

2. TEORI DASAR

2.1 Tinjauan Pustaka

Menurut majalah otomotif (edisi no 18/XVI 2004) pemakaian supercarjer disertai dengan penambahan *intercooler* sangat mumpuni untuk mendongkrak *performance* dari suatu engine, peningkatannya sekitar 10-20% dari daya standar.

Intercooler merupakan suatu alat penukar kalor (*Heat exchanger*) dengan fluida yang didinginkan udara atau gas dan fluida pendinginnya juga udara atau gas. Fluida yang didinginkan masuk saluran inlet bergerak melalui *tube* (saluran-saluran kecil pipa pendingin) kemudian keluar melalui saluran outlet, dan media pendinginnya berupa udara yang dialirkan melalui *fin*. Penurunan temperatur antara masukan dan keluaran dari *intercooler* antara 5^o sampai 25^o C. hal ini sangat tergantung dari cuaca lingkungan dan aliran udara pendingin.

Dalam dunia ajang balap Drag race dan sebagainya para pemodifikator tidak hanya mengalirkan udara saja sebagai media pendingin *intercooler* tetapi ditambah dengan menyemprotkan air ke permukaan *intercooler* dan ada juga yang menyemprotkan air es ke permukaan *intercooler* dengan tujuan pendinginan lebih maksimal, penurunan temperatur dengan pendingin air es bisa mencapai 45% dari panas semula dibandingkan dengan udara saja yang hanya sekitar 10% sampai 20% saja. Udara yang dingin diharapkan dapat memperpadat molekul O₂ sehingga pembakaran bisa lebih sempurna dan *performance* (daya dan torsi) dari suatu kendaraan lebih baik.

2.2 Motor Bakar

Motor diesel diciptakan oleh orang berkebangsaan Jerman yang bernama Rudolf Diesel, yang berhasil mempertunjukkan hasil karyanya pada tahun 1898. Sedangkan beberapa tahun sebelumnya, yaitu pada tahun 1876 Nikolaus otto berhasil menciptakan motor bensin empat langkah. Kedua tokoh ini sangat berjasa dalam dunia otomotif karena mereka telah menciptakan motor penggerak mula yaitu motor bakar torak. Dalam perkembangan sejak diciptakannya pertama kali motor diesel dan motor bensin hingga saat ini banyak digunakan sebagai motor penggerak kendaraan bermotor, kereta api, kapal, mesin alat berat, mesin pertanian, penggerak generator (genset), dan lain sebagainya. Gas buang dari motor bakar ini mengandung komponen yang beracun sehingga sangat membahayakan jika konsentrasinya didalam atmosfer terlalu tinggi. Masalah polusi udara khususnya di kota-kota besar merupakan masalah yang timbul akibat meningkatnya jumlah kendaraan bermotor. Sehingga saat ini muncul peraturan pemerintah terhadap ambang batas komposisi gas buang kendaraan bermotor.

Motor bensin yang disebut *spark ignition engine* (sistem penyalaan campuran udara bahan bakar akibat percikan api dari busi), dan motor diesel yang disebut *compression ignition engine* (sistem penyalaan campuran udara bahan bakar akibat panas yang timbul karena kompresi).

Motor bakar pada saat pertama kali diciptakan effisiennya sangat rendah dan komposisi gas buangnya sangat tidak ramah lingkungan. Akan tetapi para ilmuwan teknik terus-menerus menyempurnakan kinerja dari motor bakar torak dengan menyempurnakan sistem-sistem yang ada mulai dari sistem pemasok bahan bakar dan pengabut bahan bakar, sistem pembakaran, saluran pembakaran (*intake dan exhaust manifold*), bentuk ruang bakar, dan lain sebagainya. Dan hingga saat ini motor bakar memiliki efisiensi yang tinggi tetapi daya yang dihasilkan juga besar dengan kadar emisi gas buang yang ramah lingkungan.

2.3 Siklus Kerja Motor Diesel 4 Langkah

Motor diesel empat langkah atau 4 tak adalah motor diesel dimana untuk melakukan satu kerja diperlukan 4 langkah gerakan torak atau 2 kali putaran poros engkol.

Siklus kerja motor diesel empat langkah:

1. Langkah pemasukan/hisap

Pada langkah ini torak bergerak dari TMA (titik mati atas) menuju ke TMB (titik mati bawah) dan pada saat ini katup masuk terbuka katup buang tertutup. Karena gerakan torak ini maka tekanan di dalam silinder turun (lebih rendah dibandingkan tekanan atmosfer), sehingga udara segar dari atmosfer masuk ke dalam silinder. Langkah ini berlangsung sampai torak mencapai TMB.

2. Langkah Kompresi

Langkah kompresi terjadi setelah langkah pemasukan selesai. Pada langkah ini semua katup tertutup, torak bergerak dari TMB menuju ke TMA yang mengakibatkan udara segar terkompresi di dalam silinder sehingga tekanan dan temperaturnya naik. Kenaikan tekanan ini dapat mencapai 4 mpa (600 psi) sedangkan kenaikan temperatur dapat mencapai 800⁰K tergantung pada rasio kompresi serta ukuran motor yang digunakan. Saat torak hampir mencapai TMA, bahan bakar di semprotkan (diinjeksikan) ke dalam ruang bakar melalui injector sehingga membentuk kabut campuran udara bahan bakar. Dan karena temperatur dalam ruang bakar tersebut melampaui temperatur penyalaan bahan bakar, maka campuran udara bahan bakar tersebut akan segera terbakar.

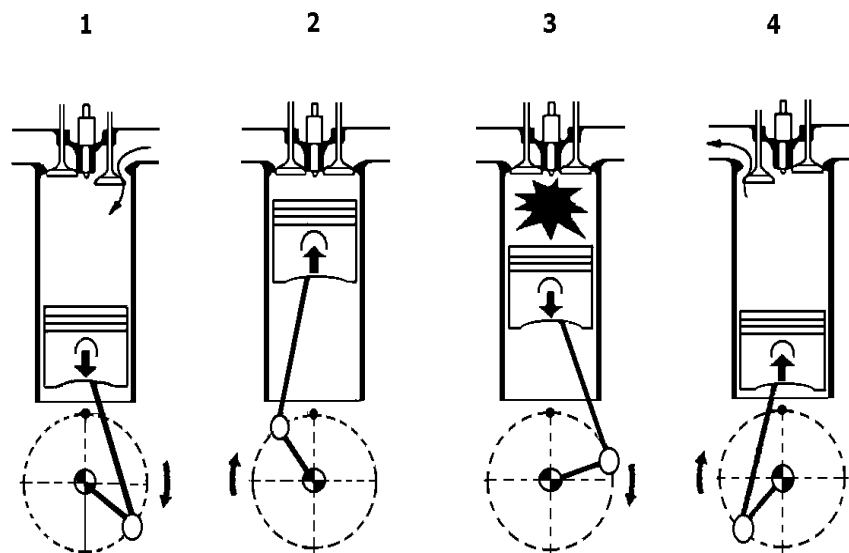
3. Langkah kerja atau ekspansi

Langkah ini merupakan lanjutan langkah kompresi. Pada langkah ini semua katup masih dalam kondisi tertutup. Sebagai akibat dari terbakarnya campuran udara bahan bakar dalam ruang bakar, maka

tekanan dalam ruang bakar meningkat dengan cepat sehingga mendorong torak bergerak dari TMA menuju TMB, terjadilah kerja/tenaga yaitu perubahan energi termis menjadi energi mekanis.

