

Peningkatan Performance dengan Pendingin Udara Masuk pada Motor Diesel 4JA1

Rahardjo Tirtoatmodjo

Dosen Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra

Ekadewi Anggraini Handoyo

Dosen Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra

Abstrak

Jumlah udara yang tersedia di ruang bakar sangat menentukan kesempurnaan hasil pembakaran yang bisa dicapai.

Dengan adanya pipa pendingin yang mendinginkan udara sebelum masuk ke ruang bakar akan meningkatkan kapasitas massa dari udara sehingga meningkatkan kemungkinan setiap molekul bahan bakar untuk bertemu dengan molekul udara.

Peningkatan daya yang dicapai dengan penambahan pendingin ini adalah sekitar 1,8 % jika didinginkan hingga mencapai 15 °C.

Kata kunci : motor diesel, pipa pendingin, daya.

Abstract

A combustion process could be complete or incomplete depends on how much air available in the combustion chamber.

An intercooler used to cool the air entering a combustion chamber increase the mass flowrate of air. Doing so could increase the possibility of reaction between fuel & air.

When the air is cooled to 15°C, the increase of output power using the intercooler is about 1,8 %.

Keywords : diesel engine, intercooler, power

1. Pendahuluan

Sejak Rudolf Diesel, seorang sarjana berkebangsaan Jerman membayangkan motor yang bekerja dengan bahan bakar minyak berat dengan penyalaan oleh tekanan kompresi pada tahun 1893, maka secara terus menerus penelitian dilanjutkan untuk pengembangan lebih lanjut. Perusahaan besar Krupp yang pertama tertarik untuk mengembangkan ide itu dan pada tahun 1897 motor diesel berfungsi untuk pertama kali.

Motor diesel yang pertama kali dijual secara komersial dipasang di St Louis brewery pada tahun 1898. Kemudian Diesel sendiri menjadi seorang pengajar di US Naval Academy pada tahun 1912.

Mengingat proses pembakaran yang terjadi pada motor diesel dapat dianggap adalah proses pembakaran difusi maka masalah utamanya adalah proses pencampuran udara segar dengan bahan bakar yang disemprotkan injektor.

Untuk itulah maka pada penelitian berikutnya banyak dicoba untuk membuat ruang bakar yang sedemikian rupa sehingga mampu menimbulkan turbulensi yang cukup agar setiap molekul bahan bakar yang masuk ke ruang bakar dapat bertemu dengan udara. Perkembangan ruang bakar terbuka dengan memodifikasi bentuk piston hingga muncul model ruang bakar kamar muka, ruang bakar turbulen ataupun Lanova yang menghasilkan motor diesel *indirect injection* yang juga mempunyai kelebihan dengan turunnya getaran yang terjadi.

Pada kenyataannya walaupun secara umum dapat dikatakan bahwa faktor kelebihan udara pada motor diesel sudah dicoba sekitar 100% dan turbulensi yang diciptakan sebaik mungkin tetapi asap hitam masih saja terbentuk yang merupakan tanda bahwa masih ada bahan bakar yang belum terbakar secara sempurna. Untuk mengatasi hal ini maka debit massa dari udara dibuat berlebih dengan cara memasang pendingin sebelum udara masuk ke ruang bakar.

Percobaan yang dilakukan adalah mendinginkan udara hingga 25°C, 20°C dan 15°C.

Catatan : Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Juli 2000. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Mesin Volume 2 Nomor 2 Oktober 2000.

2. Alat-Alat Percobaan

Motor yang Diuji

Motor yang diuji adalah sebuah motor diesel Isuzu 4 silinder 4 langkah dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tipe motor	: 4JA1
Silinder	: 4, in-line
Diameter x langkah	: 93 mm x 92 mm
Perbandingan kompresi	: 18,4 : 1
Tekanan kompresi	: 31 kg/cm ² (441 psi)
Daya maksimum	: 86 PS pada 3900 rpm
Torsi maksimal	: 17,5 Nm pada 2300 rpm
Putaran idle	: 750 rpm
Tipe pompa injeksi	: Bosch Distributor
Tipe governor	: Mechanical Variable

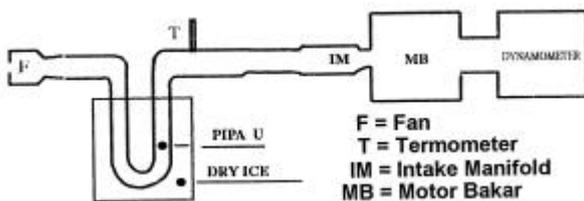
Dynamometer

Sebagai alat pengukur unjuk kerja (torsi dan daya) dari motor digunakan dynamometer yang mempunyai spesifikasi sebagai berikut :

