

Laju pembuangan panas pada radiator dengan fluida campuran 80% air dan 20% RC pada rpm konstan

Made Ricki Murti

Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Mobil yang digunakan untuk menempuh perjalanan yang jauh biasanya dipacu dengan kecepatan yang cukup tinggi dengan putaran mesin berkisar pada rpm 2000 dan dalam jangka waktu yang cukup lama. Agar tidak terjadi hal-hal yang tidak diinginkan akibat suhu mesin melebihi suhu normal mesin saat bekerja, maka penelitian ini perlu dilakukan. Pada penelitian ini dilakukan pengujian perbandingan laju pembuangan panas mesin antara pemakaian 100% air dengan campuran 80% air dan 20% radiator coolant dengan metode *paired comparison* pada rpm 2000. Dari penelitian tersebut diambil data antara lain temperatur masuk dan keluar radiator, dan volume aliran fluida radiator (Q) yang kemudian dilakukan pengolahan data untuk menentukan laju aliran massa (m), panas spesifik fluida (C_p), laju pembuangan panas radiator (q), dan pengolahan data secara statistik. Hasil pengujian terhadap campuran fluida radiator 80% air dan 20% radiator coolant menunjukkan rata-rata selisih temperatur inlet radiator dengan temperatur outlet radiator yang lebih tinggi sebesar $4,725^\circ\text{C}$ serta rata-rata laju pembuangan panas radiator yang lebih tinggi juga sebesar $8,0378 \text{ kJ/s}$. Kondisi ini menunjukkan pada rpm 2000, campuran 80% air dan 20% radiator coolant memiliki kemampuan penyerapan dan pembuangan panas mesin yang lebih tinggi daripada 100% air.

Kata kunci: Temperatur, radiator, metode *paired comparison*

Abstract

Cars that used in a long journey are usually raced in high speed with engine rotation until 2000 rpm and in long time enough. In order to avoid undesirable conditions due to overheating in engine operation, this research became relevant. In this research, the experiments were conducted to compare the rate of heat released by radiator with water 100% and the mixture between water 80% and radiator coolant 20%. The analysis was performed at 2000 rpm by using the *paired comparison* method. The results showed that the average temperature difference between radiator inlet and outlet by fluid mixture of water 80% and radiator coolant 20% was 4.725°C higher than that of water 100%. Similarly, the heat released by radiator with fluid mixture of water 80% and radiator coolant 20% was 8.0378 KJ/s , higher than that of water 100%.

Keywords: Temperature, radiator, *paired comparison* method

1. Pendahuluan

Dalam mengemudikan mobil sering di jumpai berbagai macam hambatan di perjalanan seperti kemacetan maupun lamanya jarak tempuh yang dapat meningkatkan temperatur mesin pada mobil melebihi temperatur normal mesin saat bekerja akibat menerima panas yang berlebihan. Hal tersebut dapat dicegah dengan adanya sistem pendingin pada mobil yang pada umumnya menggunakan sistem pendingin air yang mengaplikasikan radiator sebagai alat penukar panasnya. Penulis memilih pengujian dilakukan pada rpm 2000 karena ingin mengetahui bagaimana pengaruh laju pembuangan panas radiator pada saat putaran mesin yang cukup tinggi. Biasanya kondisi putaran mesin yang tinggi ini terjadi pada saat mobil digunakan untuk menempuh perjalanan yang jauh, terutama yang sering melewati jalan-jalan utama. Pada saat itu biasanya mobil dipacu dengan cukup kencang dengan rpm rata-rata berkisar pada rpm 2000 dan dalam jangka waktu yang cukup lama.

