

PEMAKAIAN CO₂ SEBAGAI REFRIGERAN

Willy Adriansyah¹, Arne M. Bredesen², Petter Neksa³
SINTEF Energy and Refrigeration and Air Conditioning Department
Norwegian University of Science and Technology, NTNU, Norway

Ringkasan

Salah satu upaya mengurangi pencemaran atmosfer bumi oleh senyawa-senyawa sintetik yang mengakibatkan semakin tipisnya lapisan ozon serta meningkatnya temperatur bumi adalah dengan penggunaan senyawa-senyawa alami yang telah lama bersirkulasi di biosfir bumi. Penggunaan CO₂ sebagai refrigeran merupakan upaya ke arah tersebut. Teknologi yang digunakan relatif baru dengan siklus refrigerasi yang khas yakni "Siklus Lorentzen". Penemuan siklus ini membuka jalan yang lebar bagi perkembangan dunia refrigerasi dengan banyaknya aplikasi yang dapat dikembangkan menggunakan siklus tersebut. Tulisan ini membahas prinsip dasar siklus tersebut beserta salah satu aplikasinya yang telah dan sedang dikembangkan di Norwegian University of Science and Technology.

Abstract

In the present situation there is a tendency to avoid as far as possible the use of the synthetic substances as refrigerant which can destroy ozone layer and increase average contribute to the A much more safe philosophy must be to revert to natural refrigerants, substances which are already present in our environment. The use of CO₂ as refrigerant is one attempt to this approach. This new refrigeration technology use special cycle called "Lorentzen Cycle". Lorentzen's invention opened a wide way to enhance the refrigeration technology and brought a lot of applications that can use this new cycle. This paper try to explain the basic principle of "Lorentzen Cycle" and one of such applications which has being developed at Norwegian University of Science and Technology.

Keywords: Refrigeran alami, Siklus Lorentzen, Karbondioksida.

1. PENDAHULUAN

Di negara-negara maju kini tengah gencar dilakukan upaya-upaya untuk mengurangi dampak penggunaan senyawa-senyawa sintetik terhadap lingkungan. Dari banyak bidang penggunaan senyawa sintetik tersebut, refrigerasi mendapat perhatian khusus karena besarnya konsumsi fluida kerja tiap tahunnya, baik karena meningkatnya penggunaan mesin refrigerasi ataupun karena kebocoran yang tidak dapat dihindarkan dari mesin tersebut.

Ada dua hal yang menjadi perhatian paling populer saat ini berkaitan dengan kelangsungan lingkungan hidup manusia, yaitu ODP (Ozon Depletion Potential) serta GWP (Global Warming Potential).

ODP merupakan ukuran kemampuan suatu senyawa untuk bereaksi dengan ozon relatif terhadap suatu senyawa yang dijadikan acuan. Acuan yang umum digunakan adalah R11 (CCl₃F).

GWP merupakan ukuran kemampuan suatu senyawa untuk menyerap sinar infra merah yang berasal dari

bumi sehingga mengakibatkan meningkatnya temperatur atmosfer bumi relatif terhadap suatu senyawa acuan. Mengenai penggunaan senyawa acuan ini, negara-negara yang peduli terhadap lingkungan terbagi kedalam dua kelompok besar. Kelompok pertama menggunakan R11, sedangkan kelompok kedua menggunakan CO₂ (karbondioksida) sebagai senyawa acuannya. Penggunaan senyawa acuan yang berbeda ini berkaitan dengan aspek politik perdagangan yang menyangkut monopoli produksi senyawa sintetik.

Adapun senyawa-senyawa yang telah dan akan dihentikan produksinya adalah dari keluarga CFC (Chloro Fluoro Carbon) dan HCFC (Hydro Chloro Fluoro Carbon) karena kedua senyawa dari keluarga ini memiliki ODP yang tinggi.

Sebagai konsekuensi dari penghentian produksi CFC serta HCFC, dunia refrigerasi dihadapkan pada masalah besar karena fluida kerja yang umum digunakan adalah dari kedua keluarga senyawa tersebut. Terdapat dua alternatif dalam mengatasi masalah ini, pertama dengan mencari senyawa, baik

¹ Mahasiswa S3 pada jurusan teknik pendingin, NTNU, Norway.