4. Langkah pembuangan

Pada langkah ini katup dalam kondisi terbuka dan katup masuk tertutup sementara torak bergerak dari TMB ke TMA sehingga gas sisa pembakaran yang tidak termanfaatkan lagi terdorong keluar melalui katup buang. Saat torak mencapai TMA katup buang tertutup dan katup masuk mulai terbuka. dan selaniutnva siklus mulai berulang.



Gambar 2.1 Siklus mesin diesel 4 langkah

(Sumber: Kristanto 2004)

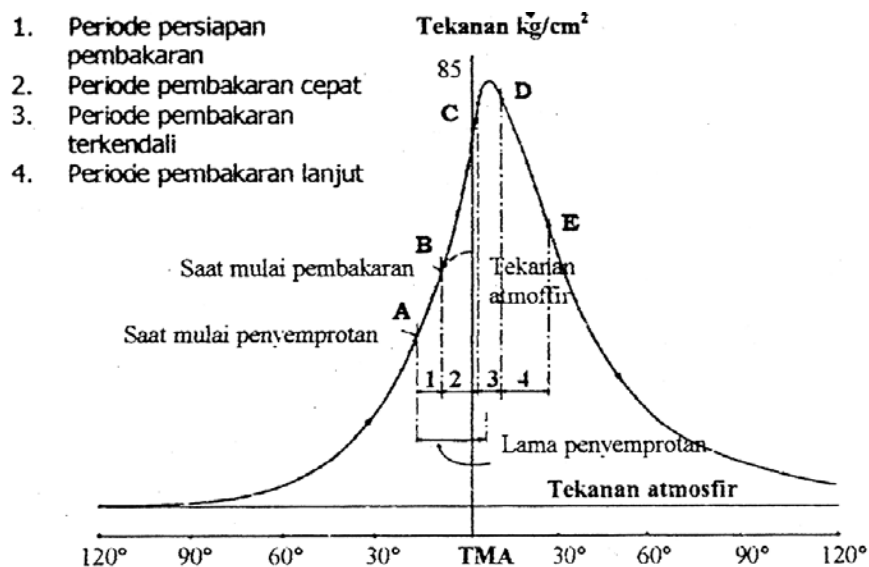
2.4 Proses Pembakaran Pada Motor Diesel

proses pembakaran adalah suatu reaksi kimia cepat antara bahan bakar(hidrokarbon) dengan oksigen dari udara bebas. Motor diesel tidak memerlukan busi untuk melakukan proses pembakaran. Proses pembakaran motor diesel tidak terjadi sekaligus tetapi terjadi secara bertahap sebagaimana

ditunjukkan dalam gambar 2.2 bahwa tekanan udara akan naik selama kompresi berlangsung. Beberapa derajat sebelum torak mencapai titik mati atas bahan bakar mulai disemprotkan. Bahan bakar akan segera menguap dan bercampur dengan udara yang sudah bertemperatur tinggi. Oleh karena temperaturnya sudah melampaui temperatur penyalaan bahan bakar, maka bahan bakar akan terbakar sendiri dengan cepat.

Waktu yang dibutuhkan antara bahan bakar mulai disemprotkan dengan saat mulai terjadinya pembakaran disebut dengan *periode persiapan pembakaran*(1). Waktu persiapan pembakaran tergantung pada beberapa faktor, diantaranya:

- Tekanan dan temperature udara pada saat bahan bakar mulai disemprotkan.
- Gerakan udara dan bahan bakar
- Jenis dan derajat pengabutan bahan bakar
- Perbandingan udara-bahan bakar.



Gambar 2.2 Grafik tekanan terhadap sudut engkol
 (Sumber: Kristanto 2004)

Setelah melampaui periode persiapan pembakaran, bahan bakar akan terbakar dengan cepat. Pada gambar 2.2 ditunjukkan sebagai garis lurus yang menanjak, karena proses pembakaran terjadi dalam proses pengecilan volume (torak masih bergerak menuju TMA). Sampai torak bergerak kembali beberapa derajat sudut engkol setelah TMA, tekanannya masih bertambah besar tetapi dengan laju kenaikan yang mengecil. Hal ini disebabkan karena kenaikan tekanan yang seharusnya terjadi dikompensasi oleh bertambahnya volume ruang bakar sebagai akibat bergeraknya torak dari TMA menuju ke TMB. Periode pembakaran, pada saat terjadi kenaikan tekanan yang berlangsung dengan cepat (garis B-C), disebut dengan *periode pembakaran cepat* (2). Periode pembakaran ketika masih terjadi kenaikan tekanan sampai melewati tekanan yang maksimum dalam tahap berikutnya (garis CD), disebut periode pembakaran terkendali (3). Dalam periode ini jumlah bahan bakar yang masuk ke dalam silinder sudah mulai berkurang, bahkan mungkin sudah dihentikan. Selanjutnya dalam *periode pembakaran lanjut* (4) terjadi proses penyempurnaan pembakaran dan pembakaran dari bahan bakar yang belum sempat terbakar.

Laju kenaikan tekanan yang terlalu tinggi tidak dikehendaki karena mengakibatkan beberapa kerusakan, sehingga harus diupayakan agar periode persiapan pembakaran terjadi sesingkat-singkatnya hingga belum terlalu banyak bahan bakar yang siap untuk terbakar selama waktu persiapan pembakaran.

