

# Performansi Transient Radiator pada Variasi Rpm Mesin dengan Pembebanan AC

Made Ricki Murti

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Badung.  
email: ricki.murti@me.unud.ac.id

---

## Abstrak

Radiator merupakan aplikasi penukar panas (*Heat exchanger*) berfungsi sebagai pembuang panas harus selalu dapat beroperasi dengan baik agar mesin tetap terjaga pada temperatur aman. Kendaraan yang beroperasi di jalan biasanya melaju dengan rpm yang bervariasi sehingga panas yang dihasilkan proses pembakaran tidak konstan maka penelitian ini menganalisis performansi radiator sebagai fungsi waktu (*Transient*). Pengujian dilakukan pada kondisi mesin beroperasi dengan lima variasi rpm masing-masing selama satu jam yaitu dengan pembebanan AC dan tanpa pembebanan AC. Data yang diambil meliputi : temperatur inlet radiator, temperatur outlet radiator, dan aliran volume fluida radiator. Hasil yang didapatkan berupa laju pembuangan panas sebagai performansi radiator adalah meningkat dengan adanya peningkatan rpm mesin dan pada kondisi dengan pembebanan AC menghasilkan laju pembuangan panas yang lebih besar dibandingkan tanpa pembebanan AC. Laju pembuangan panas pada operasi mesin satu jam masih menunjukkan sistem beroperasi pada kondisi transient karena masih adanya peningkatan numerik laju pembuangan panas sebagai fungsi waktu.

Kata kunci: Laju pembuangan panas, Variasi rpm mesin, Operasi mesin dengan pembebanan AC

## Abstract

# Transient Performance of Radiator on Engine Rpm Variation with AC Loading

Radiator is one of heat exchanger applications that has a function to remove out of heat must be able to operate properly for allowed engine temperature limit. Vehicles that operate on the street usually driving with varying rpm so that the heat produced by the combustion process is not constant and then this study analyze the performance of radiators as a function of time (*transient condition*). Tests is done on the condition of operating the engine with five rpm variations, each for one hour with air conditioning load and without air-conditioning load. The data to be collected includ the inlet and outlet temperature of radiator and radiator fluid volume flow. The results obtained is heat exhausted rate as a performance radiator is increasing as with increasing of engine rpm and at load conditions with the AC produces heat exhausted rate is greater than AC without AC load. The heat exhausted rate in an hour of machine operation still shows the system operates at a transient condition due to there still exists a numerical increase in the heat exhausted rate as a function of time.

Keywords: Heat exhausted rate, Engine rpm variation, Engine operation by AC loading

---

## 1. Pendahuluan

Semakin bertambah penggunaan kendaraan tanpa diimbangi dengan penambahan jalan tentu menyebabkan kemacetan, sehingga temperatur ruangan pada kendaraan menjadi panas. Selain itu, adanya radiasi matahari yang dipancarkan menuju ke permukaan kendaraan juga menyebabkan temperatur ruangan pada kendaraan menjadi panas. Untuk mengatasi masalah tersebut, maka diperlukan sistem pendingin pada ruangan kendaraan untuk pengondisian udara (*Air Conditioning*) yang disebut Air Conditioner. Dengan pengoperasian Air Conditioner menyebabkan kerja mesin meningkat dan menghasilkan kalor yang tinggi, karena mesin mendapat pembebanan dari kompresor yang dihubungkan oleh sabuk (*belt*) dari putaran mesin, maka diperlukan salah satu alat penukar kalor yang disebut radiator.

Radiator merupakan sistem pendingin air yang terdapat pada mesin pembakaran dalam (*Internal Combustion Engine*) yang berfungsi sebagai alat penukar panas dengan tipe aliran melintang (*Cross Flow*). Panas yang diserap akibat dari pembakaran pada ruang bakar menyebabkan kenaikan temperatur pada mesin. Kondisi tersebut mengakibatkan fluida kerja yang berada didalam water jacket mengalami kenaikan temperatur (menjadi panas). Fluida panas tersebut kemudian disirkulasikan oleh pompa (*water pump*) menuju radiator. Posisi penempatan radiator pada kendaraan juga menjadi pertimbangan penting guna mendapatkan laju pembuangan panas radiator yang lebih baik.

Dengan berkembangnya industri outomotive maka ditemukan zat additive yang ditambah kedalam fluida kerja radiator yang disebut Radiator Coolant

(RC). Penambahan Radiator Coolant pada radiator dapat meningkatkan laju pembuangan panas pada radiator, serta mencegah terkorosinya komponen sistem pendinginan disamping itu juga dapat mencegah tersumbatnya pipa-pipa kapiler pada radiator sehingga radiator dapat bekerja dengan baik.

Kenyataan dalam aplikasi putaran mesin bervariasi sehingga menimbulkan panas yang berbeda-beda pada mesin. Sehingga pembuangan panas yang terjadi pada radiator harus sesuai dengan kenaikan maupun penurunan panas pada mesin agar temperature mesin terjaga pada kondisi aman.