² Professor dan dekan pada fakultas teknik mesin, NTNU, Norway.

³ Doktor dan ketua pada bidang teknik pendingin, SINTEF, Norway.

murni ataupun campuran, yang mempunyai sifat-sifat fisik dan kimia yang mirip dengan senyawa yang digunakan sebagai refrigeran dan yang kedua dengan mendesain sistem refrigerasi yang sesuai dengan sifat-sifat khas senyawa yang hendak digunakan sebagai refrigeran.

Alternatif pertama bertujuan agar sedapat mungkin tidak diperlukan penggantian komponen-komponen penyusun sistem refrigerasi. Alternatif ini cocok diterapkan di negara-negara berkembang mengingat besarnya biaya yang harus dikeluarkan apabila perlu dilakukan penggantian komponen. Sedangkan alternatif kedua merupakan hal yang hampir tidak pernah dijamah selama ini.

Pada artikel ini akan diuraikan teknologi yang relatif baru, yang merupakan penerapan alternatif kedua. Penggunaan CO₂ sebagai refrigeran serta prinsip desain sistem refrigerasi yang sesuai dengan sifat-sifat khas fluida ini merupakan bahasan utama. Banyak hal yang terkait dengan teknologi yang relatif baru ini, untuk itu tulisan ini dibatasi pada aspek termodinamikanya yakni dengan menguraikan prinsip dasar siklus yang digunakan serta salah satu aplikasinya yang menunjukkan hasil memuaskan.

2. PENDEKATAN YANG BERBEDA

Pada prinsipnya penggunaan substansi yang secara alami bersirkulasi dalam jumlah yang besar di dalam biosfir dan kita tahu merupakan substansi yang tidak berbahaya adalah solusi yang terbaik. Sebagai contohnya dapat berupa air, udara, karbondioksida, amonia, hidrokarbon, nitrogen, atau gas mulia lainnya. Pada tulisan ini akan ditunjukkan bagaimana "refrigeran tua", yang telah dilupakan dan diasingkan selama lebih dari 40 tahun dapat secara nyata digunakan pada sistem yang didesain sesuai dengan keperluan.

Dari hukum pertama dan kedua termodinamika, kita dapat memperoleh efisiensi maksimum yang dapat dicapai oleh suatu sistem refrigerasi yang dikenal dengan COP (Coefficient Of Performance) Carnot. Efisiensi ini sama sekali tidak tergantung pada jenis fluida kerja yang digunakan melainkan semata-mata hanya tergantung pada temperatur kerja di luar sistem tersebut. Efisiensi Carnot tersebut tidak mungkin dicapai sesuai dengan hukum kedua Termodinamika, yang bisa dilakukan adalah mendesain sistem sehingga mendekati efisiensi tersebut.

Kekeliruan ini membawa dampak yang sangat besar karena anggapan di atas mengarahkan pola pikir ilmuwan pada usaha-usaha menemukan refrigeran baru yang dapat memberikan kinerja tertinggi untuk suatu sistem yang didesain. Dapat kita saksikan menjamurnya jenis refrigeran dari senyawa sintetik

dengan berbagai bumbu misalnya "ramah lingkungan", "tak beracun", "efisiensi tinggi", atau "tak mudah terbakar". Pandangan di atas juga menjadikan dunia refrigerasi menjadi bagian dari teknologi kimia yang seharusnya merupakan teknologi rekayasa termodinamika. Ada baiknya saya kutipkan kalimat yang diucapkan oleh Profesor Gustav Lorentzen, orang yang telah mengabdikan hidupnya untuk menyadarkan masyarakat ilmuwan mengenai pentingnya memanfaatkan sebesar-besarnya apa yang telah disediakan bumi kita: *Refrigeration must be brought back to thermodynamic and engineering rather than become a branch of chemistry.*

3. CO₂, REFRIGERAN YANG HAMPIR IDEAL

Beberapa sifat yang penting sebagai perbandingan antara CO₂ dengan refrigeran yang sekarang digunakan dapat ditemukan pada Tabel 1. CO₂ secara alami terdapat dimana-mana di dalam lingkungan kita. Udara mengandung kira-kira 0,35 permil CO₂ yang dalam jumlah total sekitar 300 milyar ton di dalam seluruh atmosfer, dan beberapa ratus milyar ton bersirkulasi di dalam biosfir kita¹. Tidak diperlukan waktu penelitian untuk memeriksa tingkat bahaya apabila CO₂ digunakan sebagai refrigeran, yang berarti menghemat waktu dan biaya.