Agar diperoleh efisiensi setinggi mungkin, pada umumnya diupayakan agar tekanan gas maksimum terjadi pada saat torak berada diantara 15-20 derajat sudut engkol setelah TMA. Hal ini dapat dilaksanakan dengan jalan mengatur saat penyemprotan bahan bakar (*timing injection*) yang tepat. Untuk menghasilkan proses pembakaran yang halus biasanya berlaku beberapa angka perbandingan antara kenaikan tekanan dan besar sudut engkol sebagai berikut:

Kecepatan putar	$\frac{\Delta P}{\Delta \Phi} \cdot \frac{kg/cm^2}{der.sudutengkol}$
Kecepatan rendah	2-3
Kecepatan sedang	3-4
Kecepatan tinggi	6-8

Upaya yang dapat dilakukan untuk mempersingkat periode persiapan pembakaran:

- Menggunakan perbandingan kompresi yang tinggi
- Memperbesar tekanan udara masuk
- Memperbesar volume silinder
- Menyemprotkan bahan bakar pada saat yang tepat
- Menggunakan jenis bahan yang sebaik-baiknya
- Mengusahakan adanya turbulensi udara untuk menyempurnakan proses pencampuran udara-bahan bakar.

2.5 Pengaruh Perubahan Tekanan Hisap

Sudah dijelaskan bahwa pembakaran yang terjadi pada motor diesel akibat dari temperatur dan tekanan udara yang tinggi dalam ruang bakar. Pada saat torak hampir mencapai TMA bahan bakar disemprotkan, maka terjadilah pembakaran

Sangat jelas bahwa faktor utama terjadinya penyalaan dalam motor diesel adalah faktor temperatur dan tekanan udara masuk kedalam ruang bakar. Pengaruhnya secara teoritis adalah bahwa udara yang dikompresikan kerapatannya akan meningkat dan jumlah udara yang masuk kedalam ruang bakar jumlahnya akan semakin banyak sehingga tekanan pada ruang bakar juga akan meningkat. Semakin besar tekanan dalam ruang bakar maka akan semakin cepat pula temperature ruang bakar meningkat sehingga dapat

menghindari terjadinya keterlambatan penyalaan yang dapat mengakibatkan turunnya unjuk kerja motor diesel.

2.6 Motor Bakar Torak Dengan Supercharger

Sebuah motor 4-langkah dikatakan supercharger apabila tekanan isapnya lebih tinggi daripada tekanan udara atmosfer sekitarnya. Hal ini diperoleh dengan jalan memaksa udara atmosfer masuk ke dalam silinder selama langkah isap, dengan pompa udara yang biasa dinamai supercharger.

Supercharger digerakan dengan daya yang dihasilkan oleh mesin itu sendiri, atau pulley supercharger dihubungkan dengan belt ke pulley mesin (Poros engkol) sebagai penggerak utama.

Dengan supercharger jumlah udara atau campuran bahan bakar-udara segar yang biasa dimasukan lebih besar daripada proses pengisapan oleh torak pada waktu langkah isap. Tekanan udara masuk silinder berkisar antara 1,2-2,2kg/cm². (Dikutip: *motor bakar torak karangan Wiranto Arismunandar*)

Pada motor diesel yang dilengkapi supercarjer, periode persiapan pembakaran dapat dipersingkat sehingga karakteristik pembakaran menjadi lebih baik. Disamping itu terbuka kemungkinan untuk mempergunakan bahan bakar dengan bilangan setana yang lebih rendah. Akan tetapi jangan hendaknya melupakan tekanan dan temperature gas pembakarannya karena hal tersebut akan menyangkut soal pendinginan, kontruksi kekuatan material serta umurnya. Untuk mencegah terjadinya tekanan maksimum yang terlalu tinggi ada kecenderungan untuk mengurangi perbandingan kompresi yang sekaligus memperingan start mesin. Karena supercarjer dapat memasukan udara lebih banyak, dapat diharapkan pembakaran menjadi lebih baik dan gas buangnya lebih bersih. Kiranya perlu pula diperhatikan, campuran bahan bakar udara yang lebih miskin akan memperkecil pemakaian bahan bakar spesifik. Boleh dikatakan motor diesel dengan supercarjer dapat bekerja lebih efisien karena pemakaian bahan bakar spesifiknya lebih rendah(5-15%). Kini

banyak motor diesel yang semula dirancang untuk bekerja tanpa supercharger dilengkapi dengan supercharger untuk mencapai tujuan tersebut diatas.

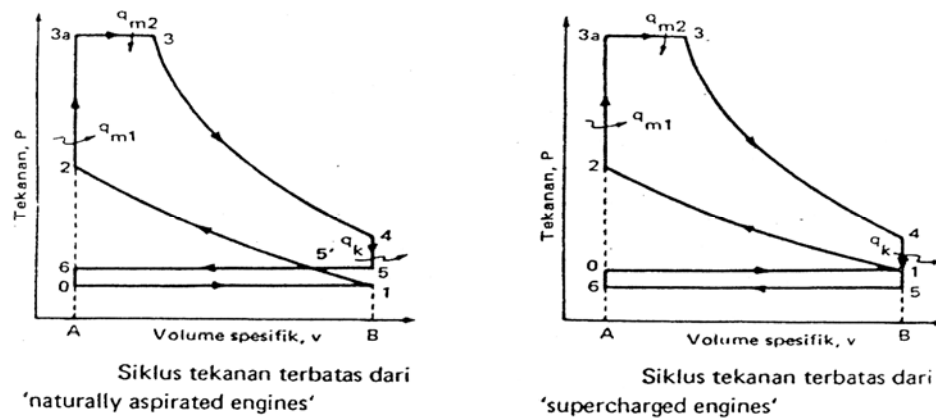
Tetapi lain halnya dengan motor bensin yang memakai supercarjer pemakaian bahan bakar spesifik biasanya lebih besar. Hal ini disebabkan, terutama karena perbandingan kompresinya yang harus diperkecil untuk mencegah denotasi, juga karena banyak bahan bakar yang keluar dari dalam silinder sebelum dipergunakan.

Pada mesin yang harus bekerja pada ketinggian 1500meter diatas air laut, supercharger mempunyai arti yang sangat penting dalam usaha mengatasi kerugian daya yang disebabkan oleh berkurangnya kepadatan udara atmosfer ditempat tersebut.

Tujuan utama supercharger adalah memperbesar daya mesin (20-60%), akan tetapi kenaikan daya tersebut sulit dicapai bahkan pada kondisi tertentu penambahan supercharger dapat menurunkan daya yang dihasilkan. Karena pada mesin dengan supercharger udara yang masuk ke ruang bakar dikompresikan sehingga tekanannya naik. Kenaikan tekanan menyebabkan kenaikan temperatur sehingga udara yang masuk ke ruang bakar menjadi panas, panas inilah yang menyebabkan jumlah molekul oksigen menjadi sedikit dan pembakaran di dalam silinder memerlukan jumlah oksigen yang cukup. Maka dari itu udara keluaran supercharger harus didinginkan terlebih dahulu sebelum memasuki ruang silinder.

