ketentuan sebagai berikut:

- Refrigeran masuk kompresor pada tingkat keadaan uap jenuh.
- Refrigeran keluar kondensor pada tingkat keadaan cair jenuh.
- Proses isentropis pada kompresor dan isoentalpi pada katup ekspansi.
- Untuk HCR-12 tekanan sistem adalah 2 bar dan 10 bar. Untuk HCR-22 tekanan sistem adalah 5 bar dan 16 bar.

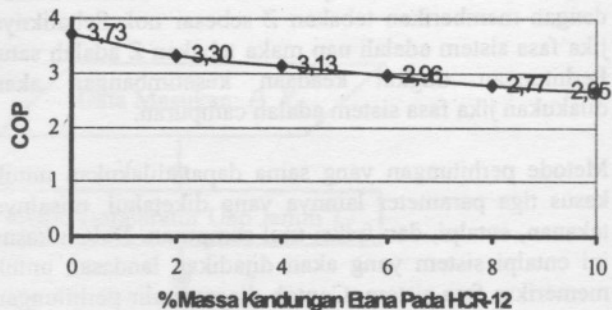


Gambar 6 Sistem Pendingin

Hasil perhitungan COP untuk berbagai persentase kandungan etana dalam HCR-12 ditampilkan pada Gambar (7).

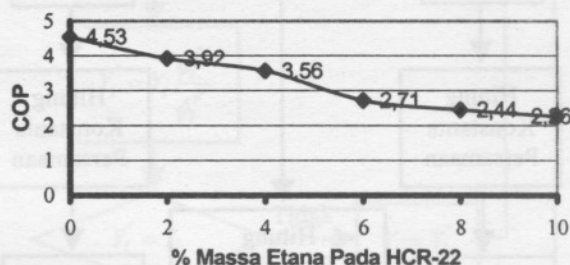
Terlihat jelas bahwa COP sistem pendingin menurun dengan bertambahnya kandungan etana dalam HCR-12. Sistem pendingin yang menggunakan HCR-12 dengan 0% etana mempunyai COP sebesar 3,73. Sementara sistem pendingin yang menggunakan HCR-12 dengan 10% etana mempunyai COP sebesar 2,65. Dalam kasus ini terjadi penurunan COP sebesar 28,9% jika kandungan etana dalam HCR-12 sebesar 10%. Sebagai bahan

perbandingan, untuk sistem pendingin yang sama dengan menggunakan R-12 mempunyai COP sebesar 3,78.



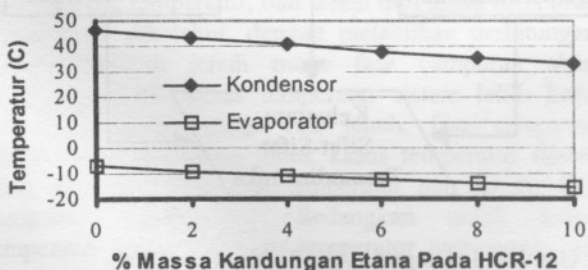
Gambar 7 Kurva COP sistem pendingin untuk berbagai nilai persentase kandungan etana dalam HCR-12

Kurva COP sistem pendingin terhadap persentase kandungan etana dalam HCR-22 ditampilkan pada Gambar (8). Terlihat bahwa COP sistem pendingin juga menurun dengan bertambahnya kandungan etana dalam HCR-22. Terjadi penurunan COP sebesar 50,1% jika kandungan etana dalam HCR-22 sebesar 10%. Untuk sistem pendingin yang sama dengan menggunakan R-22 mempunyai COP sebesar 5,27.

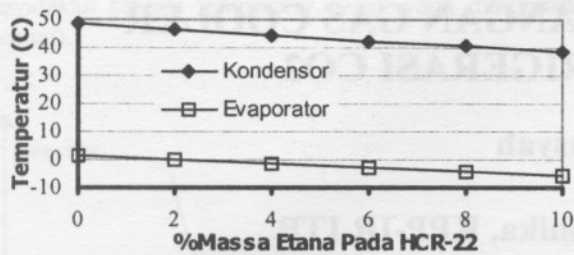


Gambar 8 Kurva COP sistem pendingin untuk berbagai nilai persentase kandungan etana dalam HCR-

Temperatur refrigeran pada evaporator dan kondensor juga menunjukkan kecenderungan menurun dengan bertambahnya kandungan etana pada HCR-12 dan HCR-22. Kurva temperatur evaporator dan temperatur kondensor terhadap persentase kandungan etana dalam HCR-12 dan HCR-22 ditampilkan pada Gambar (9) dan Gambar (10).