Banyak orang beranggapan bahwa CO₂ merupakan gas rumah kaca (*greenhouse gas*) dan tentu saja anggapan ini benar adanya walaupun efeknya jauh lebih kecil dibandingkan dengan keluarga halokarbon. Akan tetapi, pada kenyataannya gas CO₂ yang akan digunakan sebagai refrigeran telah tersedia dalam jumlah yang tak terbatas dari berbagai aktivitas. Apa yang kita lakukan adalah hanya menunda pelepasan gas ini ke atmosfer kita. Justru hal ini merupakan prinsip yang sangat baik bagi lingkungan hidup, seperti halnya menanam pohon untuk mengikat karbondioksida dalam jangka waktu tertentu. Sayang hal ini tetap menjadi alasan utama sebagian negara maju untuk menolak penggunaan refrigeran ini. Alasan yang sesungguhnya tentu saja kita ketahui bersama bahwa mereka ingin tetap memegang kendali pemasok refrigeran sintetik yang sesungguhnya hanya akan menambah aneka ragam limbah yang asing bagi lingkungan hidup kita dan apa yang telah kita alami saat ini berupa menipisnya lapisan ozon akan dialami kembali oleh anak cucu kita di kemudian hari dengan bencana lain yang kita sendiri belum bisa memperkirakan bentuknya.

Dari sudut pandangan keamanan penggunaannya bagi manusia, CO₂ sama baiknya dengan halokarbon. CO₂ bersifat "tidak beracun" dan "tidak mudah terbakar". Terkadang juga dijadikan alasan bahwa demikian tingginya tekanan operasi CO₂ dapat merupakan

Tabel 1 Karakteristik dan sifat-sifat beberapa refrigeran

Refrigeran	CFC-12	HCFC-22	HFC-134a	NH ₃	CO ₂
Senyawa alam	bukan	bukan	bukan	ya	ya
ODP	1.0	0.05	0	0	0
GWP ⁽¹⁾ , 100 tahun	7100	1500	1200	-	0
TLV ⁽²⁾ (ppm)	1000	1000	1000	25	5000
IDLH ⁽³⁾ (ppm)	50,000	-	-	500	50,000
Mudah terbakar	tidak	tidak	tidak	ya	tidak
Beracun	ya	ya	ya	tidak	tidak
Harga relatif	1	1	3-5	0,2	0,1
Massa molar	120,92	86,48	102,03	17,03	44,01
Kap. Pendingin volumik pada 0°C (kJ/m ³)	2740	4344	2860	4360	22600

(1) Global Warming Potential dengan acuar CO₂. (2) Threshold Limit Value: konsentrasi rata-rata terhadap waktu dimana orang masih bisa bekerja dalam jam perhari atau 40 jam perminggu tanpa efek yang berbahaya. (3) Tingkat maksimum dimana orang masih bisa melepaskan diri dalam waktu 30 menit tanpa mengakibatkan trauma atau efek kesehatan yang tak disembuhkan.

bahaya tersendiri dalam hal apabila terjadi kasus pecahnya sistem misalnya. Pada kenyataannya, hal ini tidaklah benar karena volume total sistem sedemikian kecilnya.

Perlu ditekankan di sini bahwa energi ledakan yang dimiliki sistem pendingin apapun hampir sama untuk kapasitas yang sama terlepas dari jenis refrigeran yang digunakan. Besarnya energi ledakan tersebut hanya tergantung dari besarnya perkalian antara tekanan dan volume sistem, atau PV.

