

## KAJIAN KELAYAKAN APLIKASI REFRIGERASI SIKLUS GAS PADA KENDARAAN DENGAN STUDI KASUS PADA GRAND LIVINA 2007

**Rianto Wibowo**

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muria Kudus  
Gondangmanis, PO Box 53, Bae, Kudus 59352  
Email :rianto.wibowo@umk.ac.id

### Abstrak

*Sistem refrigerasi siklus gas merupakan salah satu sistem refrigerasi yang memiliki kelebihan pada sumber energi yang digunakan merupakan sumber energi tanpa batas yakni gas.*

*Aplikasi sistem refrigerasi mempertimbangkan berbagai aspek diantaranya adalah beban pendinginan, daya mesin yang tersedia, analisa Termodinamika dan efisiensi/COP yang dihasilkan.*

*Dengan melakukan kajian kelayakan dengan studi kasus pada kendaraan Grand Livina tahun 2007, ternyata aplikasi ini layak untuk diwujudkan mengingat kebutuhan daya kompresor hanya 3 hp dan COP yang mungkin didapat adalah 0,57.*

**Kata kunci** : beban pendinginan, COP, sistem refrigerasi, siklus gas

### 1. PENDAHULUAN

Salah satu aspek yang harus dipenuhi oleh sebuah kendaraan agar nyaman adalah system pendingin / AC yang baik, dan Grand Livina telah dilengkapi dengan sistem ini dengan kualitas yang baik. Hal ini terbukti dengan tingginya tingkat *satisfaction customer* grand livina.

Sistem refrigerasi dibuat berdasarkan siklus tertentu, dan salah satunya adalah refrigerasi siklus gas yang diaplikasikan pada pesawat terbang. Sistem ini memiliki nilai efisiensi/COP yang rendah, namun satu hal yang menarik adalah fluida kerja / refrigerant yang digunakan adalah udara, yang merupakan sumber energi tanpa batas.

Dalam makalah ini, penulis akan mengkaji kemungkinan aplikasi refrigerasi siklus gas pada kendaraan grand livina, sehingga bisa ditarik kesimpulan apakah aplikasi ini memungkinkan atau tidak. Grand Livina mengadopsi mesin HR15DE berkapasitas 1,5 liter dan MR18DE berkapasitas 1,8 liter. Keduanya telah dilengkapi teknologi CVTC (Continuously Variable-valve Timing Control) yang mengatur mesin untuk memperbesar tenaga dan torque (momen puntir) secara efisien di setiap putaran mesin. Bahan bakar yang digunakan adalah bensin, dan berdasar informasi produsen, tingkat konsumsi bahan bakarnya relatif hemat.