Merek	: Zollner
Tipe	: 3 n 19 A
Daya maksimum	: 120 kW
Putaran maksimum	: 7500 rpm
Pengatur beban	: Sluice gate
Jumlah impeller	: 1
Arah putaran rem	: satu arah
Suhu air inlet minimum	: 20 °C
Tekanan air	: 2 ÷ 3 bar
Panjang tuas teoritis	: 0,9549 m

Pendingin Udara

Alat ini berfungsi untuk mendinginkan udara sebelum masuk ke dalam ruang bakar.



Gambar 1. Pendingin Udara Masuk

3. Teori Dasar

Secara umum pada motor diesel harus disiapkan sejumlah udara berlebih dalam ruang bakar sehingga memberikan kemungkinan lebih

besar terhadap terbakarnya bahan bakar di ruang bakar tersebut.

Dengan proses pendinginan awal dari udara, maka akan meningkatkan rapat massa dari udara sehingga dalam volume yang sama akan dapat ditampung sejumlah massa udara yang lebih banyak dengan mengikuti rumus :

$$\rho_2 = \frac{m_2}{m_1} \rho_1 \dots\dots\dots (1)$$

dimana :

- ρ_1 = massa jenis udara pada suhu t_1
- ρ_2 = massa jenis udara pada suhu t_2
- m_1 = massa udara dalam silinder pada suhu t_1
- m_2 = massa udara dalam silinder pada suhu t_2

Daya yang diukur oleh dynamometer dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$BHP = \frac{2 \cdot \pi \cdot P \cdot R \cdot Nd}{X} (dk) \dots\dots\dots (2)$$

dimana :

- BHP = brake horse power (dk)
- P = gaya aksi dynamometer (Newton)
- R = panjang lengan dynamometer (m)
- Nd = putaran motor (rpm)
- X = faktor pengonversi

$$= 33000 \left(\frac{ft \cdot lb / det}{dk} \right)$$

$$= 4500 \left(\frac{kg \cdot m / det}{dk} \right)$$

$$= 45000 \left(\frac{N \cdot m / det}{dk} \right)$$

Pemakaian bahan bakar spesifik (sfc)

$$sfc = \frac{3600 \cdot m}{BHP \cdot t} \dots\dots\dots (3)$$

dimana :

- m = massa bahan bakar sebanyak 6 ml.
- = $\rho \cdot v = 740 \cdot 0,000006 = 0,00444$ kg.
- t = waktu yang dibutuhkan untuk mengonsumsi m kg bahan bakar (detik)

Effisiensi thermis motor

$$\eta_{th} = \frac{3600 \cdot 746}{sfc \cdot LHV} \cdot 100 \% \dots\dots\dots (4)$$

4. Prosedur Pengujian

Untuk memperoleh data dari pengujian ini dilakukan prosedur pengujian pengereman dan putaran berubah.

Alat pendingin udara masuk diset untuk pendinginan pada suhu 15 °C, 20 °C, 25 °C dan 30 °C

Sebelum melakukan masing-masing prosedur pengujian, maka setelah pemeriksaan pada motor berupa kecukupan jumlah pelumas, air pendingin, bahan bakar dan semua perlengkapan yang dibutuhkan untuk percobaan, motor dihidupkan pada putaran idle selama sekitar 5 menit agar tercapai kondisi kerjanya.

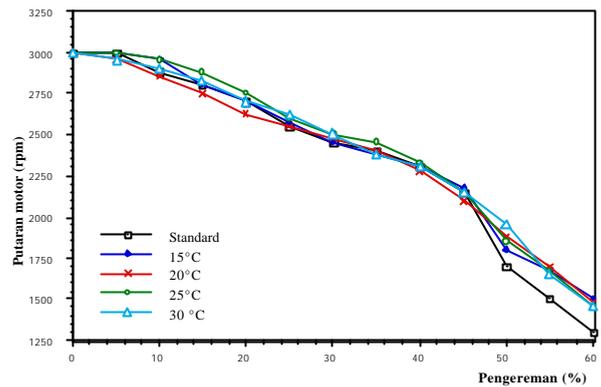
Prosedur Pengujian Pengereman dan Putaran Berubah