CO₂ juga memiliki sejumlah keunggulan:

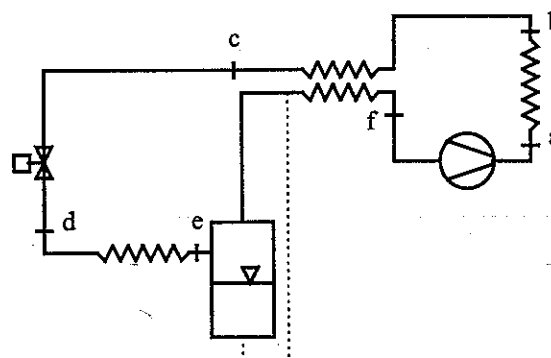
- nisbah tekanan yang jauh lebih kecil
- sesuai dengan material serta pelumas yang ada
- tersedia dimana-mana, bebas dari monopoli suplier
- operasi yang sederhana, tidak perlu "daur-ulang"
- harga sangat rendah

4. SIKLUS LORENTZEN

CO₂ sebelumnya banyak digunakan sebagai refrigeran pada sistem refrigerasi kapal-kapal pengangkutan. Permasalahan yang timbul dengan sistem ini adalah ketika kapal berlayar melalui lautan dengan temperatur yang tinggi maka sistem pendingin harus beroperasi di sekitar titik kritis refrigeran (72 bar, 31°C). Kapasitas pendinginan spesifik pada daerah di dekat titik kritis ini sangat kecil sehingga cara yang ditempuh agar sistem pendingin tidak kehilangan kapasitas totalnya adalah dengan menambahkan lebih banyak CO₂ kedalam mesin pendingin. Apabila temperatur lingkungan telah turun kembali maka refrigeran yang telah ditambahkan tersebut dibuang kembali sesuai dengan keperluan beban pendinginan. Hal inilah yang menjadikan CO₂ kurang populer sehingga usaha-usaha untuk mengembangkan komponen yang lebih baik agak tersendat. Dengan munculnya senyawa sintetik sekitar tahun 1930 yang disertai dengan promosi yang gencar akhirnya CO₂ tenggelam dari dunia refrigerasi.

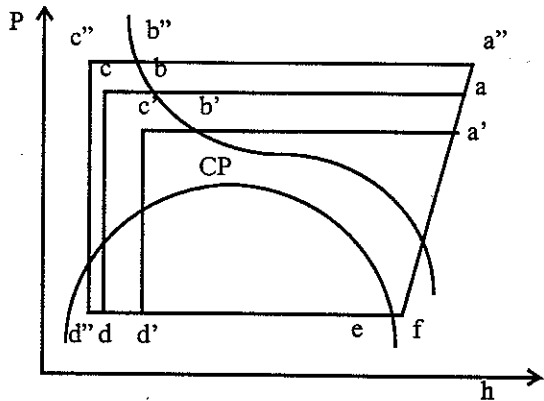
Dari permasalahan di atas muncullah ide sederhana namun luar biasa dari Profesor Gustav Lorentzen. Dia menambahkan pengumpul cairan (*liquid receiver*) di antara evaporator dan kompresor serta memasang penukar kalor internal (*internal heat exchanger*) yang mempertukarkan energi kalor dari refrigeran setelah keluar dari "kondensor(?)" dengan refrigeran yang akan memasuki kompresor. Dengan sistem ini tidak diperlukan lagi penambahan CO₂ dari luar sistem. Penggunaan kata kondensor di atas tidak sesuai lagi karena dalam siklus ini refrigeran sama sekali tidak mengalami proses kondensasi melainkan berupa proses pendinginan satu fasa, yaitu fasa gas. Sehingga nama yang tepat untuk komponen pelepasan kalor pada siklus ini adalah pendingin-gas (*gas cooler*). Beberapa hal dari siklus ini telah dipatenkan.

Siklus Lorentzen dapat dilihat pada "Gambar (1)". Siklus ini disebut juga dengan Siklus Transkritisal karena pada siklus ini proses penyerapan kalor berlangsung di bawah titik kritis refrigeran yang digunakan sedangkan proses pelepasan kalor terjadi di atas titik kritisnya sehingga digunakan kata "trans" yang berarti menyeberang.



Gambar 1 Siklus Lorentzen.

Prinsip kerja siklus tersebut dapat dijelaskan melalui diagram proses pada "Gambar (2)".