Dalam penelitian ini penulis juga menambahkan metode analisis perhitungan dengan metode statistik *paired comparison*. Ada beberapa tes-tes statistik yang tersedia dan dapat digunakan dalam suatu penelitian, maka kita memerlukan dasar pemikiran

tertentu untuk menentukan pilihan yang mana di antara tes-tes statistik itu yang akan kita pakai. Salah satu kriteria untuk menjatuhkan pilihan tes statistik mana yang akan kita gunakan adalah kekuatan analisis tes statistik tersebut. Suatu tes statistik itu baik, jika mempunyai kemungkinan kecil untuk menolak H_0 apabila H_0 benar, dan mempunyai kemungkinan besar untuk menolak H_0 apabila H_0 salah. Pada pengujian kali ini penulis menggunakan metode *paired comparison* karena memiliki beberapa kelebihan. Di antaranya, metode *paired comparison* ini sangat cocok digunakan untuk analisis data dua sampel berpasangan, data yang dianalisis berasal dari populasi dengan distribusi normal, kesederhanaan di dalam perhitungannya, dan cocok digunakan untuk analisis dengan jumlah sampel yang kecil. Pertimbangan lain dalam pemilihan metode *paired comparison* ini adalah cara yang digunakan dalam penarikan sampel adalah berurutan dan teratur dalam selang waktu tertentu. Sifat populasi yang menjadi asal usul sampel berdistribusi normal dalam bentuk data interval. Berdasarkan hal-hal di atas, pada dasarnya fenomena pada sistem pendingin sangat kompleks. Sehingga penelitian-penelitian yang mengkaji perbaikan sistem pendingin mesin perlu

mendapatkan perhatian dalam rangka meningkatkan *performance engine* secara keseluruhan.

2. Dasar Teori

2.1. Pembuangan panas radiator

Besar pembuangan panas radiator adalah suatu nilai yang menunjukkan besarnya panas pada air radiator yang dapat dibuang ke udara luar.

Persamaan yang digunakan untuk menghitung adalah

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

Keterangan :

- q = Laju perpindahan panas (W)
- m = Laju aliran massa air (Kg/s)
- Cp = Kalor spesifik fluida air (KJ/Kg °C)
- Th,in = Temperatur air saat memasuki radiator (K)
- Th,out = Temperatur air saat keluar radiator (K)

2.2. Cara-cara perpindahan panas

Perpindahan panas dapat didefinisikan sebagai perpindahan energi dari suatu daerah ke daerah lainnya sebagai akibat dari perbedaan temperatur antar daerah tersebut. Secara umum ada 3 cara proses perpindahan panas yaitu :

a. Konduksi

Perpindahan panas konduksi merupakan perpindahan energi yang terjadi pada media padat atau fluida yang diam sebagai akibat dari perbedaan temperatur. Hal ini merupakan perpindahan energi dari partikel yang lebih enerjik ke partikel yang kurang enerjik pada benda akibat interaksi antar partikel-partikel. Energi ini dihubungkan dengan pergerakan translasi, sembarang, rotasi dan getaran dari molekul-molekul. Temperatur lebih tinggi berarti molekul lebih berenergi memindahkan energi ke temperatur lebih rendah (kurang energi). Untuk konduksi panas, persamaan aliran dikenal dengan Hukum Fourier.

Jika kondisi pada dinding datar, laju perpindahan panas satu dimensi adalah sebagai berikut :

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

Keterangan :

- q_{kond} = Besar laju perpindahan panas konduksi (W)
- k = Konduktivitas termal bahan (W/m. K)
- dT/dx = *Temperature gradient*
- A = Luasan permukaan perpindahan panas (m²).
- (-) = Perpindahan panas dari temperatur tinggi ke temperatur rendah.

b. Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah suatu perpindahan panas yang terjadi antara suatu permukaan padat dan fluida yang bergerak atau 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 karena gaya apung (*buoyancy force*).

2. Konveksi paksa (*force convection*), yaitu konveksi yang terjadi dimana aliran fluida disebabkan oleh peralatan bantu seperti *fan*, *blower* dan lain-lain.
3. Konveksi dengan perubahan fase, yaitu sama seperti pendidihan (*boiling*) dan pengembunan (kondensasi).

Persamaan laju perpindahan panas konveksi, bila $T_s > T_\infty$ adalah :

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

Keterangan :

- q_{konv} = Besar laju perpindahan konveksi (W)
- h = Koefisien konveksi (W/m² K)
- A = Luasan permukaan perpindahan panas (m²)
- (T_s - T_∞) = Perbedaan temperatur (K)

Persamaan diatas disebut dengan Hukum Newton Pendinginan atau *Newton's Law of Cooling*.

c. Radiasi

Radiasi *thermal* adalah energi yang diemisikan oleh benda yang berada pada temperatur tinggi, dimana merupakan perubahan dalam konfigurasi elektron dari atom.