Dari penelitian yang sudah dilakukan oleh (Ide Sandika, 2004) dimana penelitian hanya pada kondisi idling menggunakan fluida campuran air dan 20 % Radiator Coolant fungsi waktu dan sebagai pembanding adalah pengujian menggunakan fluida air tanpa campuran masing-masing diuji selama satu jam. Sebagai hasil didapatkan bahwa pada kondisi putaran mesin yang sama yaitu (Idling) laju pembuangan panas rata-rata dihasilkan pada saat menggunakan fluida campuran lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan fluida air tanpa campuran.

Penelitian juga dilakukan oleh (Diva Sadri Made, 2007) dengan variasi campuran radiator coolant maksimum 50% dan air sebagai fluida radiator pada putaran mesin konstan. Pada penelitian ini didapatkan hasil bahwa semakin tinggi persentase Radiator Coolant pada campuran fluida maka laju pembuangan panas mesin meningkat. Tetapi persentase radiator coolant terlalu tinggi pada fluida radiator tidak bagus karena viskositasnya terlalu tinggi karena menurunkan laju aliran massa fluida akibat gesekan yang besar.

Berdasarkan hal tersebut penulis melakukan pengujian/penelitian pada kondisi kendaraan tanpa pembebanan Air Conditioner dan mendapatkan pembebanan Air Conditioner guna memperoleh hasil dalam hal perlakuan fluida campuran yang mempergunakan 70% Air, 30% Radiator Coolant terhadap laju pembuangan panas mesin pada radiator pada Rpm : idling, 1500, 1800, 2100, 2400.

## 2. Dasar Teori

### 2.1. Pembuangan Panas Radiator.

Besar laju pembuangan panas radiator ( $\dot{q}$ ) yang dapat dibuang ke udara luar, dengan penambahan 70% Air, 30% Radiator Coolant tergantung pada selisih antara temperature inlet radiator dengan temperature outlet radiator ( $\Delta T$ ), panas spesifik fluida pada tekanan konstan ( $C_p$ ), dan laju aliran massa fluida radiator.

Untuk perhitungan digunakan Moran, Michael J and Saphiro, Howart. N, (1996) persamaan sebagaiberikut :

$$\dot{q} = \dot{m} \cdot C_p (T_{h,in} - T_{h,out}) \quad (W) \quad (1)$$

Dimana:

$$\dot{m} = \text{Laju aliran massa air (kg/s)}$$

$$C_p = \text{Kalor spesifik fluida air (kJ/kg.K)}$$

$$T_{h,in} = \text{Temperatur air saat memasuki radiator (K)}$$

$$T_{h,out} = \text{Temperatur air saat keluar radiator (K)}$$

### 2.2. Proses Perpindahan Panas

Perpindahan panas didefinisikan sebagai perpindahan energi dari suatu media ke media lainnya sebagai akibat dari perbedaan temperatur antar media tersebut. Pada mesin dan radiator perpindahan panas radiasi sangat kecil sehingga diasumsikan hanya menggunakan dua proses perpindahan panas yaitu : konduksi dan konveksi

#### 2.2.1. Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas konduksi merupakan perpindahan energi yang terjadi di dalam media padat atau fluida yang diam sebagai akibat dari perbedaan temperatur. Hal ini merupakan perpindahan energi dari partikel yang lebih energetik ke partikel yang kurang energetik pada benda akibat interaksi antar partikel-partikel. Energi ini dihubungkan dengan pergerakan translasi, sembarang, rotasi dan getaran dari molekul – molekul sehingga perpindahan panas konduksi adalah bersifat molekuler. Persamaan untuk menghitung laju konduksi dikenal dengan Hukum Fourier (Incropera, FP. And de Witt, DP. 1996) sebagai berikut :

$$q_{kond} = -k A (dT/dx) \quad (W) \quad (2)$$

Dimana :

$$k = \text{Konduktivitas termal bahan (W/m.K)}$$

$$dT = \text{Beda temperature antara permukaan (K)}$$

$$dx = \text{Jarak perpindahan panas (m)}$$

$$A = \text{Luasan permukaan benda (m}^2\text{)}$$

$$(-) = \text{Perpindahan panas dari temperatur tinggi menuju temperature rendah.}$$

#### 2.2.2. Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah suatu perpindahan panas yang terjadi antara suatu permukaan benda padat dan fluida yang mengalir akibat adanya perbedaan temperatur.

Secara umum konveksi dapat dibedakan menjadi tiga yaitu :

1. Konveksi bebas (*free convection*) atau *natural convection*, yaitu konveksi dimana aliran fluida terjadi bukan karena dipaksa oleh suatu alat, tetapi disebabkan oleh gaya apung (*buoyancy force*).
2. Konveksi paksa (*force convection*), yaitu konveksi yang terjadi dimana aliran fluida disebabkan oleh peralatan bantu seperti fan, blower, pompa dan lain-lain.
3. Konveksi disertai dengan perubahan fase, yaitu pendidihan (*boilling*). pengembunan (*kondensasi*).