Gambar 2 Diagram proses Siklus Lorentzen

Untuk suatu temperatur medium pendingin tertentu, temperatur refrigeran keluar pendingin-gas sudah tertentu (titik b). Agar tetap diperoleh kapasitas pendinginan yang cukup ketika sistem refrigerasi beroperasi di sekitar titik kritisnya, refrigeran perlu didinginkan lebih lanjut (titik c). Pengaturan besarnya kapasitas pendinginan yang diinginkan (e-d) dilakukan dengan cara mengatur tekanan pada proses pelepasan kalor melalui besar kecilnya bukaan katup ekspansi. Pengaturan besarnya bukaan katup ini dapat dilakukan secara manual.

Dengan bantuan persamaan (1) dapat dijelaskan secara sederhana bagaimana kita dapat mengubah besarnya tekanan pada proses pelepasan kalor. Perlu diingat bahwa pada daerah satu fasa (fasa gas dalam hal ini) tekanan tidak tergantung pada temperatur.

$$\dot{m} = A \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot (p_i - p_r)} \quad (1)$$

Dimana,

- \dot{m} : laju aliran massa refrigeran
- A : luas penampang katup
- ρ : massa jenis
- p_i : tekanan pada pelepasan kalor
- p_r : tekanan pada penyerapan kalor

Persamaan (1) merupakan besarnya laju aliran massa refrigeran melalui katup ekspansi sebagai fungsi dari luas penampang dan perbedaan tekanan. Untuk kapasitas kompresor yang telah ditentukan maka jumlah refrigeran tiap satuan waktu yang dapat dikompresi relatif konstan (laju aliran massa melalui kompresor tergantung pada efisiensi volumetrik kompresor yang digunakan dan besarnya efisiensi ini bervariasi menurut kondisi operasi serta sifat termodinamik refrigeran). Besarnya tekanan p_r akan tetap karena hanya fungsi dari temperatur evaporasi. Apabila bukaan katup ekspansi dikurangi maka 'A' berkurang sedangkan 'm' tetap, sebagai konsekuensinya tekanan p_r akan bertambah. Pengurangan bukaan katup ekspansi berarti juga mengurangi jumlah aliran refrigeran ke evaporator sehingga kompresor membutuhkan tambahan refrigeran agar tetap mengalirkan jumlah refrigeran yang sama. Penambahan refrigeran ini diambil dari

MESIN Vol. XII No. 3

pengumpul-cairan yang didesain agar tetap berisi refrigeran dalam fasa cair.

Demikian juga apabila diperlukan penurunan tekanan pada proses pelepasan kalor yakni dengan cara membuka katup ekspansi lebih besar sehingga akan mengurangi jumlah refrigeran dalam pendingin-gas serta menurunkan tekanan dalam pendingin-gas tersebut.

Dari bentuk kurva isothermal pada diagram P-h dalam Gambar (2) dapat dilihat bagaimana penambahan kapasitas pendingin lambat laun semakin berkurang dengan bertambahnya tekanan sedangkan kenaikan daya kompresi relatif linear. Dapat ditunjukkan bahwa terdapat suatu tekanan tertentu yang memberikan harga COP tertinggi untuk suatu temperatur evaporasi tertentu.

Pengumpul-cairan bersama-sama dengan penukar kalor internal merupakan komponen yang penting dalam menjaga sistem agar bekerja secara baik serta memiliki berbagai kegunaan:

- untuk memungkinkan evaporator dialiri refrigeran fasa cair dalam jumlah yang cukup sehingga menjamin perpindahan kalor yang tinggi serta memudahkan sistem pengaturan.
- Untuk menampung atau mengalirkan tambahan refrigeran untuk pengaturan tekanan pada proses pelepasan kalor dengan mengubah bukaan katup ekspansi.
- Untuk menampung jumlah cairan yang cukup dalam memenuhi kebutuhan refrigeran pada semua kondisi operasi yang mungkin terjadi serta mengkompensasi kehilangan refrigeran akibat kebocoran yang tidak dapat dihindarkan selama selang waktu yang cukup.
- Untuk mengalirkan sejumlah pelumas ke kompresor melalui pipa kapiler atau katup ekspansi ke saluran hisap kompresor (garis putus-putus pada Gambar (1)).
- Untuk menyediakan volume gas yang cukup sehingga menghindari kenaikan tekanan yang sangat tinggi ketika sistem dalam kondisi berhenti pada temperatur lingkungan yang tinggi.