Energi dari medan radiasi ditransportasikan oleh gelombang elektromagnetik atau lainnya. *Photon* berasal dari energi dalam sebuah elektron yang memancar.

Pada perpindahan panas konduksi dan konveksi adalah mutlak membutuhkan media. Sedangkan pada perpindahan panas radiasi tidak diperlukan media. Kenyataannya perpindahan panas radiasi lebih efektif terjadi pada ruang hampa.

Laju perpindahan panas netto radiasi dirumuskan sebagai berikut :

$$q_{rad} = \varepsilon \sigma A (T_s^4 - T_{sur}^4) \quad (4)$$

Keterangan :

- q_{rad} = Laju perpindahan panas radiasi (W)
- ε = Emisivitas permukaan material
- σ = Konstanta Stefan-Boltzmann
= 5,669 × 10⁻⁸ W/m².K⁴
- A = Luasan permukaan perpindahan panas (m²)
- T_s = Temperatur permukaan benda (K)
- T_{sur} = Temperatur *surrounding* (K)

2.3. Prinsip kerja radiator sebagai pembuangan panas mesin

Panas mesin terpusat pada ruang bakar / silinder yang merupakan hasil dari proses pembakaran udara dan bahan bakar. Seperti yang ditunjukkan Gambar 1, panas di ruang mesin ini dipindahkan dari sisi dalam silinder ke *water jacket* secara konduksi. Kemudian panas pada *water jacket* diteruskan ke fluida pendingin (air) secara konveksi, akibatnya air menjadi panas. Air pendingin yang telah menjadi panas ini disirkulasikan (dipompakan) ke radiator untuk didinginkan lagi agar mampu menyerap panas kembali.

Air panas masuk radiator ke *upper tank* melalui *upper hose*, selanjutnya ke *lower tank* melalui *tube*

(pipa kapiler) pada *radiator core* dan keluar dari *lower tank* melalui *lower hose* sudah berupa air dingin. Air yang telah didinginkan tersebut kembali disirkulasikan ke sepanjang *water jacket* dan melakukan penyerapan panas seperti diuraikan di atas.

Proses pembuangan panas dari fluida pendingin (air) terjadi di radiator yaitu pada *radiator core*. Air panas yang mengalir pada *tube* memindahkan panas dari air (fluida pendingin) ke permukaan dalam *tube* secara konveksi. Panas selanjutnya dipindahkan dari permukaan dalam ke permukaan luar *tube* secara konduksi, dan diteruskan lagi dari permukaan luar *tube* ke *fin* (kisi-kisi radiator) secara konduksi juga. Panas dari *fin* radiator di pindahkan ke udara luar secara konveksi.

2.4. Uji – t (t-Test)

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah *Paired Comparison* (membandingkan berpasangan), dimana terdapat jumlah pasangan