Persamaan untuk menghitung laju perpindahan panas konveksi ( $q_{Konv}$ ) disebut hukum Newton pendinginan (Newton's law of cooling) sebagaiberikut (Incropera, FP. And de Witt, DP. 1996) :

$$q_{konv} = hA(T_s - T_\infty) \quad (3)$$

Dimana :

$h$  = Koefisien konveksi ( $W/m^2K$ )

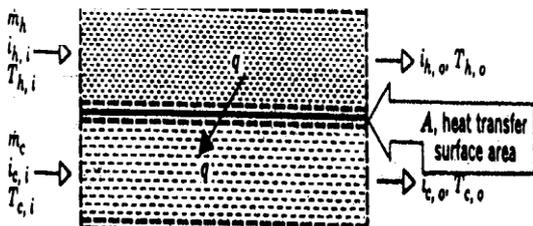
$A$  = Luasan permukaan perpindahan panas ( $m^2$ )

$T_s$  = Temperatur permukaan benda padat (K)

$T_\infty$  = Temperatur fluida yang mengalir (K)

### 2.3. Alat Penukar Panas (*Heat Exchanger*)

Proses pertukaran panas antara dua fluida yang berada pada perbedaan temperatur dan dipisahkan oleh dinding yang biasanya terbuat dari bahan yang mempunyai konduktivitas termal tinggi. Alat yang digunakan untuk implementasi pertukaran panas disebut alat penukar panas (*heat exchanger*), dan aplikasinya dapat ditemukan pada sistem ruang pengkondisian udar (*air conditioner*), Radiator, dan lain-lain.



Gambar 1. Skematik alat penukar panas

Penggunaan metode Perbedaan Temperatur Rata-Rata Logaritmik (LMTD) memperkirakan performansi alat penukar panas. Ini sangat penting untuk mendapatkan ekspresi bahwa hubungan lain perpindahan panas total pada kuantitas temperatur fluida masuk dan keluar. Koefisien perpindahan panas keseluruhan dan luas permukaan total untuk perpindahan panas diperoleh dengan penggunaan Kesetimbangan Energi Total pada fluida panas dan dingin (*hot and cool fluids*), (Bejan, Andrian, 1993) seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

Laju total perpindahan panas antara fluida panas dan dingin, diasumsikan bahwa tidak ada perpindahan panas antar alat penukar panas dengan sekelilingnya maka didapat :

$$\dot{q} = \dot{m}_h C_{p,h} (T_{h,i} - T_{h,o}) \quad (\text{Fluida panas}) \quad (4)$$

$$\dot{q} = \dot{m}_c C_{p,c} (T_{c,o} - T_{c,i}) \quad (\text{Fluida dingin}) \quad (5)$$

Indeks h dan c menyatakan panas (*hot*) dan dingin (*cold*) dan indek i dan o menyatakan kondisi fluida masuk dan keluar.

Ekspresi lainnya dapat diperoleh dengan menggunakan laju aliran perpindahan panas total ( $q$ ) pada perbedaan temperatur  $\Delta T$  antara fluida panas dan dingin dimana,  $\Delta T = T_h - T_c$ .

Pernyataan tersebut akan diperluas dengan *Hukum Newton Pendinginan* dengan koefisien perpindahan panas keseluruhan ( $U$ ) yang digunakan sebagai pembantu koefisien konversi tunggal ( $h$ ), karena temperatur fluida bervariasi terhadap posisi, maka diperlukan persamaan laju ( $q$ ) dalam bentuk sebagaiberikut :

$$q = U A \Delta T_{lm} \quad (6)$$

Dimana  $\Delta T_{lm}$  adalah nilai rata-rata yang mewakili pada perbedaan temperatur untuk menentukan analisis alat penukar panas.

Walaupun kondisi menjadi lebih kompleks pada alat penukar panas aliran melintang (*Cross flow heat exchanger*), modifikasi hanya dibuat pada perbedaan temperatur rata-rata logaritmik, yang dinyatakan dalam bentuk:

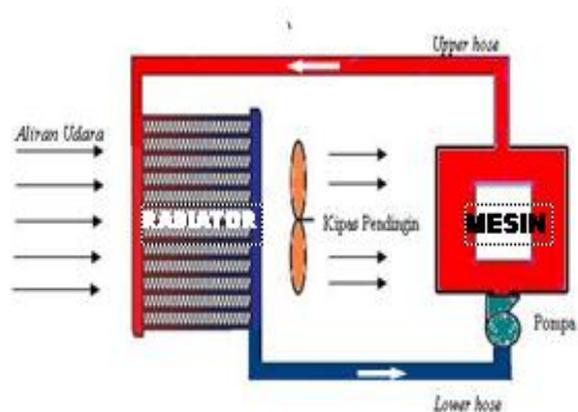
$$\Delta T_{lm} = F \Delta T_{lm,CF} \quad (7)$$

$\Delta T_{lm}$  didapat dengan menggunakan faktor koreksi pada nilai  $\Delta T_{lm}$  yang dapat dihitung di bawah kondisi aliran berlawanan arah (*counter flow*). Dimana :  $\Delta T_1 = T_{h,i} - T_{c,o}$  dan  $\Delta T_2 = T_{h,o} - T_{c,i}$  Pernyataan aljabar untuk faktor koreksi F, telah dikembangkan untuk bermacam-macam konfigurasi alat penukar panas aliran melintang dan hasilnya disajikan secara grafis.