Jadi siklus ini pada prinsipnya mempunyai komponen dasar yang sama dengan siklus standard refrigerasi. Perbedaan utama adalah adanya pengumpul-cairan yang ditempatkan di antara evaporator dan kompresor sebagai tempat pengumpul dan pemasok refrigeran selama proses pengaturan tekanan seperti yang dijelaskan di atas.

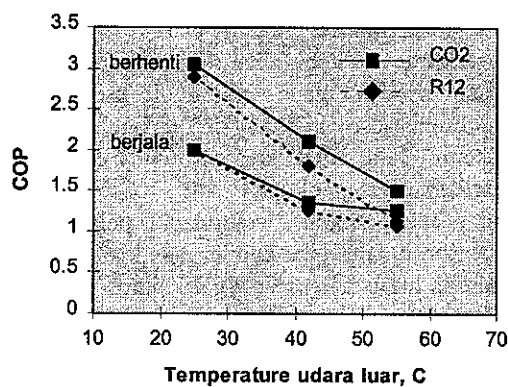
5. PENGKONDISIAN UDARA (AC) CO₂ PADA MOBIL

Lebih dari 20 juta mobil baru dilengkapi dengan sistem pengkondisian udara tiap tahunnya dan jumlah tersebut terus meningkat. Hingga sekarang, unit-unit ini bekerja dengan refrigeran R12 dan kebocoran ke

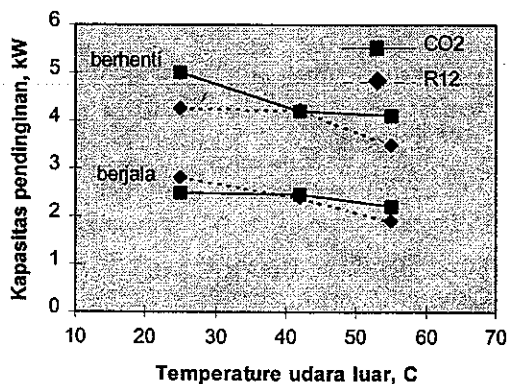
atmosfir bumi dari sistem pendingin ini diperkirakan mencapai 120.000 - 150.000 ton per tahun, jauh lebih besar dari kebocoran sistem-sistem pendingin lainnya. Pada saat ini, penggantian sistem pendingin dengan menggunakan refrigeran R134a tengah gencar dilakukan, dan hal ini akan memecahkan sebagian masalah yang tengah dihadapi dunia refrigerasi yaitu penipisan lapisan ozon seperti yang telah disebutkan sebelumnya. Akan tetapi, R134a memiliki GWP yang tinggi sehingga efek rumah kaca tetap menjadi masalah bahkan akan memperparah pemanasan global yang tengah ramai dibicarakan di dunia internasional.

Di jurusan teknik pendingin, Norwegian University of Science and Technology, sejak tahun 1992 telah dimulai usaha untuk memanfaatkan CO₂ sebagai refrigeran pada sistem pendingin mobil sebagai upaya pemecahan masalah lingkungan hidup yang tercemar akibat pemakaian senyawa-senyawa sintetik.

Sebuah prototipe laboratorium AC mobil CO₂ telah dibuat dan dites. Sebagai sistem referensi digunakan AC mobil R12 dan dibandingkan desain, efisiensi, serta kapasitasnya. Evaporator serta "kondensor" AC CO₂ dibuat dalam dimensi yang sama berdasarkan rugi tekanan pada unit R12. Kompresor yang khusus didesain untuk tujuan ini merupakan kompresor dengan jenis *wobble-plate* tiga silinder. Penukar kalor internal menggantikan saluran cairan serta saluran hisap dari unit R12.