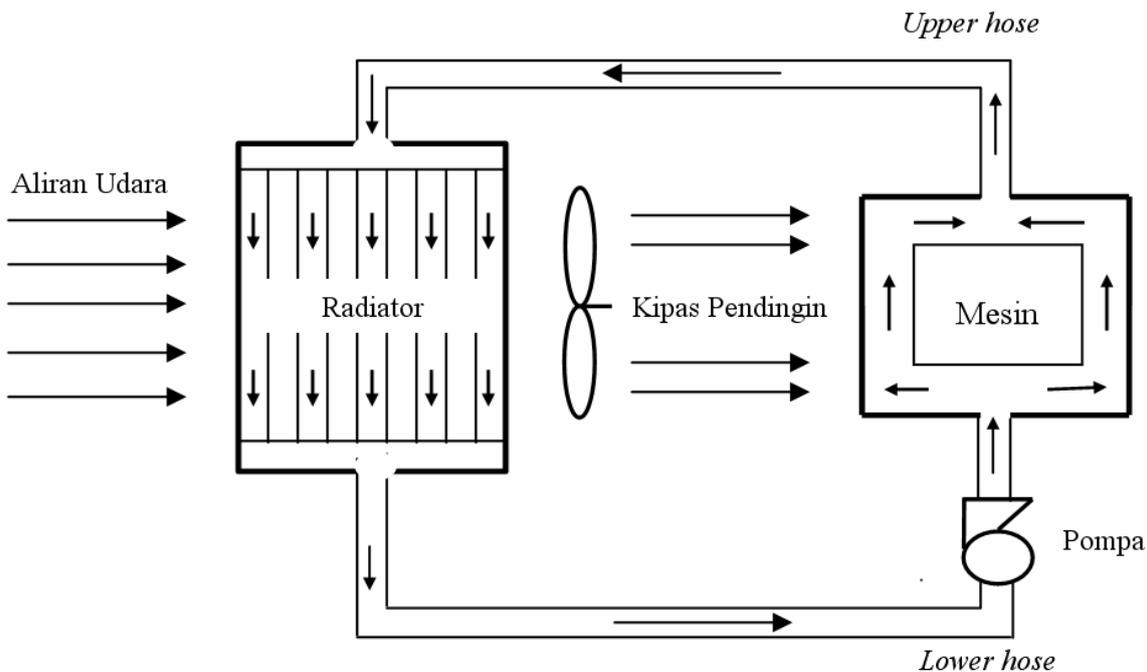
adalah dua belas (n = 12, berdasarkan fungsi waktu pada RPM 2000). Kemudian dampak pendinginan dari sistem radiator menggunakan 100% air dan campuran 80% air, 20% RC pada rpm sama adalah masing-masing disimbolkan dengan X dan Y, sehingga dibuat Tabel 1 seperti dibawah ini.

Rata-rata selisih dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\bar{D} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i \tag{5}$$

Standar deviasi ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$S_D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{(n-1)}} \tag{6}$$



Gambar 1. Sirkulasi air pendingin pada kendaraan

Tabel 1. Laju pembuangan panas [1]

	Laju pembuangan panas (q)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
q 80% air, 20 % RC	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12
q 100 % air	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11	Y12
D = (X-Y)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12

Convidence interval (range kepercayaan) $1-\alpha = 95\%$ untuk δ diberikan sebagai berikut :

$$\bar{D} \pm t_{\alpha/2, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (7)$$

Harga t dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut;

$$t = \frac{\bar{D} - \delta_0}{S_D / \sqrt{n}} \quad (8)$$

Keterangan:

- \bar{D} = rata-rata selisih
- n = jumlah pasangan, n-1 = derajat kebebasan
- D_i = total selisih
- $\delta_0 = 0$

Hipotesa yang dihasilkan :

- $H_0 : \mu_1 \leq \mu_2$
(q campuran 80% air, 20% RC \leq q 100% air)
- $H_1 : \mu_1 > \mu_2$
(q campuran 80% air, 20% RC $>$ q 100% air)

Uji hipotesa :

Jika $t_{hitung} > t_{tabel} \rightarrow H_0$ ditolak H_1 diterima, berarti q campuran 80% air dan 20% RC lebih besar dari q 100% air.

Jika $t_{hitung} \leq t_{tabel} \rightarrow H_1$ ditolak H_0 diterima, berarti q campuran 80% air dan 20% RC sama dengan q 100% air.

3. Metode Penelitian

3.1. Alat dan bahan

Alat-alat yang diperlukan pada penelitian ini adalah satu unit kendaraan (mobil), *termocouple*, *flow meter*, *stop watch*, dan alat bantu seperti tang, obeng, ember, dll. Bahan yang digunakan adalah air

biasa, *auto sealant*, klem, dan *radiator coolant* yang berupa konsentrat.

Skematik peralatan uji ditunjukkan pada Gambar 2 di bawah ini.