1. Setelah motor mencapai kondisi kerjanya dan berputar pada putaran idle yaitu sekitar 900 rpm, maka semua pompa air difungsikan lalu diatur ketinggian permukaan air pada bak penampung.
2. Membuka kran pemasukan air ke dynamometer hingga tekanan air masuk mencapai 3 ÷ 4 bar dan posisi pengereman diletakkan pada 0 %.
3. Putaran motor dinaikkan dengan cara menekan pedal akselerasi sehingga mencapai putaran 3000 rpm dengan kondisi tanpa pengereman.
4. Kemudian posisi pengereman dinaikkan secara bertahap mulai dari 5% hingga mencapai 60 persen dengan peningkatan setiap tahap sebesar 5%. Kemudian mencatat beban yang ditunjukkan pada dynamometer, waktu yang digunakan untuk mengonsumsi 50 ml bahan bakar pada gelas ukur 1, *return flow* bahan bakar pada gelas ukur 2. Selain itu juga dicatat suhu air radiatornya.
5. Mematikan pompa air.
6. Setelah pencatatan data dilakukan pada setiap posisi pengereman dan percobaan sampai pada posisi terakhir, maka akhirnya beban pengereman dikembalikan ke 0% serta putaran dikembalikan ke posisi idle sebelum motor dimatikan.

5. Hasil Percobaan dan Analisa

Performance Motor

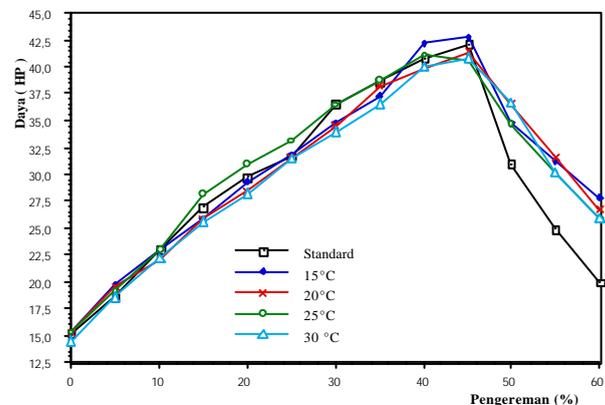
Dari percobaan yang dilakukan dimana baik pada motor standard, kemudian motor dengan udara masuk yang didinginkan pada suhu 30°C, 25°C, 20°C dan 15°C.



Gambar 2. Putaran Motor Fungsi Pengereman

Pada pembebanan rendah dimana putarannya relatif tinggi terlihat bahwa penurunan suhu udara masuk justru cenderung terjadi penurunan putaran pada pembebanan yang sama. Sedangkan pada pembebanan yang relatif besar (50% ke atas) maka keadaan standard yang kurang menguntungkan.

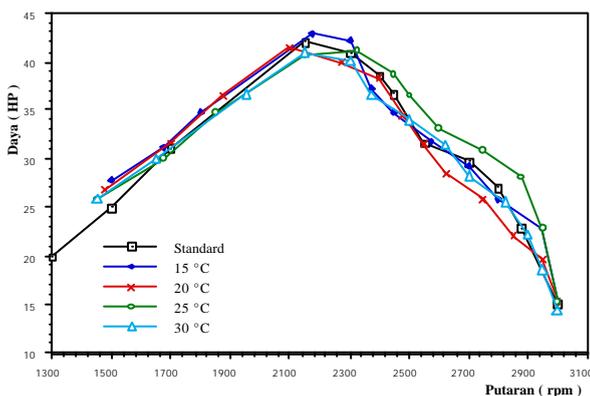
Hal ini terjadi karena masalah perimbangan kebutuhan energi aktivasi untuk pembakaran awal dengan kebutuhan kecukupan udara untuk proses pembakaran. Dalam keadaan standard suhu udara masuk relatif tinggi berarti adanya energi awal yang relatif tinggi tetapi jumlah kecukupan udaranya untuk bertemu dengan bahan bakar yang kurang. Pada putaran tinggi dimana turbulensi yang dihasilkan tinggi maka walaupun jumlah massa udara yang masuk relatif lebih sedikit karena tingginya suhu tetapi energi awal dari udara yang relatif tinggi sehingga pembakaran yang terjadi cukup baik. Sedangkan pada putaran rendah, dimana turbulensinya kurang, maka penurunan suhu udara masuk akan meningkatkan rapat massa sehingga kecukupan jumlah udara yang masuk lebih baik dan dalam hal ini akan lebih memberikan kemungkinan bagi udara yang bertemu dengan bahan bakar.