Gambar 9 Kurva temperatur evaporator dan temperatur kondensor sistem pendingin untuk berbagai nilai persentase kandungan etana dalam HCR-12



Gambar 10 Kurva Temperatur Evaporator dan Temperatur Kondensor sistem pendingin untuk berbagai nilai persentase kandungan etana dalam HCR-12

## 9. KESIMPULAN

### A. Pengaruh Etana pada HCR-12

Semakin besar kandungan etana semakin besar pula penyimpangan kurva P-T jenuh refrigeran terhadap kurva P-T jenuh pada R-12. Kondisi ini juga diikuti dengan menurunnya COP sistem pendingin. Kandungan 10% etana dapat menurunkan COP sistem sebesar 28,9%. Sementara temperatur evaporator dan temperatur kondensor juga menurun dengan bertambahnya kandungan etana dalam HCR-12.

### B. Pengaruh Etana pada HCR-22

Pada tekanan dibawah 4 bar, besar penyimpangan kurva P-T jenuh HCR-22 terhadap kurva P-T jenuh R-22 sebanding dengan kandungan etana dalam HCR-22 tersebut. Pada tekanan di atas 4 bar, semakin besar tekanan kurva P-T jenuh R-22 semakin mendekati kurva P-T jenuh HCR-22 dengan kandungan etana sebesar 4%. Sementara COP sistem pendingin menurun dengan bertambahnya kandungan etana dalam HCR-22. Kandungan 10% etana dapat menurunkan COP sistem pendingin sebesar 50,1%. Temperatur evaporator dan temperatur kondensor juga menurun dengan bertambahnya kandungan etana dalam HCR-22.

## SUMBER DANA

Penelitian ini didana dari Proyek Penelitian Hibah Bersaing IV Tahun Anggaran 1998/1999.

## DAFTAR DAN ARTI LAMBANG

- $a$  Konstanta persamaan Soave
- $A$  Konstanta persamaan Soave
- $b$  Konstanta persamaan Soave
- $B$  Konstanta persamaan Soave
- $a_c$  Konstanta persamaan Soave pada tingkat keadaan kritik

- $f$  Fugasitas
- $H$  Entalpi (kJ)
- $H^*$  Entalpi pada tingkat keadaan standar (kJ)
- $k_{ij}$  Koefisien interaksi
- $P$  Tekanan (bar)
- $P_c$  Tekanan pada tingkat keadaan kritis (bar)
- $P^*$  Tekanan pada tingkat keadaan standar (bar)
- $Q$  Kalor (Watt)
- $S$  Entropi (kJ/K)
- $S^*$  Entropi (kJ/K)
- $T$  Temperatur (K)
- $T_c$  Temperatur pada tingkat keadaan kritis (K)
- $T^*$  Tekanan pada tingkat keadaan standar (K)
- $U$  Energi dalam (kJ)
- $U^*$  Energi dalam pada tingkat keadaan standar (kJ)
- $V$  Volume ( $m^3$ )
- $W_c$  Daya kompresor (Watt)
- $X$  Fraksi mol fasa cair
- $Y$  Fraksi mol fasa uap
- $Z$  Faktor kompresibilitas
- $\alpha$  Konstanta fungsi temperatur
- $\mu$  Potensial kimia (kJ)
- $\phi$  Koefisien fugasitas

## DAFTAR PUSTAKA

1. Suwono, A.; Adriansyah, W., *Sifat Termodinamika Campuran Propana dan Normal Butana dan Kemungkinannya Sebagai Substitusi Refrigeran R-12*, Jurnal Teknik Mesin ITB, (1994).
2. Laboratorium Termodinamika, *Diktat Teknik Refrigerasi dan Kriogenika*, ITB, (1999).
3. Edmister, W.C.; Lee, B.I, *Applied Hydrocarbon Thermodynamics*, Vol 1-2, (1984).
4. Abidin, Z., *Kaji Teoritis dan Simulasi Sistem Produksi Refrigeran Hidrokarbon*, ITB, (2001).
5. Widagdo, T., *Kaji Eksperimental Campuran Propana Butana*, ITB, (1997).
6. Hasibuan, F., *Penentuan Sifat Termodinamika dan Sifat Transport Campuran Terner dari Propana, Normal Butana, Iso Butana, R12, R22*, ITB, (1999).
7. Wallas, S.M., *Phase Equilibria in Chemical Engineering Thermodynamics*, 3<sup>rd</sup> edition, (1981).
8. Reid, R.C.; Prausnitz, J.M.; Poling, B.E, *The Properties of Gasses and Liquids*, (1986).