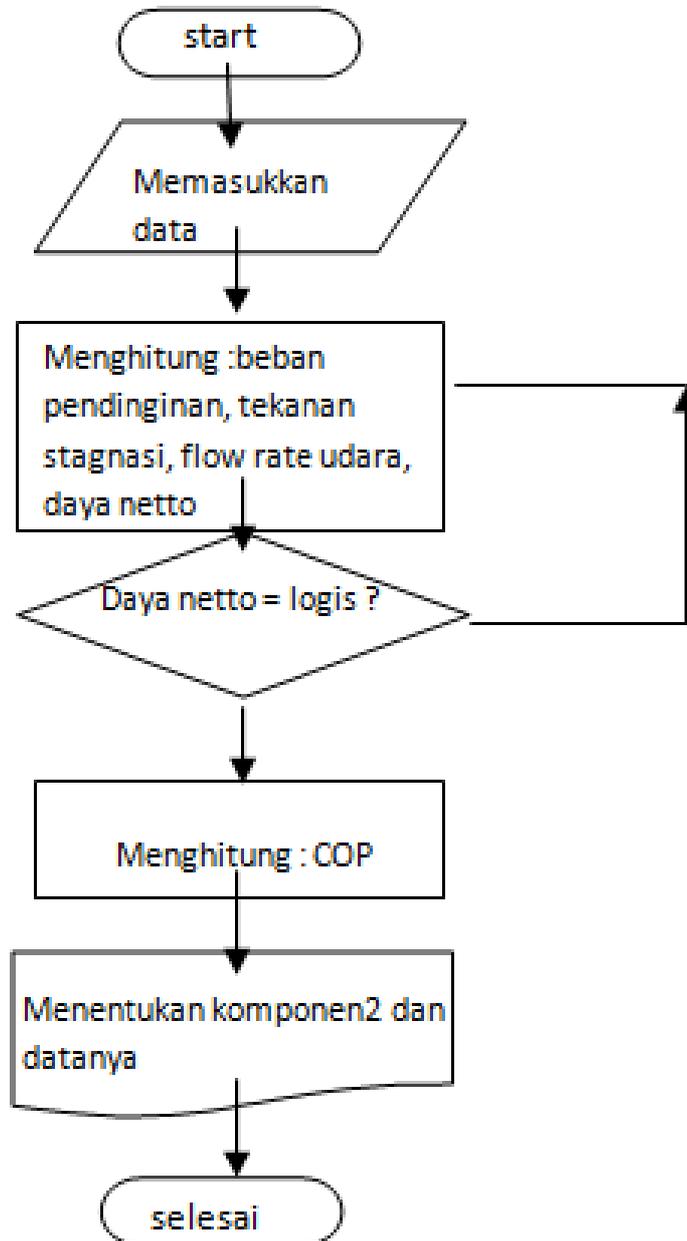
Berdasar data spesifikasi yang dirilis oleh pabrikan didapat informasi bahwa engine Grand livina ini memiliki volume ruang bakar 1500 cc dengan Power maksimal sebesar 109 hp/ 6000 rpm untuk mesin HR15DE dan 1800cc dengan daya maksimal 126 hp/5200 rpm untuk mesin MR18DE.

Pada bagian refrigerasi, kendaraan ini menggunakan compressor tipe rotary vane, dilengkapi dengan sistem air flow yang memiliki blower yang penempatannya memungkinkan untuk menjangkau setiap sudut pada kendaraan ini.

Berdasar data dimensionnya, kendaraan ini memiliki ukuran 4420 mm x 1690 mm x 1595 mm, dan memiliki volume kabin sebesar 5,900 m<sup>3</sup>. Kendaraan mampu mengangkut maksimal 7 orang dewasa dan dilengkapi bagasi yang cukup lapang. Peralatan elektronika standar yang terdapat pada kendaraan ini adalah radio/ tape/ CD ( 65 Watt ) dengan dilengkapi 4 buah speaker (30 Watt). Kedua jenis mesin Nissan Grand Livina juga telah dilengkapi dengan high air intake (saluran udara masuk pada mesin) yang diposisikan di atas grill. Fitur ini menjadikan Grand Livina memiliki kemampuan lebih baik untuk melewati jalanan yang tergenang air hingga ketinggian sebatas ban.

## 2.METODOLOGI

Diagram alir untuk proses kajian kelayakan refrigerasi siklus gas pada kendaraan grand livina adalah sebagai berikut :



Gambar 1. Diagram Alir

Salah satu faktor dalam mendesain mesin pendingin adalah mengetahui beban pendingin yang akan dipindahkan ke luar sistem dan menjaga sistem/ruangan tersebut pada kondisi yang diinginkan. Beban-beban pendinginan yang ada meliputi :