Gambar 3. Daya Motor Fungsi Pengereman

Dari pola grafik yang dihasilkan dapat dikatakan daya yang dihasilkan hanya berbeda sedikit saja. Pada pembebanan rendah dimana putaran masih relatif tinggi, penggunaan udara standard ataupun didinginkan tidaklah tampak perbedaannya, berarti pengaruh turbulensi dan kecukupan udara untuk bertemu dengan bahan bakar relatif sama.

Dengan penambahan beban maka putaran menjadi turun dimana terlihat turbulensi yang terjadi relatif berkurang sehingga dibutuhkan jumlah udara yang sedikit berlebih agar dapat bertemu dengan bahan bakar maka pendinginan udara masuk terlihat hasilnya dimana daya puncak diberikan oleh pendinginan hingga 15°C yang memberikan 0,77 HP lebih tinggi dari pada penggunaan udara standard. Demikian juga pada beban puncak yaitu 60% pengereman tampak bahwa makin rendahnya turbulensi membuat daya motor standard jauh lebih rendah dari pada yang memanfaatkan pendinginan udara.

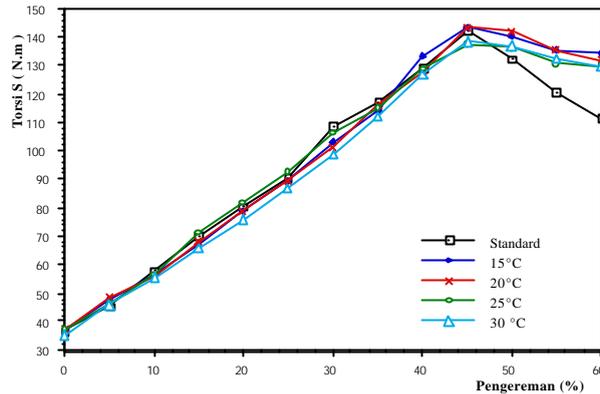


Gambar 4. Daya Fungsi Putaran Motor

Pada grafik daya yang dihasilkan motor fungsi putarannya tampak bahwa pada motor standard putarannya relatif lebih cepat turun dengan peningkatan pembebanannya dibandingkan dengan motor yang menggunakan pendinginan udara masuk.

Jika ditilik pada pembebanan 60%, motor dengan pendinginan udara masuk 15°C masih mampu memiliki putaran 1500 rpm, sedangkan dengan pendinginan 20°C hanya 1475 rpm, dan untuk pendinginan 25°C serta 30 °C putarannya 1450 rpm dan untuk motor standard hanya 1300 rpm. Pada motor standard dengan pembebanan 55% saja putarannya sama dengan kalau motor tersebut diberi udara pendingin 15°C yaitu 1500 rpm.

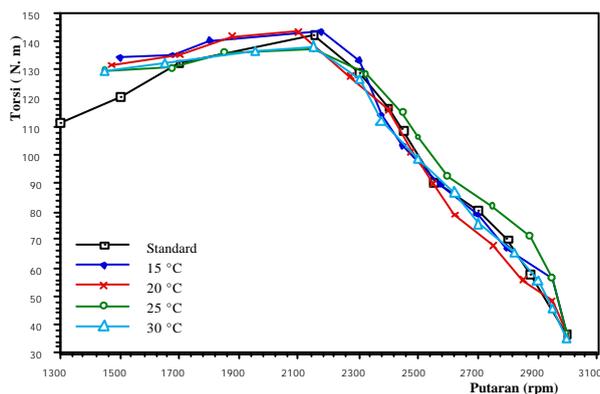
Dengan demikian berarti pendinginan udara masuk mampu meningkatkan daya motor sehingga motor lebih mampu untuk diberi pembebanan yang lebih tinggi.



Gambar 5. Torsi Motor Fungsi Pengereman

Seperti halnya pada grafik daya motor, maka pada grafik torsi fungsi pengereman terlihat bahwa pada pembebanan yang rendah dimana putaran masih tinggi turbulensi yang dihasilkan dengan kecukupan udara berimbang pengaruhnya sehingga dihasilkan grafik yang saling berhimpit tetapi pada pembebanan yang besar dimana putarannya rendah sehingga kurangnya turbulensi yang terjadi, maka tampak pada pendinginan udara masuk memberikan keuntungan pada torsi yang dihasilkan. Pada grafik tampak baik dengan pendinginan udara masuk 15°C ataupun 20 °C memberikan torsi maksimum sebesar 143,15 N.m, dibandingkan motor standard yang hanya menghasilkan torsi sebesar 142,17 N.m.

