

Pengaruh laju aliran *coolant* campuran air dengan *ethylene glycol* terhadap laju perpindahan panas dan penurunan tekanan radiator otomotif

Bernadus Nanang Dwi Nuryanto ¹, Tri Istanto ², Wibawa Endra Juwana ²

¹Program Sarjana Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami 36A Surakarta tlp. 0271632163

²Staff Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami 36A Surakarta tlp. 0271632163
Email korespondensi: wibawa.ej@gmail.com

Abstrak

Penelitian eksperimental ini dilakukan untuk menguji laju perpindahan panas dan penurunan tekanan dengan louver fin bergelombang dengan radiator kanal segitiga. Tabung radiator dan sirip terbuat dari aluminium. Cairan dingin mengalir vertikal dari sisi atas ke bawah saat udara mengalir secara horizontal (*crossflow heat exchanger*). Air dan 20% Etilena glikol digunakan sebagai cairan panas (pendingin) dan dipertahankan pada suhu konstan 80 °C dan bervariasi pada laju alir 25 lpm, 30 lpm, 35 lpm, dan 40 lpm. Dimana udara digunakan sebagai fluida dingin yang memiliki kecepatan bervariasi 1,5 m/s, 2 m/s, 2,5 m/s dan 3 m/s. Dan suhu intake udara dipertahankan sekitar 30 °C. Hasilnya menunjukkan laju aliran air yang lebih tinggi pada tabung radiator, yang menghasilkan nilai perpindahan panas yang lebih tinggi, dan penurunan tekanan pendingin. Komposisi pencampuran etilena glikol menjadi pendingin, berpengaruh pada penurunan laju perpindahan panas. Peningkatan laju perpindahan panas tertinggi diperoleh pada penggunaan air pendingin. Pencampuran etilen glikol mempengaruhi penurunan tekanan sisi pendingin yang meningkat.

Kata kunci: radiator, louver fin, crossflow heat exchanger , ethylene glycol.

Abstract

This experimental study was conducted to examine the heat transfer rate and pressure drop on corrugated louver fin with triangular channel radiator. Radiator tube and fin were made of aluminium. Cold fluid flows vertically from top side to bottom while air flows horizontally (*crossflow heat exchanger*). Water and 20% Ethylene glycol were used as hot fluid (*coolant*) and maintained at constant temperature of 80 °C and varied at flow rate of 25 lpm, 30 lpm, 35 lpm, dan 40 lpm. Where as air was used as cold fluid having its velocity varied at 1.5 m/s, 2 m/s, 2,5 m/s and 3 m/s. And air intake temperature was maintained around 30 °C. The result shows the higher water flow rate in the radiator tube, resulting in higher value of heat transfer rate, and coolant pressure drop. Ethylene glycol mixing composition into the coolant, affects on decreasing the heat transfer rate. The highest heat transfer rate enhancement was obtained at water coolant usage. Ethylene glycol mixing affects the increasing coolant-side pressure drop.

Keywords: radiator, louver fin, crossflow heat exchanger , ethylene glycol.

1. Pendahuluan

Radiator sebagaimana alat penukar kalor atau *heat exchanger* lainnya adalah alat yang digunakan untuk memindahkan panas dari satu sistem ke sistem lain tanpa perpindahan massa dan bisa berfungsi sebagai pendingin. Sistem pendingin pada mesin berfungsi untuk menjaga temperatur mesin yang terjadi akibat pembakaran dari ruang bakar. Panas dari proses pembakaran yang berlebih akan menyebabkan perubahan sifat - sifat mekanis serta bentuk dari komponen mesin. Sifat serta komponen mesin bila telah berubah akan menyebabkan kinerja mesin terganggu dan mengurangi usia mesin.