2.7 Pengaruh Penggunaan Supercharger

Supercarjer adalah suatu alat yang berfungsi menaikkan tekanan hisap suatu motor bakar agar takanan hisapnya lebih tinggi dari tekanan udara atmosfer sekitarnya. Hal ini diperoleh dengan jalan memaksa udara atmosfer masuk kedalam silinder selama langkah hisap dengan menggunakan alat pompa udara yang disebut supercarjer. Supercarjer dikopel oleh putaran mesin, jadi supercarjer bekerja mulai putaran bawah dimana mesin tersebut mulai nyala hingga putaran tinggi.



Gambar 2.3 Diagram P-V siklus tekanan terbatas

(Sumber: Kristanto 2004)

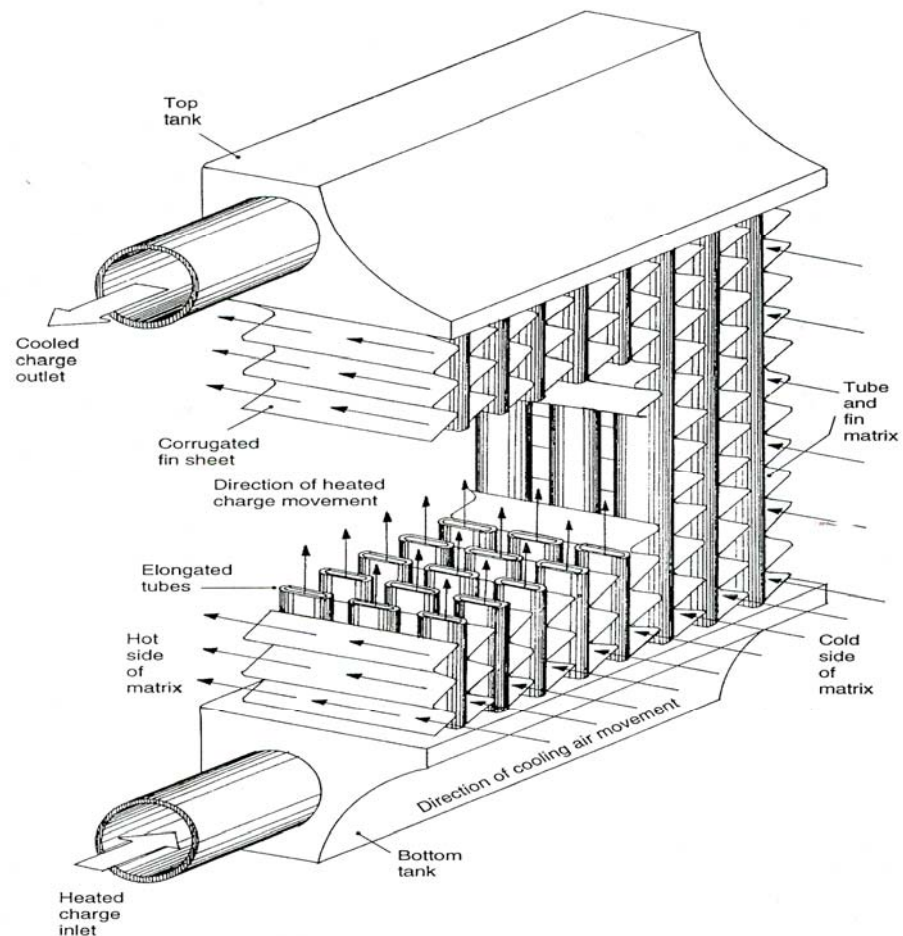
Dengan *supercharger* jumlah udara atau campuran bahan bakar dengan udara segar yang bisa dimasukkan menjadi lebih besar dari pada dengan proses penghisapan oleh torak pada waktu langkah hisap, hal ini dapat dilihat pada diagram P-V diatas. Motor Diesel dengan menggunakan supercharger dapat bekerja lebih efisien karena dapat mempersingkat periode persiapan pembakaran akibat pemberian tekanan pada inlet manifold sehingga karakteristik pembakaran menjadi lebih baik. Disamping itu karena supercharger dapat memasukan udara lebih banyak, maka diharapkan pembakaran menjadi lebih baik dan gas buangnya lebih bersih.

2.8 Intercooler

Intercooler merupakan suatu alat yang berfungsi untuk melepas kalor. Intercooler biasanya dipakai untuk mendinginkan udara keluaran dari *supercharger* atau juga *turbocharger*. Temperatur udara keluaran supercharger sekitar 40-70°C lalu didinginkan dengan *intercooler* sehingga temperaturnya turun. Sedangkan pada *turbocharger* temperatur udara keluarannya mencapai diatas 120°C, tergantung dari tekanan (boost) yang dihasilkan maka dari itu temperatur udara yang sangat tinggi ini sudah pasti mempunyai kerapatan yang sangat rendah sehingga pembakaran yang terjadi didalam silinder kekurangan

oksigen sehingga menyebabkan kemampuan unjuk kerja dari motor menurun. Dari sinilah muncul pemikiran baru selain tekanan hisap dinaikan bagaimana caranya agar kerapatan udara yang masuk kedalam silinder bertambah supaya kandungan oksigennya kaya. Maka dari itu pada motor yang dilengkapi turbocharger ataupun supercharger harus disertai dengan penambahan *intercooler*. *Intercooler* ditinjau dari pendinginannya dibagi 2 macam yaitu: *Intercooler* berpendingin udara (*Air to air Intercooler*) dan *Intercooler* berpendingin air (*Air to Liquid Intercooler*).