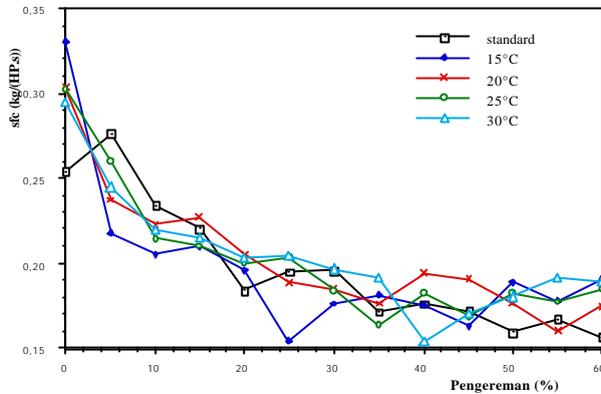
Pada pembebanan selanjutnya torsi pada motor standard cenderung turun lebih drastis dibandingkan jika digunakan udara pendingin.



Gambar 6. Torsi Fungsi Putaran Motor

Pada grafik torsi fungsi putaran motor, walaupun bentuk polanya sama tetapi sedikit terlihat bahwa dengan pendinginan udara masuk 25 °C untuk pembebanan rendah memberikan torsi yang relatif lebih tinggi pada putaran yang sama.

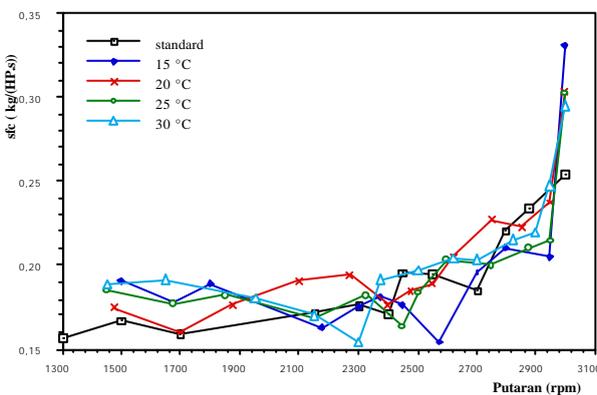
Akan tetapi dengan makin meningkatnya pembebanan, hingga putaran turun dibawah 2300 rpm terlihat bahwa pendinginan lebih rendah hingga mencapai 15 °C lebih unggul karena kecukupan udara lebih memegang peran penting.



Gambar 7. sfc Fungsi Pengereman

Pada grafik penggunaan bahan bakar specific (sfc) fungsi pengereman tampak bahwa pada beban rendah atau putaran tinggi, suhu udara masuk yang tinggi asalkan jumlahnya masih cukup untuk memenuhi pembakaran *stœchiométrie*, maka penggunaan bahan bakarnya relatif lebih irit.

Dengan peningkatan pembebanan, maka terjadi penurunan putaran yang mengakibatkan turunnya turbulensi yang mengakibatkan turunnya kemampuan udara untuk bertemu dengan bahan bakar sehingga penyediaan udara berlebih memberikan keuntungan sehingga dapat terlihat dengan menurunkan suhu udara masuk akan membuat motor menjadi lebih irit.

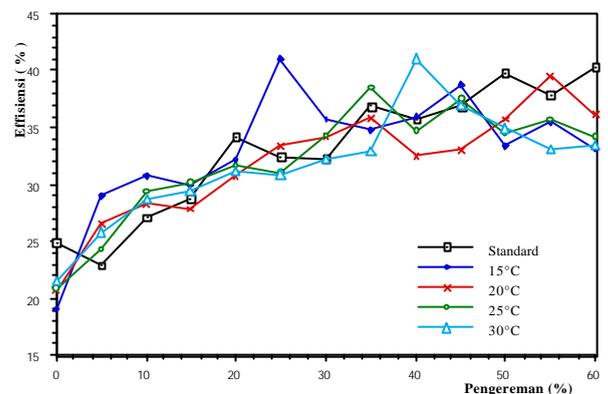


Gambar 8. sfc Fungsi Putaran Motor

Pada grafik penggunaan bahan bakar specific (sfc) fungsi putaran tampak bahwa pada putaran tinggi, dimana turbulensi yang terjadi cukup besar sehingga penggunaan udara