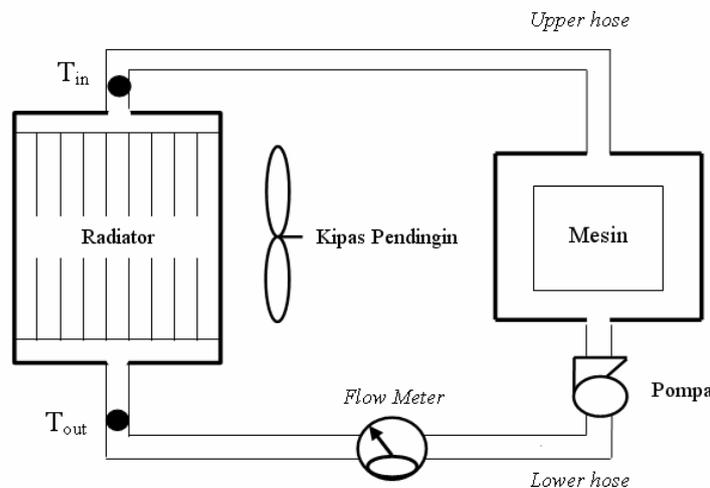
3.2. Pelaksanaan pengujian

Pengujian dilaksanakan menggunakan fluida 100% air dengan campuran 80% air dan 20% RC pada rpm 2000.

Pengujian dimulai dengan fluida 100% air dengan campuran 80% air dan 20% RC pada rpm 2000. Catat temperatur fluida pada *inlet radiator* (T_{in}) dan temperatur fluida di *outlet radiator* (T_{out}) sebagai kondisi awal, kemudian mesin dihidupkan/dijalankan. Pengujian dilaksanakan selama 1 jam dan pencatatan data berikutnya diambil setiap lima menit (5 menit).

Adapun langkah-langkah pengujian (prosedur pengujian) adalah sebagai berikut :

1. Siapkan alat dan bahan serta rangkai alat uji seperti skema.
2. Masukkan fluida pendingin ke dalam radiator dan yakinkan telah terisi penuh.
3. Catat temperatur fluida pendingin pada sisi masuk dan keluar radiator (temperatur ini merupakan temperatur awal / *initial temperature*).
4. Hidupkan mesin dan pertahankan pada putaran konstan 2000 rpm.
5. Catat data setiap 5 menit terhitung saat mesin mulai hidup. Pengujian dilakukan selama 1 jam, yang mana pengujian dan pengambilan data dihentikan pada menit ke-60.
6. Setelah itu, matikan mesin dan biarkan sampai mesin benar-benar dingin.
7. Setelah proses pengujian selesai, kembalikan kondisi kendaraan ke kondisi semula. Rapikan kembali semua alat dan bahan uji.
8. Ulangi pengujian tersebut sebanyak 3 kali pada jam yang sama



Gambar 2. Skematik alat uji sistem pendinginan mesin

4. Hasil dan Pembahasan

Dari pengolahan dan perhitungan data pengujian didapatkan hasil berupa pembuangan panas mesin terhadap waktu seperti ditunjukkan pada Tabel 2

Tabel 2. Laju pembuangan panas (q)

Waktu (menit Ke)	q 80% air dan 20% RC (Watt)	q 100% air (Watt)	Selisih (Watt)
	X	Y	D = (X - Y)
5	7133,518	6447,618	685,899
10	7365,391	6565,713	799,678
15	7596,977	6513,852	1083,124
20	7824,849	6400,937	1423,911
25	7883,813	6571,172	1312,641
30	8224,857	6683,803	1541,054
35	8111,246	6910,155	1201,091
40	8111,827	6854,398	1257,428
45	8394,903	7138,228	1256,675
50	8450,861	7252,100	1198,760
55	8564,878	7194,657	1370,220
60	8791,000	7478,500	1312,499

Pengolahan Data secara Statistik H₀ dan H₁ dalam Uraian Kalimat

H₀: Laju pembuangan panas mesin dengan fluida kerja 80% air dan 20% RC lebih kecil atau sama dengan laju pembuangan panas mesin dengan fluida kerja 100% air.

H₁: Laju pembuangan panas mesin dengan fluida kerja 80% air dan 20% RC lebih besar daripada laju pembuangan panas mesin dengan fluida kerja 100% air.