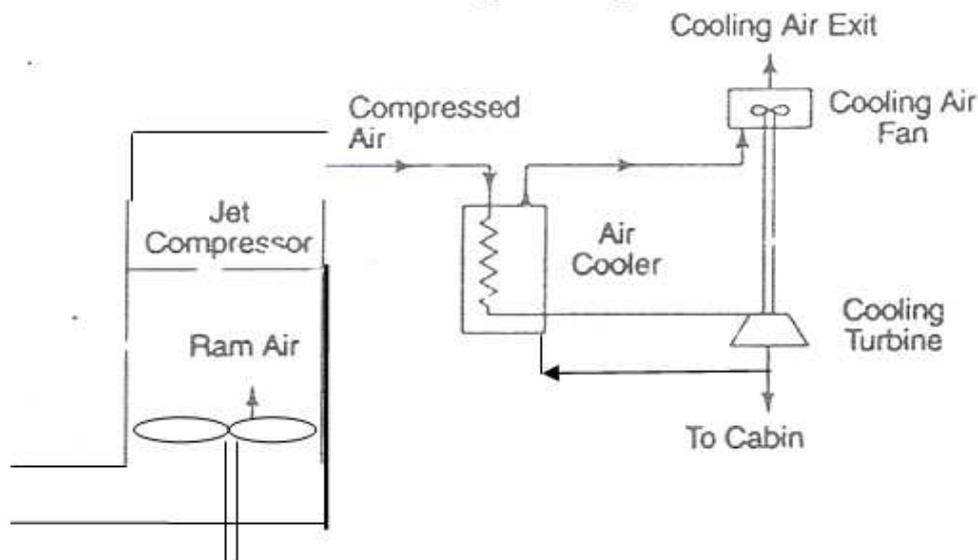
- a. Beban pendingin dari penghuni  
 Beban pendingin ini merupakan jumlah kalor sensibel dan laten yang dihasilkan dari penghuni pada ruangan yang akan dikondisikan udaranya. Besar beban ini tergantung pada temperatur ruangan, kegiatan penghuni dalam ruangan, usia dan jenis kelamin serta lama penghuni berada di ruangan.  
 Besarnya beban sensibel penghuni dirumuskan ;  $Q_s = q_s \cdot n \cdot CLF$  ..... (2.1)  
 Besarnya beban laten penghuni dirumuskan :  $Q_l = q_l \cdot n$  .....(2.2)  
 Dimana: n menunjukkan banyaknya penghuni, q adalah kalor sensibel dan laten tiap orang, yang besarnya dapat dilihat pada tabel 19.1 (Arora,1981) dan CLF merupakan cooling faktor.
- b. Beban pendingin dari peralatan listrik  
 Nialai beban ini tergantung pada jenis dan jangka waktu pemakaian peralatan, atau secara matematis dapat ditentukan dengan rumus ;  $Q = n \times W \times BF \times UF \times CLF$ .....(2.3)  
 Besar kapasitas peralatan listrik/W memiliki konversi 1 Watt = 3,41 Btu/hr. Nilai beban pendinginan dari peralatan ini dapat dilihat pada tabel.
- c. Beban pendingin akibat infiltrasi udara  
 Pada kendaraan keluaran baru, tentunya beban pendinginan ini akan mempunyai harga yang kecil, dimana besarnya beban pendinginan ini dicari dengan rumus :  
 $Q_s = 0,0204 \text{ CMM } (T_0 - T_R) \text{ KWatt}$  .....(2.4)  
 $Q_l = 50 \text{ CMM } (w_0 - w_R) \text{ KWatt}$ .....(2.5)
- d. Akibat radiasi surya.  
 Beban pendingin ini memang bukan merupakan faktor utama, namun jika pada waktu yang semestinya maka beban pendinginan ini sangat besar nilainya. Besarnya laju perpindahan kalor akibat radiasi matahari dapat dicari dengan rumusan :  $Q = SHGF \times A \times SC \times CLF$ .(2.6)

### 3.HASIL DAN PEMBAHASAN

#### a. Pemilihan Type Refrigerasi Siklus Gas

Berdasar karakteristik dan tingkat kesulitan dalam aplikasi, analisis ini akan menggunakan tipe simple siklus refrigerasi gas untuk diaplikasikan pada kendaraan Grand Livina. Ubahan yang harus dilakukan dari tipe simple refrigerasi siklus gas tersebut meliputi :