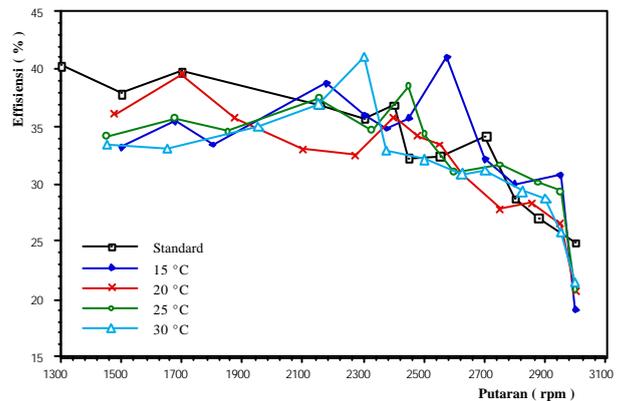
standard yang suhunya relatif lebih tinggi lebih menguntungkan.

Pendinginan udara masuk hingga 15°C menyebabkan sejumlah massa udara yang masuk lebih besar sehingga jumlah molekul udara yang masuk ke ruang bakar berlebih. Hal ini mengakibatkan panas pembakaran yang terjadi juga terpakai untuk memanaskan kelebihan udara yang memiliki suhu relatif rendah sehingga energi yang digunakan untuk melakukan kerja menjadi berkurang. Dengan demikian penggunaan bahan bakar menjadi boros pada putaran tinggi dimana turbulensi dan energi yang dimiliki udara masuk yang memegang peran penting.



Gambar 9. Effisiensi fungsi pengereman

Grafik efisiensi dari motor fungsi pengereman adalah kebalikan dari grafik sfc. Terlihat bahwa pada putaran dimana menghasilkan penggunaan bahan bakar yang irit akan memberikan efisiensi yang tinggi pula dan sebaliknya.



Gambar 10. Effisiensi Fungsi Putaran Motor

Pada putaran rendah penggunaan pendingin menunjukkan efisiensi yang lebih rendah dari motor standard, hal ini menunjukkan bahwa dengan melakukan proses pendinginan pada

udara hisap cukup menyerap energi panas pembakaran sehingga energi yang digunakan untuk menggerakkan torak menjadi berkurang. Kelebihan udara tanpa adanya turbulensi kurang memungkinkan juga bahan bakar bertemu dengan udara yang berlebih sehingga justru kelebihan udara itu menyerap panas hasil pembakaran.

6. Kesimpulan

Penggunaan pendingin udara masuk menyebabkan peningkatan massa jenis udara, sehingga untuk volume yang sama akan diperoleh massa yang lebih besar dengan demikian maka jumlah udara yang tersedia untuk proses pembakaran lebih meningkat.

Adanya udara yang lebih banyak dengan penggunaan pendingin udara ini memberikan keuntungan dan kerugian. Keuntungan yang diperoleh yaitu penyediaan udara berlebih sehingga diharapkan hampir semua molekul bahan bakar bisa bertemu dengan udara agar terbakar secara sempurna. Sedangkan kerugiannya adalah bahwa udara dingin yang masuk akan menyerap energi hasil pembakaran, sehingga mengurangi energi pendorong torak, selain itu kelebihan udara tanpa adanya turbulensi yang baik akan kurang berguna, karena masih ada kemungkinan bahan bakar tidak bertemu dengan udara.

Secara umum dapat disimpulkan bahwa pada putaran tinggi dan beban rendah, untuk pendinginan udara masuk 25°C saja sudah cukup meningkatkannya walaupun daya maksimum dicapai dengan pendinginan hingga 15 °C, tetapi dalam hal efisiensi termis motor standard masih lebih menguntungkan.

Daftar Pustaka

1. Arquès P., *Moteurs Alternatifs À Combustion Interne*, Masson, 1987.
2. Heywood J.B., *Internal Combustion Engine Fundamentals*, Mcgraw-Hill, Singapore, 1988.
3. Obert E.F., *Internal Combustion Engine And Air Polution*, Harper & Row Publisher, Inc, New York, 1973.
4. Tirtoatmodjo R., *Teknik Pembakaran Dan Bahan Bakar*, Universitas Kristen Petra, 1995.
5. Tirtoatmodjo R., *Teknik Pengontrol Anti Polusi Kendaraan Bermotor*, Universitas Kristen Petra, 1997.
6. Yonson D., *Pengaruh Penambahan Ozon Terhadap Unjuk Kerja Motor Diesel*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin UK. Petra, 2000.
7. _____, *Pedoman Perbaikan Mesin Diesel Isuzu Model 4ja1*, P.T. Pantja Motor, Isuzu Motor Limited.