H₀ dan H₁ dalam Model Statistik

$H_0 : \mu_1 \leq \mu_2$ (q campuran 80% air, 20% RC \leq q 100% air)

$H_1 : \mu_1 > \mu_2$ (q campuran 80% air, 20% RC $>$ q 100% air)

Rata – Rata Selisih Sampel (\bar{D})

$\bar{D} = 1,20358$

Standar Deviasi Sampel (S_D)

$S_D = 0,24592$

Tingkat Signifikansi

Harga α berperan dalam menentukan apakah H₀ akan ditolak atau tidak, maka tuntutan objektivitas meminta agar nilai α ditetapkan sebelum pengumpulan data. Yang besarnya biasanya 0,05 atau 0,01. Dalam penelitian ini penulis memilih nilai α yang besarnya 0,05 (5%).

Convidence Interval

Convidence interval (range kepercayaan) $1-\alpha = 95\%$ untuk δ diberikan sebagai berikut :

$1,07608 < \delta < 1,33108$

Harga t Hitung

t hitung = 16,95422

Kriteria Pengujian

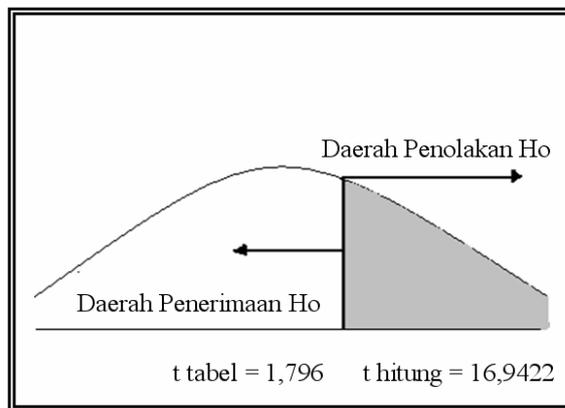
Jika $t_{hitung} > t_{tabel} \rightarrow H_0$ ditolak, H_1 diterima

Jika $t_{hitung} \leq t_{tabel} \rightarrow H_1$ ditolak, H_0 diterima

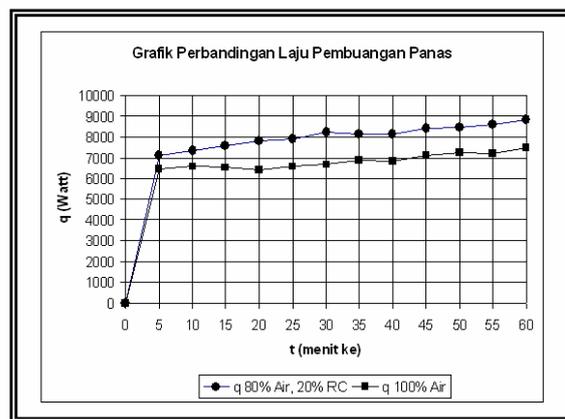
Perbandingan Antara t Tabel dengan t Hitung

t hitung = 16,95422

t tabel = 1,796



Gambar 3. Daerah penolakan Ho



Gambar 4. Perbandingan laju pembuangan panas

Seperti terlihat pada Gambar 4 dimana sejak menit-menit awal yaitu menit ke-5 laju pembuangan panas campuran 80% air dan 20% RC sudah menunjukkan nilai laju pembuangan panas yang lebih besar daripada menggunakan fluida kerja 100% air. Perbedaan yang ditunjukkan berfluktuasi tetapi cenderung linier. Hal yang menyebabkan laju pembuangan panas mesin oleh radiator dengan menggunakan fluida kerja campuran 80% air dan 20% RC lebih besar daripada menggunakan fluida kerja 100% air adalah perbedaan nilai koefisien perpindahan panas konveksi yang dimiliki fluida campuran 80% air dan 20% RC lebih besar daripada fluida kerja 100% air. Hal ini menyebabkan laju perpindahan panas konveksi dari fluida radiator menuju ke sisi bagian dalam radiator menjadi lebih besar, yang akan menyebabkan pembuangan panas ke lingkungan yang lebih besar pula. Kondisi ini tidak mempunyai pengaruh terhadap daya yang dihasilkan oleh mesin kendaraan (mobil) karena masih berada dalam batas distribusi keseimbangan panas. Dimana panas yang hilang karena proses

pendinginan maksimum sebesar 32% dari panas total yang dihasilkan agar kondisi kendaraan tetap normal.