Gambar 3 COP unit R12 dan CO₂ hasil pengujian



Gambar 4 Kapasitas pendinginan hasil pengujian

Gambar 3 dan Gambar 4 menunjukkan hasil pengukuran COP serta kapasitas pendinginan dari sistem AC R12 standar serta prototipe laboratorium CO₂ pada berbagai kondisi temperatur udara lingkungan. Kondisi pengujian mensimulasikan operasi pada kapasitas-penuh dalam dua mode yang umum-berhenti dan berjalan. Pada dua kondisi ini, kecepatan udara frontal melalui kondenser (pendingin-gas) adalah masing-masing 1,0 m/s dan 2,5 m/s. Kecepatan putar kompresor R12 adalah 700 rpm kondisi mobil berhenti serta 1.740 rpm pada saat berjalan, untuk mensimulasikan operasi mesin mobil pada 800 dan 2.000 rpm. Untuk memperoleh kapasitas pendinginan yang hampir sama, kecepatan kompresor CO₂ dikurangi sekitar 9% dari kecepatan kompresor R12 (mengingat dimensi yang berbeda), yaitu 640 rpm pada saat mobil berhenti dan 1.600 rpm pada kondisi berjalan.

Kipas sirkulasi udara kabin diatur pada kapasitas penuh dan temperatur udara dalam kabin penumpang (masukan evaporator) dipertahankan pada 30°C. Sistem dioperasikan pada kapasitas pendinginan maksimum dan dengan tanpa pembatasan temperatur evaporator.

Kesimpulan umum dari Gambar 3 adalah bahwa COP sistem karbondioksida sebaik, dan bahkan agak lebih baik, daripada sistem standar R12. Berikut ini diuraikan hal-hal yang menjadi faktor yang mendukung kinerja yang baik dari sistem CO₂.

Kompresi. Tekanan hisap pada sistem CO₂ umumnya bervariasi dari 35 hingga 40 bar (500 hingga 600 psi), sedangkan tekanan buangnya berkisar dari 80 hingga 110 bar (1.200 hingga 1.600 psi). Jadi, kompresor umumnya beroperasi pada nisbah tekanan yang moderat (P_{keluar}/P_{masuk}) antara 2,5 hingga 3,5, sedangkan kompresor R12 umumnya beroperasi pada nisbah yang jauh lebih tinggi, misalnya 5 dan 7. Karena efisiensi isentropik dari semua kompresor turun dengan naiknya nisbah tekanan, kompresor CO₂, secara umum, menunjukkan kinerja yang lebih baik.

Dari salah satu hasil pengujian pada kondisi berhenti dengan temperatur lingkungan 43°C misalnya, efisiensi isentropik kompresor CO₂ kira-kira 70% pada nisbah tekanan 3,8, sedangkan kompresor R12 hanya mencapai efisiensi kira-kira 50% pada nisbah tekanan 6,5. Jenis kompresor R12 yang lain menunjukkan karakteristik efisiensi yang sama².

CO₂ memberikan perbedaan tekanan yang tinggi (tekanan buang dikurangi tekanan hisap), tetapi kerugian kebocoran internal secara efektif dapat dikontrol dengan menggunakan ring piston.

Tekanan efektif rata-rata kompresor CO₂ kira-kira 10 kali lebih tinggi daripada kompresor R12. Sebagai konsekuensinya, penurunan efisiensi akibat rugi tekan pada katup hisap dan katup buang akan jauh lebih kecil dengan CO₂ daripada dengan R12.

Perpindahan kalor. Faktor yang menunjang peningkatan kinerja perpindahan kalor sistem CO₂

adalah permukaan sisi udara yang lebih besar pada volume penukar kalor yang sama, naiknya laju aliran udara karena berkurangnya rugi tekan sisi udara, karakteristik perpindahan kalor yang lebih baik dari CO₂, fluks massa refrigeran yang lebih tinggi, dan tidak adanya daerah panas lanjut pada arah keluaran evaporator karena besarnya konsentrasi fasa cair dalam evaporator tersebut. Secara umum, perbedaan antara temperatur evaporasi dan temperatur udara masuk berkurang kira-kira 25% pada evaporator prototipe laboratorium dibandingkan dengan unit R12. Naiknya temperatur evaporasi berkorespondensi dengan meningkatnya COP.