Sistem pendinginan air (*water cooling system*) Perpindahan panas pada sistem pendinginan air menggunakan radiator. Panas dari pembakaran gas dalam silinder sebagian diserap oleh air pendingin yang bersirkulasi. Air pendingin tersebut kemudian didinginkan oleh udara luar yang dihembuskan oleh *blower* radiator. Karena temperatur udara luar dibawah dari air pendingin maka terjadi perpindahan panas dari air pendingin ke udara luar. Masalah utama dari air adalah titik didih yang rendah dan titik beku yang tinggi. Anti *boil agent* dan anti *freeze agent* seperti *Ethylene Glycol* memiliki titik didih yang lebih tinggi dan titik beku yang lebih rendah dibanding dengan air. Maka dari itu sekarang banyak *coolant*

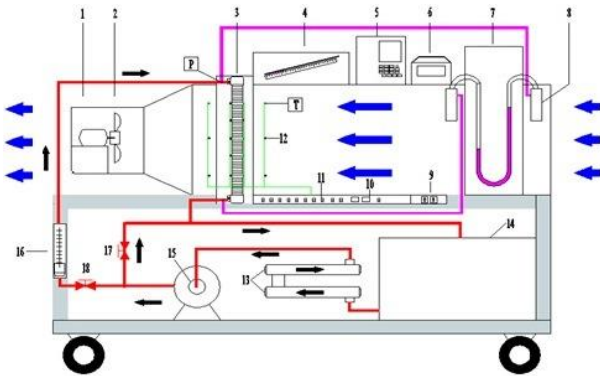
engine perpaduan antara air dengan *Ethylene Glycol* yang digunakan pada mesin. Komposisi campuran yang memiliki konduktivitas thermal terbaik adalah komposisi 20% [1]

Besar laju aliran udara yang melalui radiator dan laju aliran fluida *coolant* yang masuk ke dalam radiator sebanding dengan penurunan tekanan (*pressure drop*) fluida. Adanya penurunan tekanan berarti terdapat kehilangan energi akibat gesekan antara fluida dengan permukaan saluran. Penurunan tekanan fluida dengan laju aliran udara dan laju aliran fluida yang bervariasi mempunyai hubungan langsung dengan laju perpindahan panas pada radiator.

Oleh karena itu dilakukan laju aliran fluida pada radiator untuk menguji pengaruh laju aliran fluida terhadap laju perpindahan panas dan juga penurunan tekanan pada radiator otomotif dengan membandingkan jenis fluida *coolant* air dan fluida campuran air dengan *Ethylene Glycol*.

2. Metode

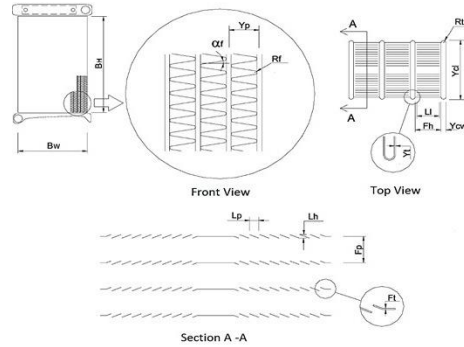
Bahan penelitian yang digunakan sebagai fluida panas adalah campuran air dengan *Ethylene Glycol* 20% volume. Sedangkan fluida dingin adalah udara, yang digunakan untuk mendinginkan fluida panas dengan metode *cross flow heat exchanger*. Alat penelitian yang digunakan untuk mengambil data adalah unit *stand* radiator yang terdiri dari sistem pompa *coolant* pendingin, Sistem pemanasan fluida *coolant*, Sistem hembusan udara lingkungan



Gambar 1. Skema alat Unit Stand Radiator Otomotif

Keterangan gambar :

- | | |
|----------------------|--------------------|
| 1. Motor ¼ HP | 10. Thermo Control |
| 2. Kipas (fan) | 11. Saklar |
| 3. Radiator Otomotif | 12. Thermocouple |
| 4. Manometer udara | 13. Heater |
| 5. Inverter | 14. Reservoir |
| 6. Thermo Reader | 15. Pompa coolant |
| 7. Manometer air | 16. Rotameter |
| 8. Penjebak air | 17. Kran by pass |
| 9. MCB | 18. Kran pipa |