Secara teoritis bahwa jika laju volume aliran fluida (Q) konstan, putaran mesin konstan, dan temperatur lingkungan (T_{sur}) konstan maka laju pembuangan panas radiator (q) seharusnya konstan (*steady state*). Namun apabila terjadi sedikit fluktuasi laju pembuangan panas radiator (q) hal ini dapat diakibatkan oleh berbagai macam faktor antara lain : alat ukur (temperatur maupun volume fluida) yang kurang akurat, serta ketidakhomogenan campuran bahan bakar dan udara yang dihasilkan dari proses pengkabutan oleh kaburator setiap menitnya yang berpengaruh pada panas yang dihasilkan pada proses pembakaran di ruang bakar. Sehingga panas yang diserap setiap menitnya oleh fluida pendingin pun tergantung dari proses tersebut.

Rata-rata laju pembuangan panas ($q_{rata-rata}$) mesin oleh radiator diperoleh dengan menjumlahkan nilai laju pembuangan panas dari awal sampai akhir pengujian, yang kemudian dibagi dengan banyaknya data yang diperoleh pada masing-masing pengujian. Dari perhitungan tersebut didapatkan rata-rata laju pembuangan untuk campuran 80% air dan 20% RC sebesar 8,03784 Watt sedangkan untuk fluida kerja 100% air sebesar 6,83426 Watt.

Perhitungan secara statistik menggunakan metode *paired comparison* dengan menggunakan tingkat signifikansi 5% mendapatkan hasil nilai t hitung jauh lebih besar daripada t tabel, hal ini menunjukkan bahwa memang benar laju pembuangan panas campuran 80% air dan 20% RC sebagai fluida kerja radiator memang lebih besar daripada fluida kerja 100% air.

5. Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisis data yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Laju pembuangan panas rata – rata ($q_{rata-rata}$) campuran 80% air dan 20% RC sebesar 8,03784 Watt. Sedangkan laju pembuangan panas rata – rata untuk fluida kerja 100% air sebesar 6,83426 Watt. Secara numerik dapat diketahui bahwa laju pembuangan panas campuran 80% air dan 20% RC lebih besar daripada laju pembuangan panas fluida kerja 100% air pada rpm 2000.
2. Hasil pengolahan data secara statistik menggunakan metode *paired comparison* dengan tingkat signifikansi 5%, mendapatkan hasil nilai t hitung sebesar 16,95422 jauh lebih besar daripada nilai t tabel sebesar 1,796 dengan selisih rata – rata laju pembuangan panas mencapai 1,20345 Watt. Hal ini membuktikan bahwa memang benar pada rpm 2000 laju pembuangan panas campuran 80% air dan 20% RC jauh lebih besar daripada fluida kerja 100% air.

Daftar Pustaka

- [1] Bhattacharyya, G.K., 1977, *Statistical Concepts and Methods*, John Wiley & Sons, New York . Santa Barbara . London . Sydney . Toronto.
- [2] Holman, J.P., alih bahasa Jasfi, E., 1984, *Perpindahan Kalor, Edisi Kelima*, Erlangga, Jakarta Pusat.
- [3] Incropera, F. P and Dewitt, D. P., 1990, *Fundamentals of Heat Transfer*, John Wiley & Sons, New York.
- [4] Koestoer, R. A. dan Zulkifli, 1998, *Perpindahan Kalor Konveksi*, Laboratorium Perpindahan Kalor – Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Jakarta.
- [5] Riduwan, 2006, *Dasar – Dasar Statistika*, Alfabeta, Bandung.
- [6] Sugiyono, 1999, *Statistik Nonparametris Untuk Penelitian*, Alfabeta, Bandung.
- [7] Toyota Astra Motor, PT., 1994, *New Team Engine Group Training Manual*, Toyota Service Training, Jakarta.
- [8] Toyota Astra Motor, PT., 1994, *New Step 1 Training Manual*, Toyota Service Training, Jakarta.