- Penggunaan blower sebagai media pensuplai udara berkecepatan tinggi sebagai Ram Air pada siklus gas di kendaraan Grand Livina,
- Udara bertekanan tinggi dari kompressor hanya dialirkan ke heat exchanger ( tidak ada yang menuju ke *combustion chamber* ),
- Penggunaan udara dingin pada kabin sebagai cooler pada heat exchanger, sehingga dihasilkan desain sistem refrigerasi sebagai berikut :



**Gambar 2. Sistem Refrigerasi Siklus Gas yang akan Diaplikasikan pada Grand Livina**

### **b. Perhitungan**

Beberapa asumsi yang diambil dalam kajian kelayakan ini meliputi :

- |   |                            |
|---|----------------------------|
| a. Suhu kabin rata-rata yang diinginkan | = 22 <sup>0</sup> C        |
| b. Tekanan udara kabin yang diinginkan  | = 1,01325 bar = 101,32 KPa |
| c. Efektiveness Heat Exchanger          | = 1                        |
| d. Perbandingan kompresi kompressor     | = 3                        |
| e. Perbandingan ekspansi turbin         | = 2                        |
| f. Effisiensi Turbin                    | = 0,8                      |
| g. Effisiensi Ram                       | = 1                        |
| h. Penurunan tekanan HE                 | = 10 KPa                   |

Berdasarkan rumusan yang ada pada paparan sebelumnya, dan data yang telah ditetapkan maka didapatkan nilai-nilai sebagai berikut :

#### 1. Beban Pendingin

- a. Beban pendingin dari penghuni :

Berdasar tabel 19.1 (Arora,1981), pada suhu 22<sup>0</sup> C didapatkan besar  $q_s = 80$  Watt,  $q_L = 35$  Watt (kondisi seated rest). Sehingga total beban pendinginnya :

$$Q_s = 80 \times 7 \times 1 = 560 \text{ Watt} ; Q_l = 35 \times 7 = 245 \text{ Watt, jadi } Q_{\text{total}} = \mathbf{805 \text{ Watt}}$$

- b. Beban pendingin dari radiasi matahari:

Berdasar tabel 17.8 dan 17.9 (Arora,1981) didapatkan nilai beban pendinginan :

$$Q = 165 \times 2,65 \times 1 \times 1 = \mathbf{437,25 \text{ Watt}}$$

Keterangan : harga SHGF diambil nilai rata-rata.

- c. Beban pendingin dari peralatan listrik :

$$Q = (1 \times 65 \times 1 \times 1 \times 1) + (4 \times 30 \times 1 \times 1 \times 1) = \mathbf{185 \text{ Watt}}$$

- d. Beban pendingin dari infiltrasi udara :

Mengingat kendaraan ini merupakan kendaraan keluaran baru, nilai beban pendingin ini sangat kecil sehingga diabaikan.

Berdasar hasil perhitungan diatas, nilai beban pendingin total pada kabin kendaraan :

$$Q = \mathbf{1427,25 \text{ Watt}}$$

## 2. Temperatur dan Tekanan Stagnasi

Blower yang digunakan untuk keperluan kendaraan dapat digunakan tipe sentrifugal satu tingkat (Church, 1993) yang beroperasi pada 3500 rpm, tekanan output = 19,7 psi (60<sup>0</sup> F), dan debit aliran gas = 30.000 ft<sup>3</sup>/menit. Luas saluran output blower = 2000 cm<sup>2</sup>