Gambar 2. Dimensi dasar pada radiator, P W Johnson, dkk (2005)

Parameter	Dimensi	Satuan
B_H	369	mm
B_W	424.2	mm
B_T	16	mm
N_r	1	
N_{ct}	43	
N_p	44	
Parameter	Dimensi	Satuan
N_f	137	
L_p	1	mm
L_t	6.5	mm
F_t	0.06	mm
F_h	8.12	mm
F_p	3	mm
R_f	0.75	mm
α_f	30	°
Y_l	464.2	mm
Y_{cl}	16	mm
Y_{cw}	2	mm
Y_t	0.25	mm
Y_p	10.12	mm
R_t	1	mm

Tahap Pengujian

1. Mempersiapkan alat yang digunakan dan mengkalibrasi semua alat ukur
2. Mempersiapkan fluida *coolant* dengan mencampur air dengan 20% *Ethylene Glycol*.
3. Menghidupkan *heater* dan *thermo control* kemudian mengatur pada suhu 80°C.
4. Menghidupkan *fan* dan mengatur kecepatan laju aliran udara variasi pertama 3 m/s dengan mensetting frekuensi pada inverter.

5. Menghidupkan pompa air kemudian mengatur laju aliran fluida variasi pertama 40 lpm pada rotameter.
6. Mengamati temperatur, sampai suhu 80° C dalam keadaan *steady state*.
7. Mencatat seluruh data temperatur, beda ketinggian pada manometer.
8. Data diperoleh sebanyak 3 kali untuk setiap variasi temperatur udara setiap 15 menit.
9. Sistem harus dikondisikan seperti semula atau distabilkan terlebih dahulu untuk sesi pengujian variasi yang lain.
10. Percobaan diulangi untuk komposisi variasi laju aliran udara sebesar 2,5 m/s; 2m/s; 1,5m/s dan variasi laju aliran fluida 35 lpm, 30 lpm, 25 lpm.
11. Mengulangi langkah (3) – (9).
12. Setelah melakukan percobaan mematikan pemanas air, pompa air, dan fan.
13. Membersihkan dan merapikan kembali alat dan bahan yang digunakan.

3. Hasil dan Pembahasan

Dari percobaan diperoleh data berupa temperatur *coolant*, masuk dan keluar radiator, temperatur udara sebelum dan sesudah melalui radiator, beda ketinggian manometer air serta diketahui juga spesifikasi radiator. Selanjutnya dapat dilakukan analisis data yaitu dengan:

1. Diameter hidrolis pipa radiator

$$D_{h,i} = 4 \cdot \frac{A_p}{P}$$

2. Luas perpindahan panas pada Tube sisi dinding luar tanpa sirip

$$A_b = 2 \cdot N_{ct} \cdot Y_l \cdot N_r \cdot [(Y_{cl} - 2R_t) + (\pi R_t)]$$

3. Keliling penampang *tube* sisi dinding dalam,

$$P = 2\pi(R_t - Y_t) + 2(Y_{cl} - 2R_t)$$

4. Luas perpindahan panas pada *tube* sisi dinding dalam

$$A_d = N_{ct} \cdot Y_l \cdot N_r \cdot P$$

5. Luas permukaan rata-rata dinding pipa

$$A_t = 0,5(A_b + A_d)$$

6. Luas penampang Tube sisi dinding dalam

$$A_p = \pi(R_t - Y_t)^2 + (Y_{cw} - 2Y_t)(Y_{cl} - 2R_t)$$

7. Luas perpindahan panas total pada sisi *coolant*, A_i

$$A_i = A_p \cdot Y_l \cdot N_{ct} \cdot N_r$$

8. Luas laluan *coolant* total

$$A_{p,c} = A_p \cdot N_{ct} \cdot N_r$$

9. Sifat-sifat *coolant* pada T bulk (Tabel ASHRAE):

$$T_{b,a} = \frac{T_{c,i} + T_{c,o}}{2}$$

10. Sifat-sifat udara pada T bulk pada $T_{b,a}$ (Tabel A- [2])

$$T_{b,a} = \frac{T_{a,i} + T_{a,o}}{2}$$

11. Laju aliran massa *coolant* di pipa radiator (\dot{m}_c)

$$\dot{m}_c = \rho_c \cdot Q$$

$$\dot{m}_a = \rho_a \cdot A_{duct} \cdot V_{duct}$$

12. Laju perpindahan panas:

$$Q_c = \dot{m}_c \cdot C_{p,c} \cdot (T_{c,i} - T_{c,o})$$

$$Q_a = \dot{m}_a \cdot C_{p,a} \cdot (T_{a,o} - T_{a,i})$$

13. Prosentase kesalahan keseimbangan energi, (*heat balance error*):

$$\text{heat balance error} = |Q_c - Q_a|$$

% *heat balance error*

$$= \left| \frac{Q_c - Q_a}{Q_c} \right| \cdot 100\%$$

14. Nilai ΔT_{LMTD} untuk aliran melintang:

$$\Delta T_{LMTD,cf} = \frac{(T_{c,i} - T_{a,o}) - (T_{c,o} - T_{a,i})}{\ln[(T_{c,i} - T_{a,o}) / (T_{c,o} - T_{a,i})]}$$

15. Faktor koreksi LMTD, F , untuk penukar kalor aliran melintang dengan kedua fluida tidak bercampur, [3]

16. Koefisien perpindahan panas konveksi rata-rata berdasarkan sisi permukaan *coolant*

$$h_i = \frac{1}{\frac{A_i \cdot F \cdot \Delta T_{LMTD,cf}}{Q_c} - \frac{A_i \cdot \delta}{k_t \cdot A_t} - \frac{A_i \cdot (T_{wall,o} - T_{b,a})}{Q_a}}$$

17. Bilangan Reynold aliran *coolant* dalam *tube*, Re_c :

$$Re_c = \frac{\rho_c \cdot V_c \cdot D_{h,i}}{\mu_c}$$

18. Menghitung Nusselt aktual rata-rata, Nu_i :

$$Nu_i = \frac{h_i \cdot D_{h,i}}{k_c}$$

19. Validasi bilangan Nusselt rata-rata di pipa radiator:

Menggunakan persamaan Dittus Boelter

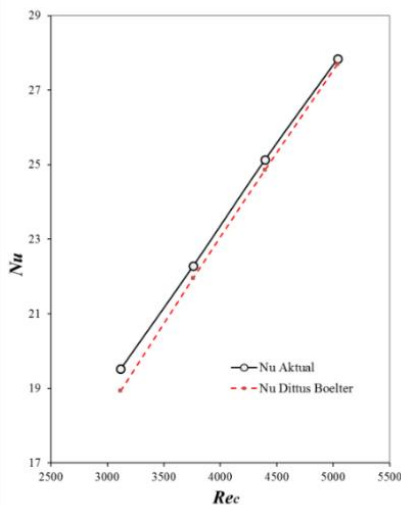
$$Nu = 0,0236 \times Re^{0,8} \times Pr^{0,3}$$

$$\% \text{ error} = \left| \frac{Nu_{\text{aktual}} - Nu_{\text{Dittus boelter}}}{Nu_{\text{Dittus Boelter}}} \right| \cdot 100\%$$