Dengan desain yang baik serta pemanfaatan perpindahan kalor yang efisien pada daerah superkritis, temperatur udara masuk pendingin-gas dapat didekati pada keluaran pendingin-udara CO₂. Perbedaan temperatur yang kecil ini, yang merupakan hasil dari proses pelepasan kalor dengan perubahan temperatur refrigeran pada daerah superkritis, juga ikut meningkatkan COP sistem. Dari pengujian laboratorium, perbedaan yang lebih kecil daripada kondenser R12 antara temperatur keluar refrigeran dan udara masuk didapati pada pendingin-gas CO₂.

Operasi, sirkuit, dan siklus. Sebagai tambahan terhadap peningkatan langsung akibat perbedaan temperatur yang lebih kecil, kinerja sistem juga secara tidak langsung meningkat dengan pengurangan nisbah tekanan pada proses kompresi. Seperti telah dijelaskan, sistem CO₂ dapat dioperasikan agar bekerja pada tingkat tekanan yang optimum yang akan memberikan kinerja maksimum dengan mengatur bukaan katup secara manual.

Kesimpulan bahwa konsep dasar CO₂ ternyata menghasilkan kinerja yang kompetitif didukung oleh kenyataan bahwa sistem CO₂ yang diuji, yang merupakan prototipe laboratorium generasi pertama, memberikan efisiensi yang sama bahkan lebih tinggi daripada sistem R12, yang didasarkan pada teknologi yang telah dikaji secara intensif dalam kurun waktu beberapa dekade. Dengan mempertimbangkan semua kemungkinan untuk peningkatan kinerja pada sistem yang baru ini, masa depan AC CO₂ tampak sangat baik.

6. PENUTUP

Langkah yang paling tepat dalam menyikapi penghentian produksi senyawa sintetik dari keluarga CFC dan HCFC adalah dengan kembali ke alam, yakni memanfaatkan sebesar-besarnya apa yang telah disediakan bumi. Banyak kenyataan telah menunjukkan bahwa pembuangan limbah-limbah atau senyawa-

senyawa sintetik ke atmosfer bumi hanya mengakibatkan bencana. Penggunaan CO₂ sebagai refrigeran merupakan langkah yang tepat karena kita dapat menunda pelepasan gas ini ke atmosfer untuk kurun waktu tertentu, seperti halnya menanam pohon untuk penghijauan.

Pengujian prototipe AC mobil dengan refrigeran CO₂ menunjukkan hasil yang sangat menjanjikan. Kinerja yang dicapai sama bahkan lebih baik dibandingkan dengan AC mobil R12 yang pada saat ini banyak digunakan. Solusi ini secara lengkap memecahkan masalah lingkungan hidup yang tercemar dari kebocoran sistem AC mobil serta menghilangkan ketidakpastian efek yang lain dari penggunaan senyawa-senyawa yang asing bagi lingkungan.

Penggunaan CO₂ sebagai refrigeran memberikan berbagai tambahan keuntungan dari sisi ekonomi dan praktik. Contohnya adalah tidak diperlukannya proses daur-ulang (*recycling*) atau *recovery*, harga yang rendah, ketersediaan yang melimpah, sifat-sifat fisik serta termodinamik yang telah diketahui dengan baik, serta dimensi mesin serta komponen yang sangat kompak yang merupakan faktor yang penting pada kendaraan bermotor.

7. DAFTAR PUSTAKA

1. Lorentzen, G., *Revival of CO₂ as a refrigerant*, presented at the meeting "Refrigerants beyond the crisis: Practical solutions", Institute of Refrigeration, joint one-day conference with the Institution of Mechanical Engineers, London, November 4, 1993.
2. Pettersen, J., Rekstad, H., *The Practical Performance of R134a in Motorcar Air Conditioning*. Proc XVIIIth Int Congr Refrig Montreal 1155-1160, 1991.
3. Pettersen, J., Lorentzen, G., *A New, Efficient and Environmentally Benign System for Automobile Air Conditioning*, SAE Paper 9391129. 1993 Vehicle Thermal Management Systems Conference, Columbus, OH, March, 1993.
4. Lorentzen, G., *Trans-critical vapour compression cycle device*, International Patent Publication WO 90/07683.