### 2.4. Prinsip Kerja Radiator

Kelengkapan system pendinginan mesin terdiri dari : sebuah radiator, sebuah kipas pendingin (*Cooling fan*), pipa saluran atas (*upper hose*), pipa saluran bawah (*lower hose*), *water jacket* dan pompa (*water pump*).

Pada saat mesin distart (Mesin beroperasi) maka komponen-komponen terkait dalam system pendinginan ikut beroperasi. Pompa air mengalirkan fluida radiator bersirkulasi ke mesin kembali ke radiator begitu seterusnya selama mesin beroperasi. Kipas pendingin juga beroperasi jika tidak dilengkapi dengan sensor pengatur hidup matinya kipas, tetapi jika dilengkapi dengan pengatur maka mati dan hidupnya kipas tergantung pada kondisi temperature fluida melintasi saluran outlet *water jacket* (mesin).



Gambar 2. Skematik radiator

Panas hasil pembakaran pada ruang bakar berpindah secara konveksi dan radiasi ke permukaan dalam ruang bakar. Dilanjutkan berpindah secara konduksi menuju permukaan *water jacket*, selanjutnya panas dipindahkan secara konveksi dari permukaan *water jacket* menuju fluida yang melintasi ruang *water jacket* menyebabkan fluida menjadi panas. Fluida panas mengalir menuju radiator melalui pipa saluran atas (*upper hose*). (2.9)

Fluida panas masuk radiator ke *upper tank* melalui *upper hose*, selanjutnya ke *lower tank* melalui *tube* (pipa kapiler) pada *radiator core*. Proses pembuangan panas dari fluida panas di radiator menuju udara luar yang melintasi terjadi di radiator yaitu pada *radiator core*. Dari fluida panas yang mengalir pada pipa-pipa terjadi perpindahan panas secara konveksi menuju permukaan dalam pipa radiator core. Panas dipindahkan lagi menuju ke permukaan luar pipa radiator core yang dilengkapi dengan sirip-sirip secara konduksi. selanjutnya dipindahkan dari permukaan luar pipa radiator core pipa di pindahkan ke udara luar secara konveksi. Dengan terbuangnya panas ke udara luar maka fluida panas yang melintas di dalam pipa radiator core berubah menjadi dingin (Bertemperatur rendah) kemudian mengalir menuju *lower tank* yang selanjutnya mengalir menuju *water jacket* kembali melalui pipa saluran bawah (*lower hose*).

## 2.5. Radiator Coolant

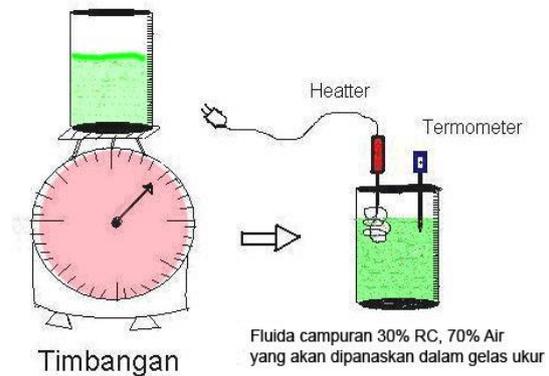
Radiator coolant merupakan zat additive untuk fluida radiator. Fungsinya adalah untuk memperbesar koefisien perpindahan panas konveksi pada fluida kerja radiator sehingga laju pembuangan panas meningkat (Penyerapan panas oleh fluida di *water jacket* lebih besar). Disamping itu untuk memperbesar laju perpindahan panas konveksi dari fluida ke permukaan dalam radiator, yang diikuti oleh konduksi ke permukaan luar radiator, kemudian meningkatnya konveksi ke udara luar sehingga panas yang terbuang menjadi lebih besar. Cairan pendingin umumnya berupa air atau oli. Antifreeze yang dicampurkan dalam coolant bertujuan untuk menurunkan titik beku. Sehingga coolant terkadang diartikan sebagai antifreeze, karena pada titik didih 100°C air dianggap mudah menguap. Sebaliknya pada titik beku 0°C, air mudah membeku selain itu air membuat logam berkarat, dan meninggalkan bekas mineral yang mengurangi kemampuan pendinginannya. Untuk itulah beberapa bahan kimia ditambahkan pada coolant.