2.8.1 Intercooler berpendingin udara (*Air to air Intercooler*)

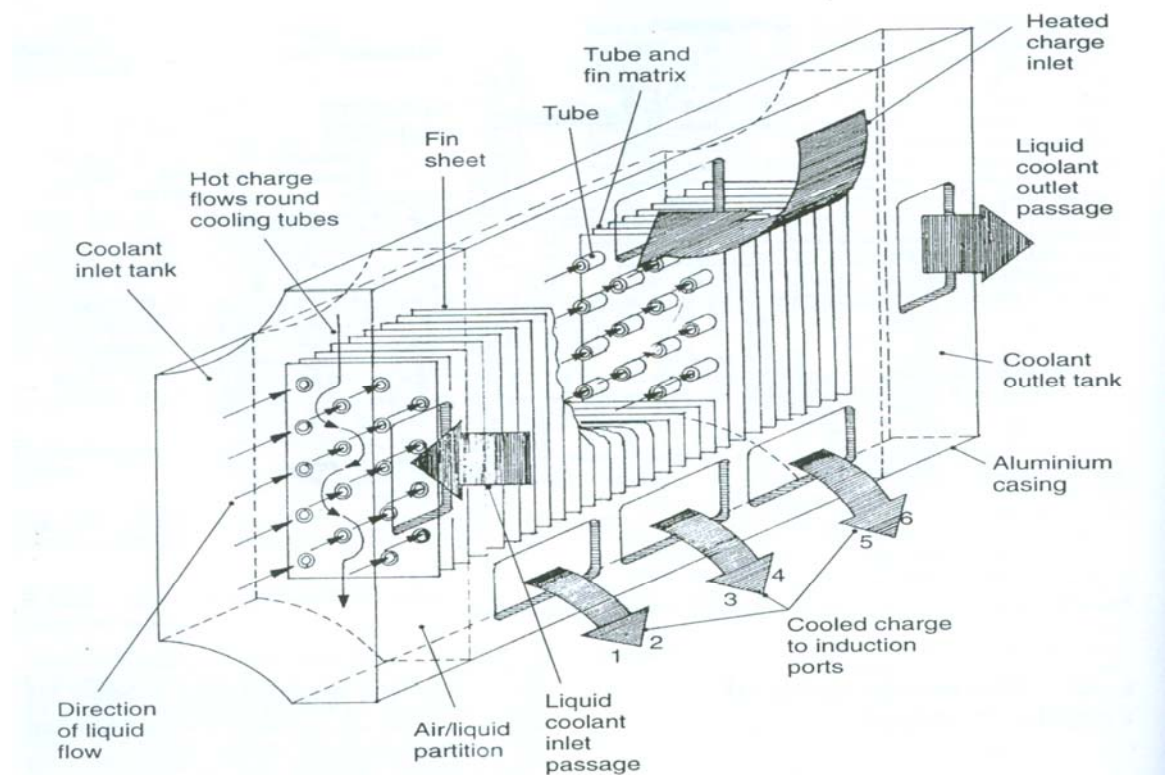


Gambar 2.4 Intercooler Udara-Udara

(Sumber: Arnold 1995)

Pendinginan *intercooler* pada umumnya menggunakan udara bebas yang mengalir melalui fin-fin *intercooler* akibat mobil berjalan. Ada juga yang berpendingin udara yang dihasilkan oleh kipas pendingin yang dihembuskan ke permukaan *intercooler* sehingga angin tersebut melewati fin-fin *intercooler*. Ada juga yang pendinginnya dengan media udara dan cairan (semprot air), ada juga yang cairan saja. Penurunan temperatur keluaran *intercooler* dengan pendinginan udara sekitar 15-25%, dengan media udara dan semprotan air sekitar 20-35%. Dan ada juga paling extreme yang sering dilakukan pada mobil-mobil balap (Drag race) pendinginan *intercooler* dengan menyemprotkan air dingin pada permukaan *intercooler* sehingga temperature keluarannya diharapkan sekitar 24-27°C.

2.8.2 Intercooler berpendingin air (*Air to Liquid Intercooler*).



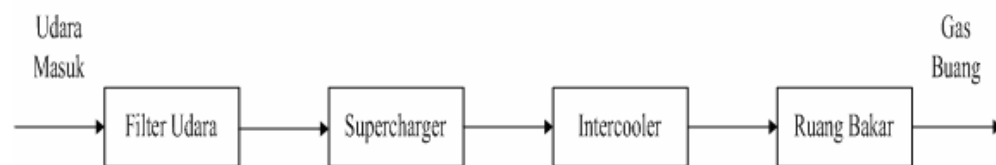
Gambar 2.5 Intercooler Udara-Cairan

(Sumber: Arnold 1995)

Ada juga *intercooler* yang menggunakan media pendingin cairan (*Air to Liquid Intercooler*), cairan yang digunakan yaitu cairan pendingin yang biasa dipakai untuk cairan pendingin radiator mobil (*coolant*). Karena cairan pendingin mempunyai titik didih lebih tinggi dari titik didih air (diatas 100°C) sehingga lebih bagus untuk meredam panas. prinsip kerjanya sangat sederhana cairan pendingin disirkulasikan oleh pompa sehingga cairan pendingin bersikulasi melalui pipa-pipa pendingin yang sisi luarnya merupakan udara yang didinginkan.

2.8.3 Intercooler sistem

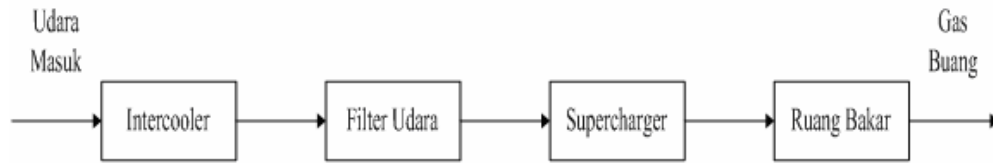
Intercooler penempatannya pada kendaraan umumnya didepan radiator dimana diupayakan penampang intercooler memperoleh hembusan udara dari luar sebanyak-banyaknya dengan tujuan supaya memperoleh pendinginan yang lebih baik. *Intercooler* pada umumnya dipasang setelah turbocarjer atau supercarjer dengan rangkaian seperti skema dibawah ini:



Gambar 2.6 Intercooler dipasang setelah supercharger

Dan tidak sedikit para mekanik memasang intercooler sebelum *turbocharger* atau *supercharger*. Menurut mereka jika tekanan (*boost*) yang dihasilkan *turbocharger* besar diatas 0,5 bar pemasangan *intercooler* sebaiknya dipasang setelah *intercooler*. Akan tetapi jika tekanan yang dihasilkan kurang dari 0,5 bar sebaiknya dipasang sebelum *turbocharger*.

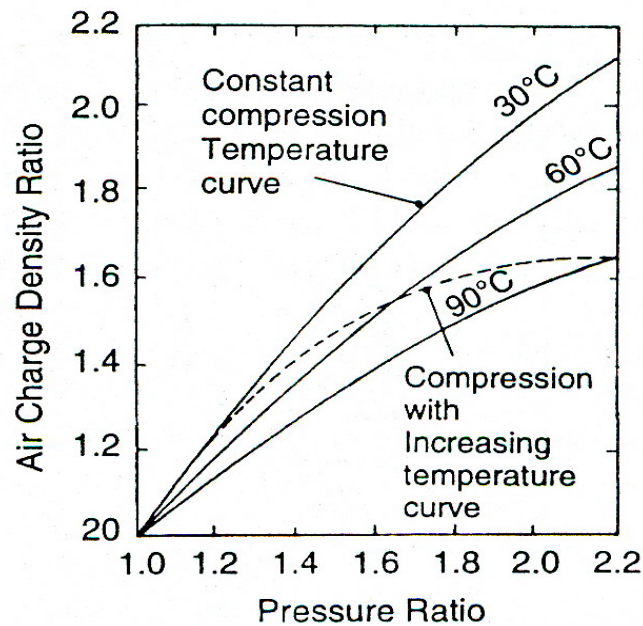
Intercooler dipasang sebelum *turbocharger* atau *supercharger* ditunjukkan skema dibawah ini:



Gambar 2.7 Intercooler dipasang sebelum supercharger

2.8.4 Hubungan intercooler terhadap kerapatan udara

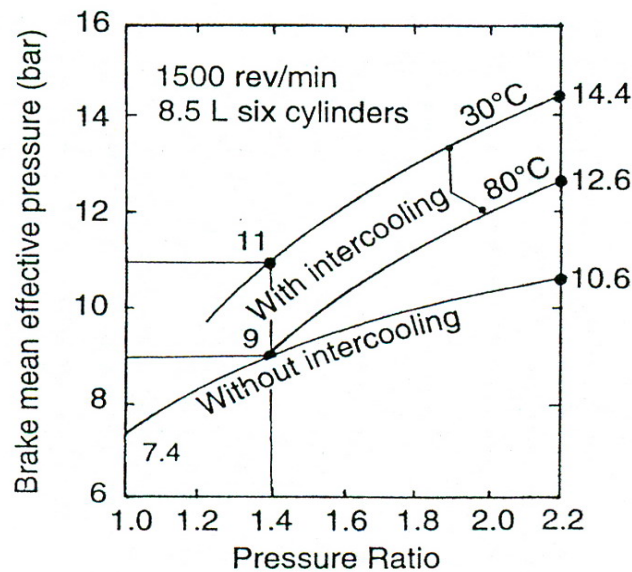
Tujuan utama pendinginan udara tersebut yaitu untuk menambah kerapatan atau kepadatan udara. Kepadatan udara per satuan volume yang masuk kedalam ruang bakar mempunyai peranan yang sangat penting, terutama terhadap power yang dihasilkan oleh mesin itu sendiri. Selain itu emisi gas buangnya juga menjadi lebih bersih



Gambar 2.8 grafik hubungan rasio kerapatan udara terhadap rasio tekanan

(Sumber: Arnold 1995)

Grafik diatas menyatakan hubungan antara tekanan udara dengan kepadatan udara terdadaap temperatur udara. Semakin rendah temperatur udara pada tekanan yang sama menyebabkan kerapatan udara yang semakin tinggi. Dari grafik tersebut sudah jelas terlihat bahwa penggunaan intercooler dapat meningkatkan kepadatan udara.



Gambar2.9 Grafik hubungan antara Bmep dengan rasio tekanan terhadap beberapa kondisi temperatur

(Sumber: Arnold 1995)

Grafik diatas menyatakan hubungan antara *Brake mean effective pressure* (BMEP) dengan rasio tekanan terhadap beberapa kondisi temperatur. Dari grafik tersebut terlihat bahwa penggunaan intercooler pada tekanan yang sama dapat meningkatkan *Brake mean effective pressure*.

2.8.5 Efektivitas intercooler

Effektivitas intercooler menyatakan keeffektivan intercooler untuk mendinginkan udara. Angka effektivitas berkisar antara 0 (nol) sampai dengan 1. Angka effectivitas semakin mendekati 1 berarti intercooler tersebut semakin baik pendinginannya, dan sebaliknya jika angka effektivitas semakin kecil atau

semakin mendekati 0 (nol) maka efektifitas dari intercooler tersebut makin buruk. Dan jika angka efektifitas nol berarti intercooler tidak berfungsi atau tidak ada penurunan temperatur sama sekali.

Effectivitas intercooler dinyatakan dengan persamaan:

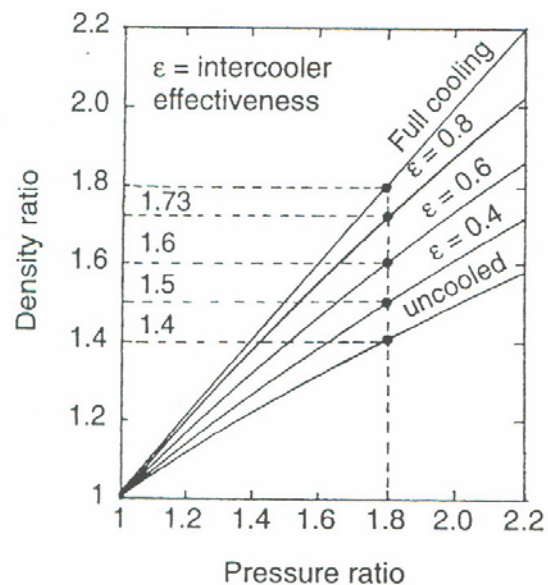
$$\varepsilon = \frac{T_2 - T_3}{T_2 - T_1} \quad (2.1)$$

Dimana T_1 = Temperatur fluida pendingin

T_2 = Temperatur keluaran dari supercharger

T_3 = Temperatur keluaran dari Intercooler

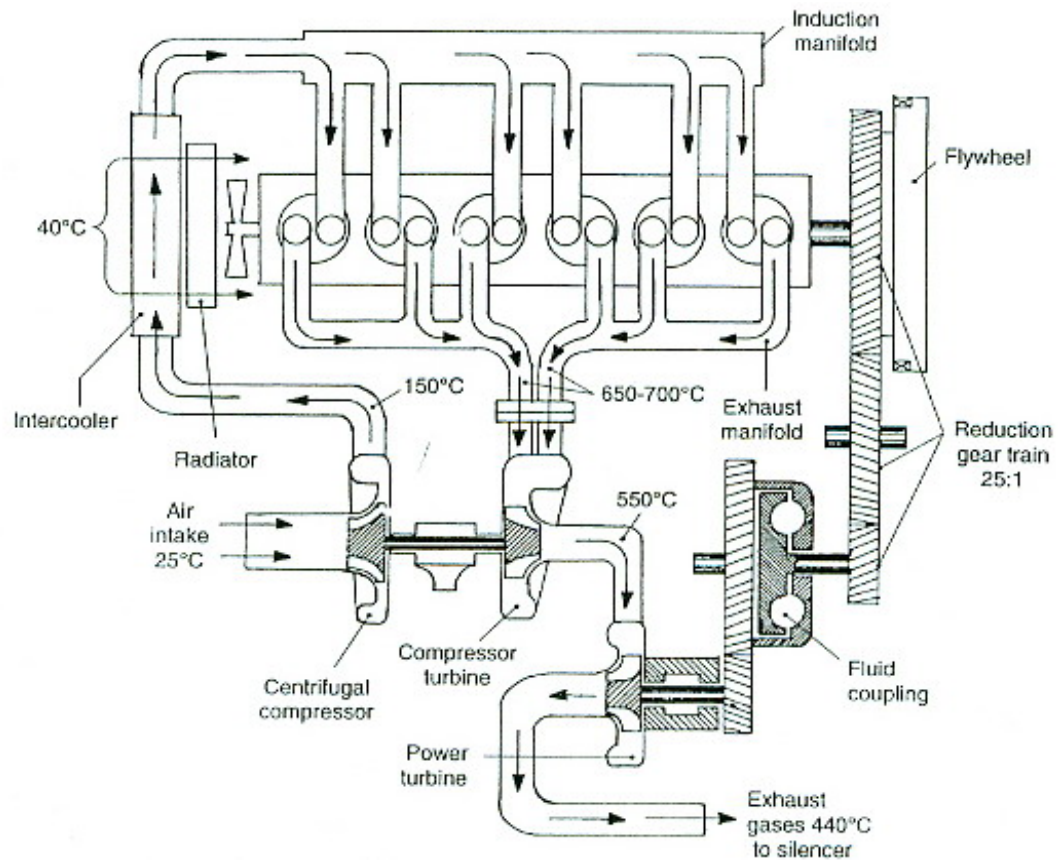
Grafik hubungan tekanan udara dengan kerapatan udara terhadap efektifitas intercooler (diambil dari buku Advanced engine technology karangan Edward Arnold)