20. Penurunan tekanan *coolant*

$$\Delta P_{\text{coolant}} = SG_{mr} \cdot \rho_w \cdot g \cdot \Delta h$$

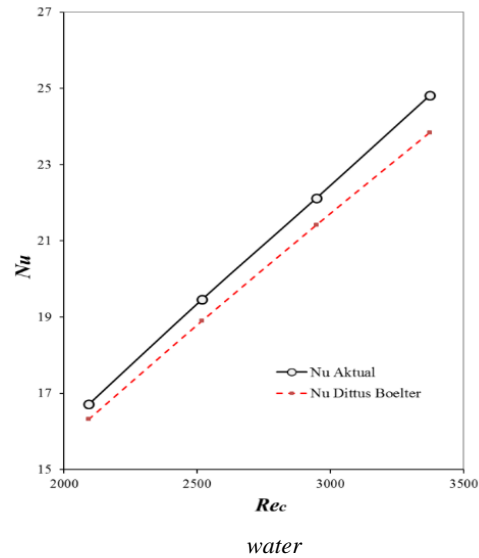
Uji validasi terhadap nilai perpindahan panas / bilangan Nusselt (*Nu*) dari *tube* dengan korelasi empirik untuk nilai *Nu* yang ada dilakukan terlebih dahulu sebelum melakukan pengujian terhadap laju perpindahan panas dan penurunan tekanan. Uji validitas ini dilakukan untuk mengetahui besar penyimpangan pada nilai bilangan Nusselt dengan membandingkannya dengan korelasi empirik yang ada. Hasil dari nilai Nusselt dibandingkan dengan korelasi Dittus Boelter. Perbandingan antara data hasil penelitian dengan korelasi empirik untuk nilai *Nu* dengan air murni dapat dilihat pada Gambar 3. Pada Gambar 3, nilai Nusselt eksperimen dibandingkan dengan korelasi Dittus Boelter untuk aliran turbulente. Penyimpangan persamaan Dittus Boelter relatif kecil, yaitu kurang dari 10%. Hasil pengujian menunjukkan adanya perbedaan nilai rata-rata *Nu* eksperimen dengan korelasi *Nu* Prediksi Dittus Boelter untuk *coolant* air, yaitu sebesar 2,75%. Pengujian ini adalah valid karena penyimpangan tidak melebihi batas penyimpangan yang diberikan yaitu 10%.



Gambar 3. Grafik hubungan Reynolds dengan *Nu* aktual dan *Nu* Dittus Boelter untuk *coolant* water

Grafik hubungan Reynolds dengan Nusselt untuk *coolant* 20% EG & 80% air dapat dilihat pada Gambar 4. Pada Gambar 4, nilai *Nu* penelitian dibandingkan dengan korelasi Dittus Boelter. Hasil pengujian menunjukkan adanya penyimpangan rata-rata 2,71%. Penyimpangan rata-rata bilangan Nusselt dengan korelasi-korelasi tersebut masih dalam batas validasi sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai bilangan Nusselt aktual adalah valid.

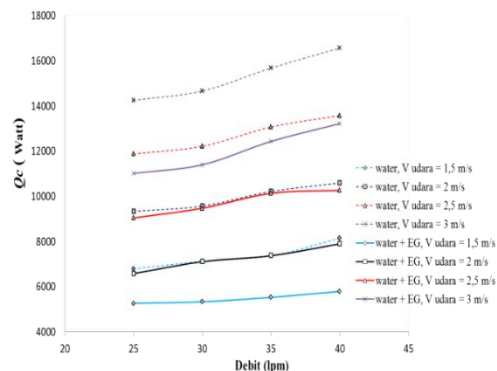
Gambar 4. Grafik hubungan Reynolds dengan *Nu* aktual dan *Nu* Dittus Boelter untuk *coolant* 20% EG & 80%



Pengaruh Variasi Debit Coolant Terhadap Laju Perpindahan Panas.

Laju aliran *coolant* yang bersirkulasi dalam radiator berpengaruh besar pada laju perpindahan panas, hal tersebut disebabkan karena semakin besar laju aliran *coolant* maka turbulensi yang terjadi pada aliran *coolant* juga semakin besar. Aliran turbulen pada *coolant* menyebabkan laju perpindahan panas meningkat. Hal ini ditunjukkan pula pada analisa pengaruh laju aliran *coolant* terhadap laju perpindahan panas dengan perbandingan antara menggunakan *coolant* air murni dan *coolant* campuran air dengan *ethylene glycol*. Semakin besar debit aliran *coolant* pada radiator menunjukkan pula semakin besar laju perpindahan panas baik menggunakan *coolant* air murni dan *coolant* campuran 80% air dengan 20% *ethylene glycol*.