Bahan kimia yang ditambahkan umumnya disebut sebagai ethylene glycol (EG). Beberapa tahun terakhir EG digantikan dengan propylene glycol (PG) yang tidak begitu beracun. Bahan kimia yang dicampurkan dengan air, umumnya 50 % volume, mampu menaikkan titik didih coolant hingga mencapai 108°C, dan menurunkan titik bekunya menjadi -33°C. Untuk meningkatkan kemampuan coolant seperti mampu melumasi pompa air, mencegah karat, dan menetralkan asam agar tidak timbul deposit mineral, pada coolant ditambahkan bahan aditif lainnya seperti fosfat, borat, nitrat dan nitrit serta zat kimia lainnya. Coolant mempunyai masa pakai, sehingga beberapa produsen menyarankan untuk mengganti coolant setiap dua tahun atau 20.000 km. Produsen yang menjamin produknya lebih "long life". (sumber : Laporan Khusus, 2007)

## 3. Metode Penelitian

### 3.1. Pengujian Massa Jenis ( $\rho$ ) Campuran Air, dengan 30% Radiator Coolant.

- Menyiapkan alat dan bahan serta rangkai alat seperti skema gambar 3.
- Memasukan fluida campuran 70% Air, 30% Radiator Coolant sebanyak 1,5 liter ke dalam gelas ukur, kemudian timbang untuk mendapatkan massa. Dimana massa netto didapatkan setelah dikurangi massa dari gelas ukur.
- Memasukan tutup gelas ukur yang sudah dilubangi, kemudian masukan heater dan thermometer kedalam lubang yang sudah disediakan.
- Pencatatan temperatur awal dari fluida campuran.



Gambar 3. Skematik pengujian massa jenis campuran.

- Pencatatan volume awal fluida campuran yang berada di gelas ukur setelah ditambahkan dengan heater dan thermometer digital.
- Pemanas air (heater) dialiri tegangan listrik 220 volt dan mengamati kenaikan temperatur yang terjadi. Pencatatan kenaikan temperatur tiap  $\pm 5^\circ\text{C}$  dihentikan saat mencapai temperatur  $\pm 100^\circ\text{C}$ .
- Pencatatan kenaikan volume fluida pada gelas ukur, karena setelah dilakukan pemanasan menyebabkan fluida campuran memuai, sehingga volumenya bertambah.
- Data yang diperoleh dicantumkan dengan tabel.
- Setelah semua data didapat, maka cabut stop kontak listrik dan biarkan fluida campuran mencapai temperatur awal/*initial temperatur*.
- Setelah proses pengujian selesai, kembalikan alat ke kondisi semula. Rapikan kembali semua alat dan bahan uji.

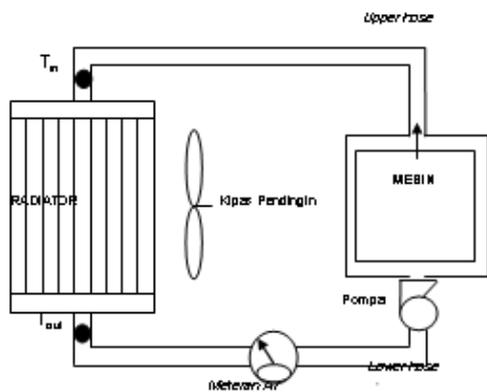
Dilakukan pengulangan pengujian sebanyak 3 kali pada temperatur awal yang kurang lebih sama

### 3.2. Pelaksanaan Pengujian Radiator

Pengujian dilakukan seperti terlihat pada skematik pengujian radiator gambar 4 sebagaiberikut:

1. Menyiapkan alat dan bahan serta rangkai alat uji seperti terlihat pada skematik pengujian.
2. Memasukkan fluida campuran ke dalam radiator dan yakinkan telah terisi penuh.

3. Menghidupkan mesin dan pertahankan putaran mesin selama pengujian pada RPM idling, 1500, 1800, 2100, 2400 pada kondisi tanpa pembebanan Air Conditioner.
4. Pencatatan data setiap 5 menit setelah putaran mesin konstan. Pengujian dilakukan selama satu jam, yang mana pengujian dan pengambilan data dihentikan pada menit ke-60.
5. Data yang diperoleh dicantumkan pada tabel.
6. Setelah pengambilan/pencatatan data selesai, matikan mesin dan biarkan sampai mesin benar-benar dingin.
7. Ulangi pengujian tersebut sebanyak 3 kali pada jam yang sama agar temperatur tingkungan sama.
8. Setelah proses pengujian selesai, kembalikan kondisi kendaraan ke kondisi semula.



Gambar 4. Skematik pengujian radiator

9. Dengan cara yang sama maka dilakukan pengujian pada kondisi dengan pembebanan Air Conditioner (AC), yaitu mesin dihidupkan dan knop pengaturan Air Conditioner diatur pada kondisi maksimal dan pertahankan putaran mesin selama pengujian pada RPM idling, 1500, 1800, 2100, 2400.