Gambar 2.10 Grafik hubungan tekanan dengan kerapatan udara terhadap efektifitas

(Sumber: Arnold 1995)

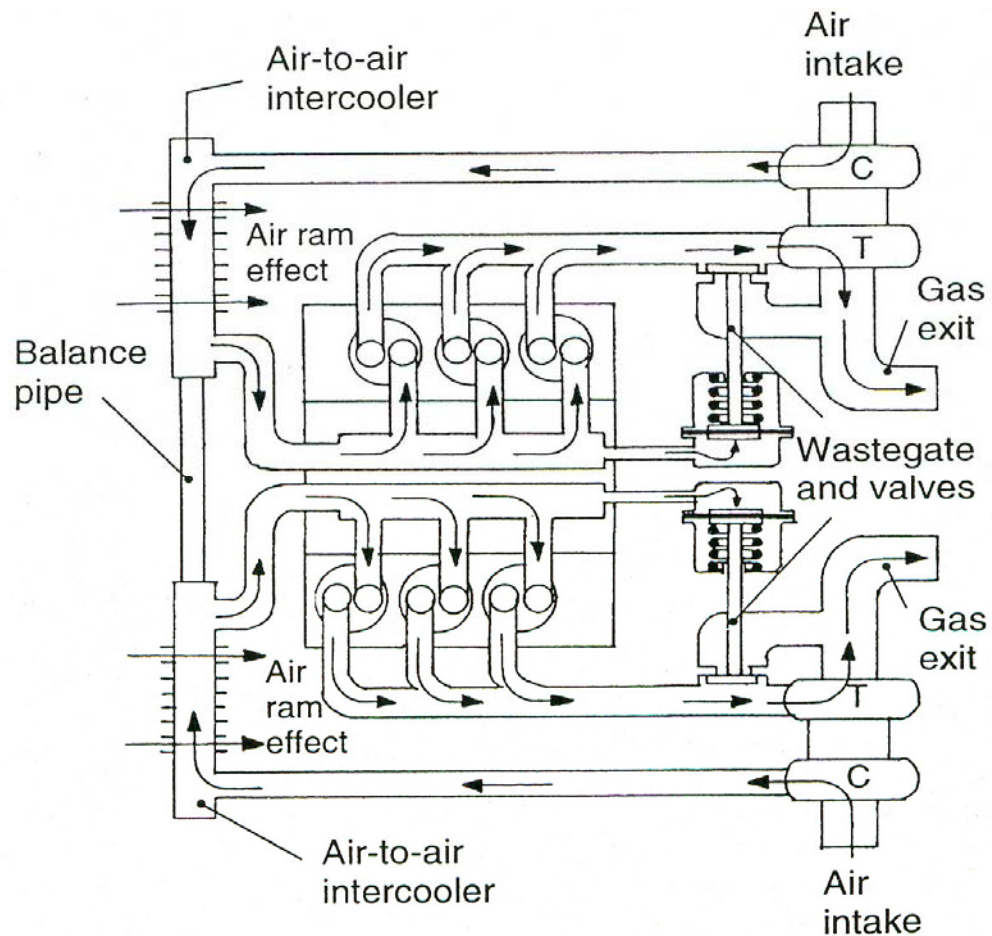
2.8.6 Motor Bakar Yang Dilengkapi Turbocharger Dan Intercooler



Gambar 2.11 Mesin turbo yang dilengkapi Intercooler

(Sumber: Arnold 1995)

Turbocharger bekerja memanfaatkan aliran gas buang, dimana aliran gas buang memberikan energi untuk memutar turbin turbocharger sehingga turbocharger bekerja menaikkan tekanan hisap. Kenaikan tekanan hisap menyebabkan temperatur udara yang akan memasuki ruang bakar menjadi panas ($\pm 150^{\circ}\text{C}$). Dan untuk menurunkan temperatur udara yang tinggi akibat naiknya tekanan maka perlu dipasang Intercooler untuk menurunkan temperatur udara yang akan masuk ke ruang bakar.



Gambar 2.12 Mesin twinturbo yang dilengkapi Intercooler

(Sumber: Arnold 1995)

Mesin V6 yang memakai turbocharger ganda atau disebut juga mesin twinturbo pada umumnya menggunakan 2 buah intercooler, masing –masing turbo menggunakan sebuah Intercooler.

2.9 Daya Motor

Merupakan daya (kerja per satuan waktu) yang diberikan ke poros penggerak oleh motor yang dikenal dengan daya kuda pengereman (*brake horse power*, BHp), dan biasanya dinyatakan dalam satuan Watt atau daya kuda (*horse power*, Hp). Besar daya motor dinyatakan melalui persamaan:

$$N = BHp = \frac{2 \pi n P R}{60} \text{ Watt} \quad (2.5)$$

dengan:

$$N = BHp = \text{daya (Watt, Hp)}$$

$$P = \text{Gaya aksi dinamometer (Newton)}$$

$$R = \text{panjang lengan teoritis dinamometer} = 0,9549 \text{ m}$$

$$n = \text{Putaran motor, (Hertz, rpm)}$$

Persamaan (2.5) dapat juga dinyatakan melalui kalibrasi dinamometer (*Zollnerr Water Brake Dynamometer*) dengan:

$$N = BHp = \frac{P \cdot n}{10000} \text{ KWatt} \quad (2.6)$$

karena $1 \text{ Hp} = 746 \text{ Watt}$, maka persamaan (1.4) menjadi:

$$N = Bhp = \frac{P \times n}{7460} \text{ Hp} \quad (2.7)$$

daya yang dihasilkan oleh motor dan diserap dinamometer adalah hasil perkalian torsi dan kecepatan sudut:

daya motor merupakan daya (kerja per satuan waktu) yang diberikan ke poros penggerak oleh motor yang dikenal dengan daya kuda pengereman (brake horse power, BHP), dan biasanya dinyatakan dalam satuan Watt atau daya kuda (horse power, HP).