Gambar 5. Grafik pengaruh debit *coolant* terhadap laju perindahan panas



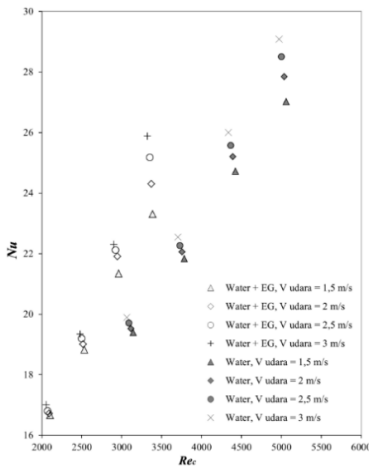
Dari grafik diatas menunjukkan bahwa laju perpindahan panas antara *coolant* dengan air murni lebih besar dibandingkan laju aliran panas dengan

coolant campuran *Ethylene glycol*. Pada penelitian [4] menyebutkan bahwa dalam penelitiannya menunjukkan bahwa penambahan debit aliran fluida mengakibatkan meningkatnya laju perpindahan panas.

Pengaruh variasi bilangan Reynolds terhadap bilangan Nusselt

Perbandingan antara penggunaan coolant air dengan coolant campuran *ethylene glycol* 20% + air 80% mengakibatkan koefisien perpindahan panas konveksi berdasarkan sisi coolant berubah. Penambahan *ethylene glycol* pada coolant akan memberikan harga konduktivitas termal coolant (k_f) yang lebih kecil. Hal ini menyebabkan nilai bilangan Nusselt di sisi coolant menjadi lebih kecil dibandingkan apabila menggunakan coolant dengan komposisi air.

Gambar 6. Grafik hubungan Reynolds dengan Nusselt untuk coolant water dan coolant 20% EG + 80% water

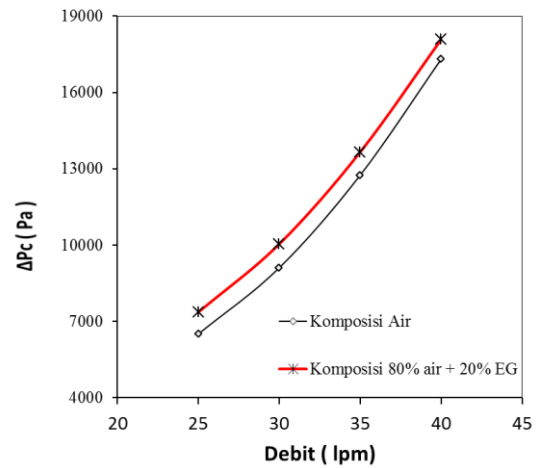


Pada Gambar 6 juga dapat dilihat bahwa semakin besar nilai bilangan Reynolds maka akan semakin besar pula nilai bilangan Nusselt-nya, hal ini sesuai dengan penelitian [5][6] Terjadinya kenaikan nilai perpindahan panas pada radiator dapat diartikan sebagai kenaikan bilangan Nusselt.

Dari tabel properti campuran *Ethylene Glycol* ASHRAE dapat dilihat bahwa penambahan *ethylene glycol* pada coolant akan menyebabkan nilai k_f lebih rendah dibandingkan dengan nilai k_f coolant dengan komposisi air. Oleh karena itu, pada kecepatan udara yang sama coolant dengan komposisi volume *ethylene glycol* 20% dan air 80% memiliki nilai bilangan Nusselt yang lebih kecil dibandingkan dengan coolant komposisi air. Penambahan debit pada coolant juga berakibat pada naiknya bilangan Nusselt; Hal ini didukung oleh penelitian [7][8] yaitu meningkatnya laju aliran coolant akan memperbesar nilai koefisien perpindahan.