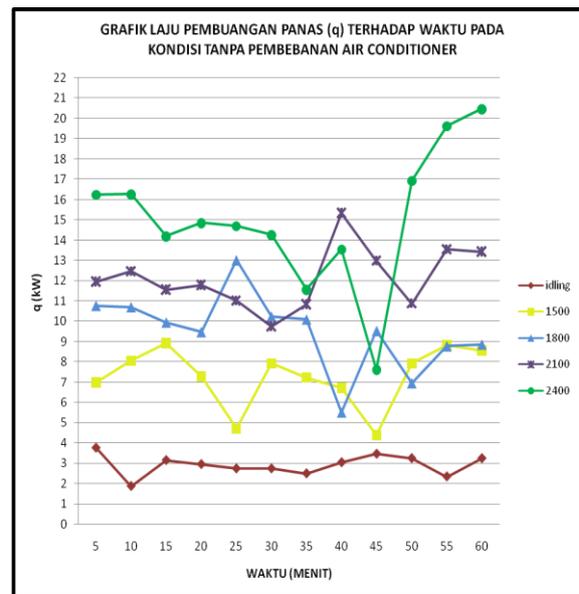
#### 4. Hasil dan Pembahasan

##### 4.1. Laju Pembuangan Panas terhadap Waktu Tanpa Beban AC

Untuk mengetahui laju pembuangan panas mesin pada radiator maka diperlukan selisih temperatur ( $\Delta T$ ), laju aliran massa, kalor spesifik dengan menggunakan tabel propertis sifat-sifat air. Maka laju pembuangan panas radiator pada rpm *idling* atau 850 rpm, 1500 rpm, 1800 rpm, 2100 dan 2400 terhadap waktu pada kondisi tanpa pembebanan Air Conditioner (AC) menggunakan fluida campuran 70% Air, 30% Radiator Coolant seperti yang ditampilkan pada gambar 5.

Laju pembuangan panas mesin oleh radiator terhadap waktu mengalami perubahan yang berbeda untuk setiap putaran atau laju pembuangan panas terhadap waktu sangat berfluktuasi. Hal tersebut terjadi karena dipengaruhi oleh kipas pendingin (*Cooling fan*) yang berputar dan berhenti (hidup dan mati secara otomatis) sesuai dengan temperatur

mesin yang menyebabkan selisih temperatur berbeda-beda terhadap waktu sehingga laju pembuangan panas mesin pada radiator juga berubah-ubah. Laju pembuangan panas mesin rata-rata ( $q_{rata-rata}$ ) pada masing-masing variasi putaran mesin dengan menjumlah nilai laju pembuangan panas ( $q$ ) pada masing-masing variasi putaran dibagi banyaknya pengujian. Maka laju pembuangan panas mesin rata-rata ( $q_{rata-rata}$ ) pada putaran 2400 rpm sebesar 15.0208 kW, pada putaran 2100 rpm sebesar 12.11276 kW, pada putaran 1800 sebesar 9.4797 kW, pada putaran 1500 rpm sebesar 7.2841 kW, pada putaran idling sebesar 2.9142 kW terlihat makin tinggi putaran mesin maka makin tinggi laju pembuangan panasnya.



Gambar 5. Grafik laju pembuangan panas terhadap waktu tanpa beban AC

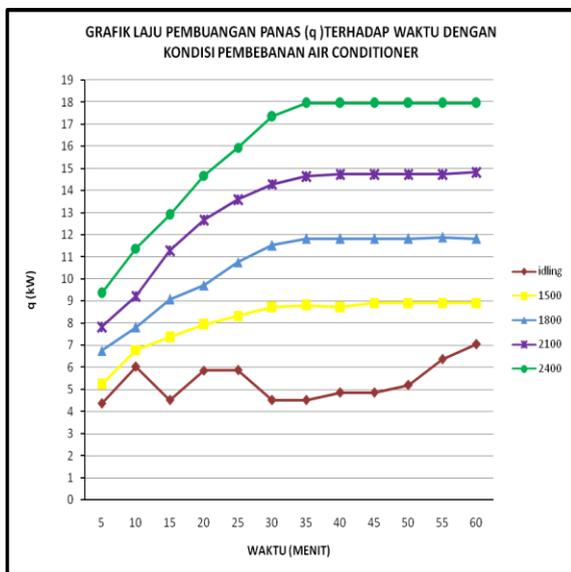
Dari hasil pengujian pada putaran mesin 2400 rpm laju pembuangan panas mesin rata-rata ( $q_{rata-rata}$ ) paling besar, karena pembakaran pada mesin paling besar menghasilkan panas yang paling tinggi. Sehingga mesin harus tetap berada pada kondisi aman (Temperatur mesin tidak terlalu tinggi). Maka harus terjadi pembuangan panas yang besar sesuai dengan penghasilan panas di mesin sehingga pada suatu saat terjadi kondisi steady state dimana panas yang dihasilkan pada mesin terbuang sama di radiator. Pembuangan panas mesin dipengaruhi oleh selisih temperatur antara temperatur inlet dan temperatur outlet radiator. Meningkatnya kalor

spesifik fluida sesuai dengan meningkatnya temperatur kerja fluida campuran dan bertambahnya laju aliran massa yang dikarenakan semakin tinggi putaran mesin maka semakin besar laju aliran volume fluida, yang disebabkan oleh putaran water pump yang dihubungkan dengan sabuk (*belt*) dari putaran mesin. Pada saat terjadi peningkatan rpm mesin maka penghasilan panas pada mesin meningkat tetapi bersamaan dengan itu terjadi pula peningkatan putaran kipas pendingin menyebabkan peningkatan

kecepatan aliran udara melintasi radiator serta meningkatkan kerja pompa mengakibatkan meningkatnya laju aliran massa fluida, semua hal tersebut mengakibatkan peningkatan laju pembuangan panas oleh radiator.