Dari data diatas maka :

$$P_1 = 19,7 \text{ psi} = 135,86 \text{ Kpa} = 136 \text{ KPa}$$

$$T_1 = 60^{\circ} \text{F} = 15,5^{\circ} \text{C} = 16^{\circ} \text{C} = 286 \text{ K}$$

$$v = Q/A = 70 \text{ m/s}$$

- Temperatur stagnasi :  $T_2 = T_2' = T_1 + \frac{C^2}{2C_p} = 286 + \frac{70^2}{2010} = 288,4 \text{ K}$
- Tekanan Stagnasi :  $P_2 = P_2' = P_1 \left\{ \frac{T_2}{T_1} \right\}^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = 139,85 \text{ KPa}$
- Tekanan Discharge kompresor :  $\frac{P_3}{P_2} = 3$ , maka  $P_3 = 419,55 \text{ KPa}$
- Temperatur discharge kompresor :  $T_3 = T_2 \left\{ \frac{P_3}{P_2} \right\}^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 394,82 \text{ K}$
- Tekanan Hot output HE :  $P_4 = P_3 - \Delta P = 409,55 \text{ KPa}$
- Temp. Hot output HE :  $\frac{T_3 - T_4}{T_3 - T_1} = 0,8$  ; maka  $T_4 = 314,96 \text{ K}$
- Temp.out put turbin :  $T_5 = \frac{T_4}{\gamma(\gamma-1)/\gamma} = 262,5 \text{ K}$

## 3. Efek refrigerasi

$$\text{Besarnya efek refrigerasi : } q_0 = c_p (T_1 - T_5) = 32,7 \text{ KJ/kg}$$

## 4. Kerja netto

$$\text{Kerja kompresor} = c_p (T_3 - T_2) = 106,95 \text{ KJ/kg}$$

$$\text{Kerja Ram air} = c_p (T_2 - T_1) = 2,84 \text{ KJ/kg}$$

$$\text{Kerja Ekspansi} = c_p (T_4 - T_5) = 52,7 \text{ KJ/kg}$$

Jadi :

$$\text{Kerja Netto} = (\text{Kerja Komp.} + \text{Kerja RA}) - \text{Kerja Eksp.} = 57,09 \text{ KJ/kg}$$

## 5. Flow rate udara

$$\text{Besarnya nilai flow rate udara : } \dot{m} = \frac{Q_0}{q_0} = 0,044 \text{ kg/s}$$

## 6. Daya Netto :

$$\text{Besarnya daya netto yang dibutuhkan : } P = \dot{m} \cdot \text{Kerja Netto} = 2,51 \text{ KWatt}$$

## 7. COP

$$\text{Harga COP sistem refrigerasi adalah : } \text{COP} = \frac{q_0}{W_{\text{netto}}} = 0,57$$

## 4. KESIMPULAN

Berdasar analisis Termodinamika pada siklus gas dan pemilihan komponen sistem refrigerasi, hasil kajian aplikasi sistem refrigerasi siklus gas pada kendaraan Grand Livina adalah sebagai berikut :

- (1) Daya mesin masih memungkinkan untuk menggerakkan kompresor sistem refrigerasi, mengingat daya mesin maks.yang tersedia sebesar 106 hp, sedangkan kebutuhan daya untuk kompresor sebesar ± 3 hp.
- (2) COP sistem refrigerasi positif meskipun bernilai sangat kecil (0,57). Dari sisi Teknis nilai COP sebesar ini tidak layak untuk diaplikasikan, namun karena fluida kerja/refrigeran yang digunakan adalah udara, maka sistem ini secara ekonomis layak untuk diaplikasikan.
- (3) Agar sistem refrigerasi dapat diaplikasikan, spesifikasi komponen yang terpasang meliputi :
  - i. Blower dengan putaran 1500 rpm
  - ii. Kompresor dengan daya ± 3 hp, dan perbandingan kompresi = 3
  - iii. Heat Exchanger dengan  $\epsilon = \pm 1$
  - iv. Turbin/ekspander dengan perbandingan ekspansi = ± 2

**DAFTAR PUSTAKA**

- Arora. *Refrigeration and Air Conditioning*, 2000, 2<sup>nd</sup>.  
Church. *Pompa dan Blower Sentrifugal*, terjemahan Zulkifli, 1993.  
Crouse. *Automotive Air Conditioning*, 1983.  
Gupta. *Element of Mechanical Engineering*. 1997.