Pengaruh variasi debit coolant terhadap penurunan tekanan pada radiator otomotif

Penambahan *ethylene glycol* pada coolant secara langsung berdampak pada *properties coolant* tersebut seperti massa jenis (ρ), panas jenis (C_p), konduktivitas termal (k_f) dan viskositas (μ). Hubungan antara penambahan *ethylene glycol*, debit dan penurunan tekanan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik hubungan antara debit coolant dengan ΔP sisi coolant dengan air murni dan campuran *ethylene glycol*

Pada penelitian ini, air memiliki *pressure drop* lebih kecil dari pada campuran air dengan *ethylene glycol* Hal tersebut sesuai dengan data percobaan dimana ΔP air pada debit 25 Lpm lebih rendah daripada ΔP coolant dengan penambahan *ethylene glycol* sebesar 20 % pada 25 Lpm. *Pressure drop* yang semakin meningkat tajam memberikan dampak semakin meningkatnya daya pemompaan. Hal ini sesuai dengan penelitian [6][9][10] bahwa *pressure drop* meningkat seiring peningkatan laju aliran massa fluida.

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis data dan pembahasan mengenai pengaruh laju aliran coolant campuran air dengan *ethylene glycol* terhadap laju perpindahan panas dan penurunan tekanan radiator otomotif dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada penambahan komposisi *ethylene glycol* pada coolant justru akan menghasilkan laju perpindahan panas (Q) yang semakin rendah. Laju perpindahan panas terbesar adalah pada coolant water. Kenaikan laju perpindahan panas juga dipengaruhi oleh debit coolant dimana semakin besar debit coolant maka laju perpindahan panasnya akan semakin besar

2. Penambahan *ethylene glycol* pada *coolant* akan menyebabkan *pressure drop* di sisi *coolant* meningkat.

Daftar Pustaka

- [1] Dhani. 2012, Pengaruh Coolant Berbahan Dasar Air dengan Etilen Glikol Terhadap Unjuk Kerja Perpindahan Panas dan Penurunan Tekanan Radiator Otomotif, Solo, Universitas Negeri Sebelas Maret
- [2] J. P. Holman. 2010, *Heat Transfer*, 10th edition, McGraw-Hill, New York.
- [3] Incropera, P. Frank , et al. 2011, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 7th edition, John Wiley & Sons, United States of America.
- [4] F.M. White. 2001, *Fluid Mechanics*, 4th edition, McGraw-Hill, New York.
- [5] Kakaç, Sadik., and Liu, Hongtan., 2002, *Heat Exchanger: Selection, Rating, and Thermal Design*, 2nd edition, CRC Press, Washington D.C.
- [6] V. Vasu, K. Krishna, Rama, A.C.S Kumar. 2008, Application of Nanofluids in Thermal Design of Compact Heat Exchanger, *International Journal of Nanotechnology and Applications*, ISSN 0973-631X, Volume 2, Number 1, pp. 75–87
- [7] S.M. Peyghambarzadeh, et al. 2013 Experimental study of overall heat transfer coefficient in the application of dilute nanofluids in the car radiator, *Applied Thermal Engineering* 52 (2013) 8e16
- [8] K.Y. Leong, , R Saidur., S.N Kazi.,, A.H. Mamun. 2010. Performance investigation of an automotive car radiator operated with nanofluid-based coolants (nanofluid as a coolant in a radiator), *Applied Thermal Engineering*, vol. 30 , Pp. 2685–2692
- [9] , W.M. KaysLondon, A.L. 1984, *Compact Heat Exchanger*, 3th edition, McGraw-Hill, New York.
- [10] C. Cuevas, et al. 2011 Thermo-hydraulic characterization of a louvered fin and flat tube heat exchanger, *Experimental Thermal and Fluid Science* 35 (2011) 154–164