**4.2. Laju Pembuangan Panas Terhadap Waktu dengan Beban AC**

Laju pembuangan panas mesin pada radiator dengan kondisi pembebanan Air Conditioner maka dipengaruhi oleh selisih temperatur ( $\Delta T$ ), laju aliran massa fluida campuran 70% Air, 30% Radiator Coolant, dan panas spesifik fluida pada tekanan konstan didapat dari tabel properti sifat-sifat air. Maka laju pembuangan panas radiator pada putaran idling atau 1200 rpm, 1500 rpm, 1800 rpm, 2100 rpm dan 2400 rpm terhadap waktu pada kondisi dengan pembebanan Air Conditioner seperti yang ditampilkan pada gambar 6.

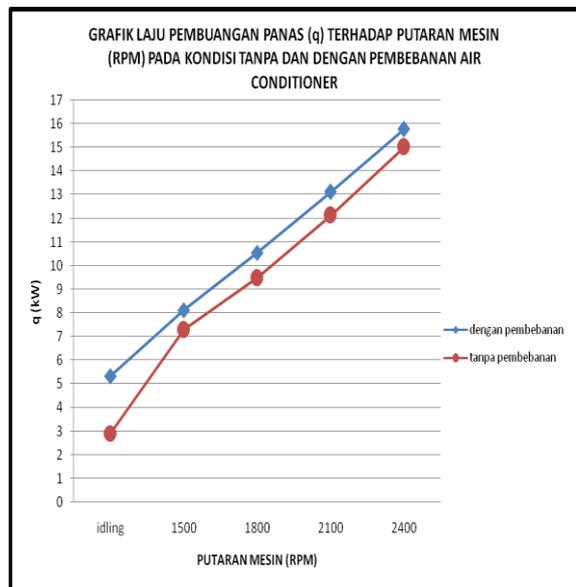


**Gambar 6. Grafik laju pembuangan panas terhadap waktu dengan beban ac**

Laju pembuangan panas mesin pada radiator dengan kondisi pembebanan Air Conditioner terhadap waktu untuk masing-masing putaran mengalami peningkatan tetapi kurva terlihat tidak berfluktuasi karena kondisi kipas pendingin selalu dalam keadaan berputar. Pada putaran idling atau 1200 rpm Pada putaran mesin 1500, 1800, 2100 dan 2400 RPM laju pembuangan panas mesin pada radiator terus meningkat terhadap fungsi waktu yang disebabkan semakin lama panas mesin meningkat yang bersumber dari pembakaran pada ruang bakar yang diserap oleh fluida campuran. Laju pembuangan panas mesin rata-rata ( $q_{rata-rata}$ ) pada masing-masing variasi putaran mesin adalah pada putaran 2400 rpm sebesar 15.7765 kJ/s, pada putaran 2100 rpm sebesar 13.1139 kJ/s, pada putaran 1800 sebesar 10.5503 kJ/s, pada putaran 1500 rpm sebesar 8.1286 kJ/s, pada putaran idling (1200 rpm) sebesar 5.3352 kJ/s.

Hasil pengujian pada putaran mesin 2400 rpm laju pembuangan panas mesin rata-rata ( $q_{rata-rata}$ ) paling besar dibandingkan dengan variasi putaran yang lain. Dari nilai tersebut dapat ketahu semakin tinggi putaran mesin semakin besar pula laju pembuangan panas mesin dan semakin tinggi pula penyerapan panas mesin oleh fluida campuran pada *water jacket*. Pada pengujian dengan pembebanan *Air Conditioner* sangat ditentukan selisih temperatur antara temperatur masuk dan temperatur keluar radiator dan *cooling fan* yang berputar, karena mesin menghasilkan kalor yang besar akibat dihubungkan dengan kompresor untuk mendinginkan ruangan pada kendaraan. Semakin tinggi putaran mesin, maka semakin besarnya laju volume aliran fluida dipengaruhi putaran *water pump* yang dihubungkan oleh sabuk (*belt*) dengan putaran mesin.

**4.3. Perbedaan Laju Pembuangan Panas Rata-Rata Terhadap Rpm Mesin.**



**Gambar 7. Grafik laju pembuangan panas rata-rata terhadap rpm mesin.**

Sepert terlihat pada gambar 7 yaitu grafik perubahan yang terjadi untuk laju pembuangan panas rata-rata ( $q_{rata-rata}$ ) antara kondisi tanpa pembebanan dan dengan kondisi pembebanan air conditioner menggunakan fluida campuran 70% Air, 30% Radiator Coolant pada rpm idling, 1500, 1800, 2100, dan 2400. Dari hasil perhitungan maka didapatkan semakin tinggi putaran mesin, maka semakin besar laju pembuangan panas rata-rata ( $q_{rata-rata}$ ). Hal ini disebabkan karena saat putaran mesin meningkat maka konsumsi bahan bakar yang bercampur udara menjadi meningkat pula dan menghasilkan panas yang lebih tinggi, demikian juga dengan panas yang harus dibuang oleh radiator haruslah meningkat agar kenaikan temperature mesin tidak terlalu tinggi sampai melampaui teperatur kritis.