Besar daya motor dinyatakan melalui persamaan:

$$N = BHP = \frac{P \times N_d}{7460} \text{ Hp} \quad (2.8)$$

Dimana:

P = gaya aksi dinamometer (Newton)

T = torsi (N.m)

N_d = putaran motor (rpm)

Harga dari daya motor yang terukur seperti yang dijelaskan diatas disebut dengan brake power. Daya ini adalah daya yang diberikan ke beban, dalam hal kasus ini, sebuah rem (brake).

2.10 Torsi/momen putar

Torsi yang dihasilkan dihitung melalui persamaan:

$$T = P \cdot R \quad (Nm) \quad (2.9)$$

atau melalui persamaan (1.3):

$$T = \frac{N}{2\pi n} \quad (Nm) \quad (2.10)$$

2.11 Tekanan Efektif Rata-rata

Proses pembakaran campuran udara-bahan bakar menghasilkan tekanan yang bekerja pada torak, sehingga menghasilkan langkah kerja. Besar tekanan tersebut berubah-ubah sepanjang langkah torak tersebut. Jika diambil suatu tekanan yang bernilai konstan yang bekerja pada torak dan menghasilkan kerja yang sama, maka tekanan ini disebut dengan tekanan efektif rata-rata pengereman, yang didefinisikan sebagai kerja per siklus per volume langkah torak. Tekanan efektif rata-rata pengereman (Brake Mean Effective Pressure = BMEP) dinyatakan dengan persamaan:

$$BMEP = \frac{75 N}{A L \left(\frac{n}{60 Z} \right) i} \text{ kg / m}^2 \quad (2.11)$$

atau:

$$BMEP = \frac{0,45 N Z}{A L i n} \text{ kg / cm}^2 \quad (2.12)$$

dengan:

$BMEP$ = tekanan efektif rata-rata pengereman (kg / m^2)

$N = BHp$ = daya poros (*Watt* atau *Hp*)

A = luas penampang torak (m^2)

L = panjang langkah torak (m)

i = jumlah silinder

n = putaran motor (*rpm*)

Z = jumlah putaran poros engkol untuk menyelesaikan satu siklus kerja
(= 1 untuk motor dua langkah, = 2 untuk motor empat langkah).

2.12 Konsumsi bahan bakar spesifik (*Specific Fuel Consumption*)

Menyatakan ukuran pemakaian bahan bakar oleh suatu motor, pada umumnya dinyatakan dalam *satuan massa bahan bakar per satuan keluaran daya*, atau dapat juga didefinisikan dengan jumlah bahan bakar yang dikonsumsi oleh motor untuk menghasilkan daya 1 *Hp* selama 1 jam.

Nilai konsumsi bahan bakar spesifik dapat ditentukan berdasarkan persamaan:

$$sfc = \frac{3600 m}{N t} \frac{\text{kg bahan - bakar}}{\text{Hp jam}} \quad (2.13)$$

dengan:

sfc = specific fuel consumption

m = massa bahan bakar yang dikonsumsi (kg)

= ρv (ρ = rapat massa bahan bakar, v = volume bahan bakar yang dikonsumsi).

N = daya yang dihasilkan motor (Hp)

t = waktu yang dibutuhkan untuk mengkonsumsi bahan bakar sebanyak m kg (detik)

2.13 Efisiensi termis

Efisiensi pemanfaatan kalor dari bahan bakar untuk diubah menjadi energi mekanis.

$$\eta_{th} = \frac{\text{Tenaga yang dihasilkan}}{\text{Panas yang diberikan}} \times 100\%$$

Jika 1 kalori = 4,186 Joule, maka

$$\begin{aligned} 1 \text{ Hp} &= 746 \text{ Watt} = 746 \frac{\text{Joule}}{\text{detik}} \\ &= 746 \times \frac{1}{4,186} \times 3600 \times \frac{1}{1000} \frac{\text{kkal}}{\text{jam}} \\ &= 641,567 \frac{\text{kkal}}{\text{jam}} \end{aligned}$$

Jika untuk menghasilkan daya sebesar N (Hp) jumlah bahan bakar yang dikonsumsi G_{bb} (kg / jam) dan nilai pembakaran bawah (*Low Heating Value*, *LHV*) bahan bakar adalah H_b ($kkal / kg$), maka efisiensi termis motor tersebut:

$$\eta_{th} = \frac{N \times 641,567}{G_{bb} \times H_b} \quad (2.14)$$

atau

$$\eta_{th} = \frac{641,567}{sfc \times LHV} \times 100\% \quad (2.15)$$

dengan:

η_{th} = efisiensi termis (%)

LHV = kalor pembakaran bawah ($kkal / kg$)

$$LHV = 16610 + 40 \text{ } ^\circ API \quad (Btu/lb) \quad (2.16)$$

karena $1 \text{ Btu} = 1054 \text{ Joule}$; $1 \text{ kalori} = 4,184 \text{ Joule}$ dan $1 \text{ lb} = 0,4536 \text{ kg}$, maka:

$$1 \frac{Btu}{lb} \times \frac{1054 \text{ J}}{1 \text{ Btu}} \times \frac{1 \text{ kal}}{4,186 \text{ J}} \times \frac{1 \text{ lb}}{0,4536 \text{ kg}} = 555,362 \text{ kkal / kg .}$$

Persamaan (1.4) menjadi:

$$LHV = (1660 + 40 \text{ } ^\circ API) 555,362 \text{ kkal / kg} \quad (2.17)$$

dengan:

$$^\circ API = \frac{141,5}{SG(60^\circ F)} - 131,5 \quad (2.18)$$

SG = specific gravity

$$= 0,74 \text{ (60}^\circ\text{F)} \text{ untuk bensin, atau } \rho_{bensin} = 0,74 \text{ gr / cm}^3$$

$$= 0,815 \text{ (60}^\circ\text{F)} \text{ untuk solar, atau } \rho_{solar} = 0,815 \text{ gr / cm}^3$$