Pada saat kondisi tersebut putaran kipas pendingin juga meningkat mengakibatkan kecepatan aliran udara luar yang melintasi permukaan luar radiator meningkat, berarti koefisien perpindahan panas konveksi meningkat sehingga laju perpindahan panas konveksi meningkat. Demikian juga terjadi pada putaran pompa meningkat yang mengakibatkan meningkatnya laju aliran massa fluida radiator sehingga dapat meningkatkan laju perpindahan panas yang terbuang keudara luar. Sedangkan pemakaian fluida campuran radiator coolant mengakibatkan meningkatnya koefisien perpindahan panas konveksi fuida campuran tersebut sehingga penyerapan panas pada water jacket menjadi lebih besar mengakibatkan temperature outlet mesin yang menjadi temperature inlet radiator meningkat menghasilkan selisih temperatur ( $\Delta T$ ) antara temperatur masukan radiator ( $T_{in}$ ) dan temperatur keluaran radiator ( $T_{out}$ ).

Untuk operasi dengan kondisi pembebanan Air Conditioner laju pembuangan panas mesin rata-rata ( $q_{rata-rata}$ ) lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi tanpa pembebanan Air Conditioner. Hal tersebut terjadi karena pada kondisi dengan pembebanan AC, putaran mesin meningkat. Pada kondisi tersebut putaran *compresor* dihubungkan oleh sabuk (*belt*) terhubung dengan putaran mesin tetapi agar daya mesin tidak menurun maka secara otomatis terjadi peningkatan rpm mesin yang diimbangi dengan peningkatan konsumsi bahan bakar sehingga proses pembakaran menghasilkan panas yang lebih tinggi. Hal tersebut mengakibatkan kipas pendingin kondisi bergerak terus dimana temperature mesin selalu berada pada temperatur yang mengakibatkan thermostat bekerja membuat kipas pendingin berputar terus. Sehingga berdampak pada selisih temperatur menjadi meningkat maka laju pembuangan panas mesin pada radiator dengan kondisi pembebanan Air Conditioner lebih tinggi dan pembakaran bahan bakar terjadi lebih tinggi atau konsumsi bahan bakar lebih tinggi (Boros).

Pada kondisi tanpa pembebanan terjadi pembuangan panas yang lebih kecil dari kondisi dengan pembebanan yang disebabkan oleh selisih temperatur yang lebih kecil daripada selisih temperatur dengan kondisi pembebanan Air Conditioner. Kecilnya selisih temperatur disebabkan *cooling fan* yang bergerak dan berhenti bekerja (Hidup dan mati).

Untuk laju aliran massa fluida campuran terjadi selisih, pada kondisi pembebanan lebih besar dari kondisi tanpa pembebanan, disebabkan oleh laju volume aliran fluida campuran dengan pembebanan dari terjadinya kenaikan putaran mesin dan massa jenis dengan pembebanan lebih besar karena sesuai dengan fungsi temperatur rata-rata dari fluida campuran pada saat melewati radiator. Nilai kalor spesifik menggunakan tabel propertis sifat-sifat air nilainya berbeda untuk kedua kondisi dikarenakan hal tersebut merupakan fungsi temperatur rata-rata.

## 5. Penutup

### 5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang diambil sebagai berikut:

Semakin tinggi putaran mesin maka panas yang dihasilkan proses pembakaran juga meningkat sehingga laju pembuangan panas mesin yang terbuang oleh radiator juga semakin tinggi, agar temperature mesin dapat terjaga pada kondisi aman.

Pada kondisi tanpa pembebanan dan dengan pembebanan Air conditioner menggunakan fluida campuran Air dan 30% Radiator Coolant maka didapatkan pada kondisi dengan pembebanan air conditioner menghasilkan laju pembuangan panas lebih besar dibandingkan tanpa pembebanan air conditioner.

### 5.2. Saran

Disarankan untuk penelitian selanjutnya dilakukan pengujian dengan kondisi pembebanan Air Conditioner tetapi juga dilakukan analisis terhadap konsumsi bahan bakar, sehingga diketahui hubungan laju pembuangan panas dengan konsumsi bahan bakar pada variasi putaran mesin.

### Daftar Pustaka

- [1] Bejan, Andrian, (1993), *Heat Transfer*, Duke University, John Willey and Sons Inc., Second Edition.
- [2] Incropera, Frank P. And de Witt, David P. (1996), *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, John Willey and Sons, Fourth Edition.
- [3] Moran, Michael J and Saphiro, Howart. N, (1996), *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*, John Willey and Sons Inc., Fourth Edition
- [4] Nakoela Soenata dan Shoici Furuhamu, (2002), *Motor Bakar Serba Guna*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- [5] W. Fox, Robert and Mc Donald, Alan T.,(1994), *Introduction to Fluid Mechanics*, John Willey and Sons Inc., Fourth Edition.
- [6] Stoecker, W.F. dan J.W. Jones, Alih Bahasa Supratman Hara (1992), *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*, edisi kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta.