

ANALISA DAN UJI EKSPERIMENTAL PERFORMANSI ALAT PENUKAR KALOR KOMPAK JENIS RADIATOR KENDARAAN BERKAPASITAS MESIN 1300 CC

TERANG U. H. S. G. MANIK¹, TULUS BURHANUNDDIN SITORUS², RIDHA IRFANDI³
Dosen Departemen Teknik Mesin¹, Dosen Departemen Teknik Mesin², Mahasiswa Departemen Teknik Mesin³
Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara
Jl. Almamater Kampus USU Padang Bulan, Medan 20155
Email : dayatginting10@gmail.com
Email : ridhairfandi@gmail.com

Abstrak : Salah satu komponen sistem pendingin pada mesin pembakaran dalam adalah alat penukar kalor kompak jenis radiator. Performansi suatu radiator berdampak besar terhadap sistem pendinginan mesin. Secara tidak langsung, radiator yang memiliki performansi tinggi akan meningkatkan efisiensi bahan bakar kendaraan melalui pengurangan bobot radiator. Penelitian ini bertujuan untuk menguji performansi radiator secara eksperimental dan perhitungan teoritis. Obyek penelitian ini ialah sebuah alat penukar kalor kompak jenis radiator yang digunakan pada kendaraan berkapasitas mesin 1300 cc. Alat penukar kalor tersebut dipasangkan pada serangkaian alat uji radiator. Hasil penelitian ini menunjukkan kesetimbangan energi yang diperoleh dari hasil eksperimental memiliki penyimpangan maksimum $\pm 6\%$. Koefisien perpindahan panas maksimum sisi udara dan air ialah $35,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ dan $252,39 \text{ W/m}^2\text{K}$. Penyimpangan antara temperatur udara dan air keluar radiator secara teoritis dan eksperimental sebesar rata-rata $8,47\%$ dan $1,1\%$.

Kata kunci : alat penukar kalor kompak, radiator, performansi

1. Pendahuluan

Kemajuan teknologi dalam industri otomotif terus berkembang dengan pesat. Motor pembakaran dalam (*Internal Combustion Engine*) masih menjadi pilihan utama pabrikan-pabrikan otomotif sebagai penggerak utama produk-produk mereka.

Dalam operasinya, dinding silinder motor pembakaran dalam akan terus menerima energi panas akibat dari pembakaran bahan bakar. Panas ini tentunya sangat mengganggu jika dibiarkan begitu saja karena akan menimbulkan *over heating* pada mesin yang dapat merusak mesin tersebut. Oleh karena itu motor pembakaran dalam harus dilengkapi dengan sistem pendingin. Salah satu komponen utama dari sistem pendingin pada motor pembakaran dalam adalah radiator. Radiator adalah sebuah alat penukar kalor kompak (*compact heat exchangers*) jenis *flat tube-louvered fin* yang digunakan untuk memindahkan energi panas dari satu medium ke medium lainnya untuk tujuan pendinginan.

Sebelumnya, penelitian mengenai alat penukar kalor kompak dengan konfigurasi *louvered fin* pernah dilakukan oleh Chang [1]. Chang menggunakan sebanyak 91 sampel alat penukar kalor *louvered fin* untuk mendapatkan korelasi perpindahan panas pada geometri louver fin. Penelitian untuk mengetahui performansi sebuah radiator juga telah dilakukan oleh Asep [2], dimana radiator dari sebuah mobil diuji dengan cara langsung dihubungkan ke mesin dan putaran mesin mobil tersebut divariasikan untuk melihat seberapa mampu radiator tersebut membuang panas yang dihasilkan oleh mesin mobil tersebut.

Penelitian ini menggunakan sebuah alat uji performansi radiator dimana udara yang dihembuskan ke inti radiator berasal dari sebuah *blower* yang dihubungkan ke sebuah venturimeter kemudian disalurkan ke inti radiator melalui saluran udara (*air duct*). Hal ini bertujuan agar debit udara yang dihembuskan ke radiator dapat terukur dengan lebih akurat.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menguji performansi radiator yang

digunakan pada kendaraan berkapasitas mesin 1300 cc secara eksperimental kemudian akan dibandingkan dengan hasil performansi radiator yang diperoleh melalui perhitungan teoritis.

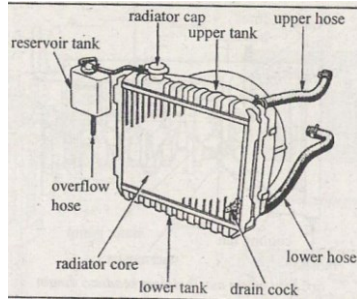
2. Tinjauan Pustaka

2.1. Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah perpindahan energi panas karena adanya perbedaan temperatur [3]. Ada tiga bentuk mekanisme perpindahan panas yang diketahui, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Konduksi merupakan perpindahan panas dari tempat yang bertemperatur tinggi ke tempat yang bertemperatur rendah di dalam medium yang bersinggungan langsung. Konveksi merupakan perpindahan panas yang terjadi dengan dua mekanisme. Selain perpindahan energi akibat pergerakan molekul, pada perpindahan panas konveksi energi juga berpindah akibat pergerakan molekul fluida yang besar. Sedangkan radiasi adalah pancaran energi dari sebuah materi yang bukan bersuhu nol melalui gelombang elektromagnetik.

2.2. Radiator

Radiator adalah sebuah alat penukar kalor kompak (*compact heat exchangers*) jenis *flat tube-louvered fin* yang digunakan untuk memindahkan energi panas dari satu medium ke medium lainnya untuk tujuan pendinginan. Sebagai alat penukar kalor, radiator akan bekerja dengan cara memindahkan panas akibat beda temperatur dari dua buah fluida yang berbeda yaitu air dan udara. Radiator pada umumnya lebih banyak digunakan pada dunia otomotif (mobil dan sepeda motor) sebagai alat untuk menjaga temperatur dari mesin kendaraan agar tetap berada pada temperatur kerja optimal [4].



Gambar 1. Radiator [4]

2.2. Analisa Perpindahan Panas pada Radiator

Berikut ini adalah persamaan-persamaan yang digunakan dalam analisa perpindahan panas pada radiator.

- Laju perpindahan panas sisi udara (q_c) [5]

$$q_c = \dot{m}_c c_{p,c} (T_{c,o} - T_{c,i}) \quad (1)$$

- Laju perpindahan panas sisi air (q_h) [5]

$$q_h = \dot{m}_h c_{p,h} (T_{c,o} - T_{c,i}) \quad (2)$$

- Penyimpangan kesetimbangan energi (%EB) [6]

$$\%EB = \left(1 - \frac{q_c}{q_h}\right) \times 100 \% \quad (3)$$

- Bilangan Nusselt sisi udara (Nu_c) [1]

$$Nu_c = Re_{Lp}^{0,51} Pr_c^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\theta}{90}\right)^{0,27} \left(\frac{F_p}{L_p}\right)^{-0,14} \left(\frac{F_l}{L_p}\right)^{-0,29} \left(\frac{T_d}{L_p}\right)^{-0,23} \left(\frac{L_l}{L_p}\right)^{0,68} \left(\frac{T_p}{L_p}\right)^{-0,28} \left(\frac{F_t}{L_p}\right)^{-0,05} \quad (4)$$

- Bilangan Nusselt sisi air (Nu_h) [7]

$$Nu_h = \frac{\left(\frac{f_i}{8}\right) (Re D_{ht} - 1000) Pr_h}{1 + 12,7 \sqrt{\left(\frac{f_i}{8}\right)} \left(Pr_h^{\frac{2}{3}} - 1\right) \left[1 + \left(\frac{D_{ht}}{L_t}\right)^{2/3}\right]} \quad (5)$$

- Koefisien perpindahan panas sisi udara (h_c) [6]

$$h_c = \frac{k_c \cdot Nu_c}{L_p} \quad (6)$$

- Koefisien perpindahan panas sisi air (h_h) [6]

(7)

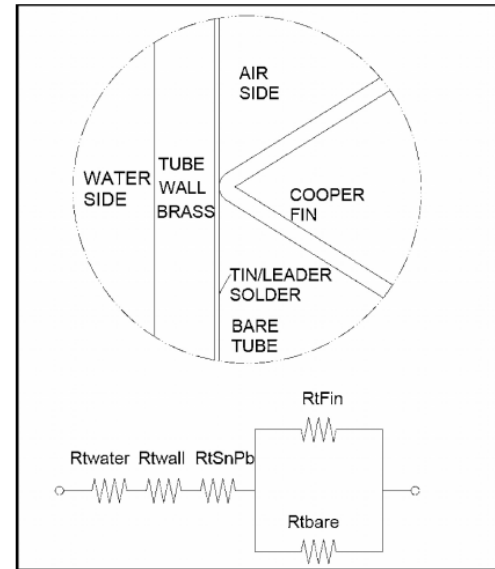
$$h_h = \frac{Nu_h \cdot k_h}{D_{ht}}$$

- Koefisien perpindahan menyeluruh (U) [6]

$$U = \frac{1}{R_{tot} \cdot A} \quad (8)$$

- Tahanan termal total (R_{tot}) [6]

$$R_{tot} = \frac{1}{h_h A_h} + R_{twall} + R_{tSnPb} + \left[\frac{1}{\left(\frac{1}{\eta_{o,c} h_c A_f}\right)} + \frac{1}{\left[\frac{1}{h_c (A_c - A_f)}\right]} \right] \quad (9)$$



Gambar 2. Rangkaian termal ekuivalen untuk pipa hingga ke susunan sirip [6]

Gambar 2 menunjukkan rangkaian tahanan termal yang ada pada alat penukar kalor kompak jenis radiator.

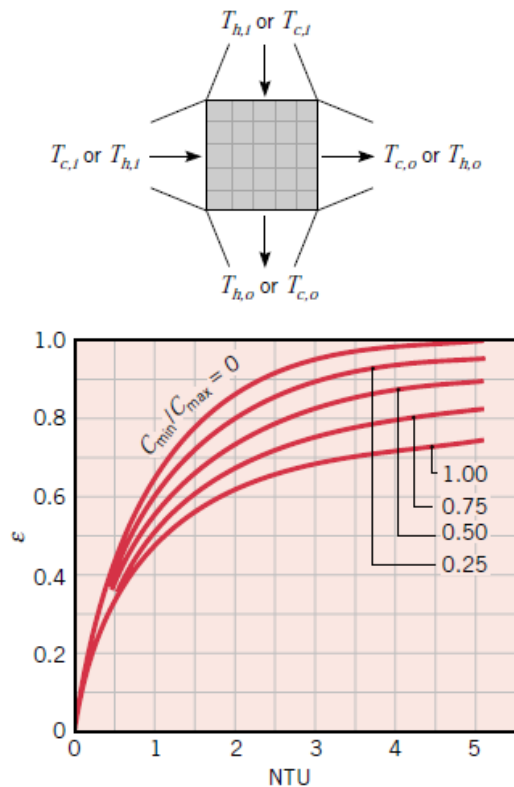
- Efektivitas radiator [3]

$$\varepsilon = \frac{C_c (T_{c,o} - T_{c,i})}{C_{min} (T_{h,i} - T_{c,i})} \quad (10)$$

- NTU [3]

$$NTU = \frac{UA}{C_{min}} \quad (11)$$

Gambar 3 berikut ini menunjukkan hubungan antara nilai NTU (*Number of Transfer Unit*) dengan efektivitas pada kasus alat penukar kalor jenis aliran menyilang satu laluan dengan kedua fluida tidak bercampur (*crossflow single pass with both fluid unmixed*).



Gambar 3. Efektivitas alat penukar kalor satu laluan, aliran menyilang dengan kedua fluida tidak bercampur [3]

3. Metodologi Penelitian

3.2. Langkah-langkah penelitian

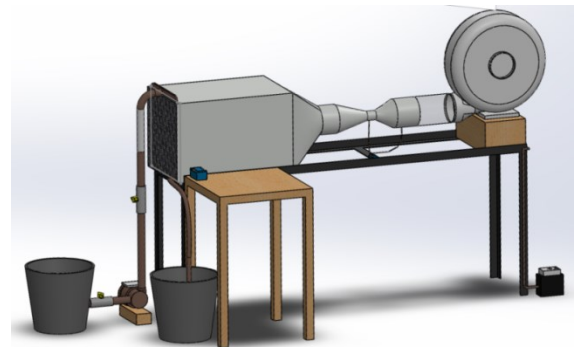
Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dan analisa teoritis. Secara eksperimental, radiator diuji pada sebuah

alat pengujian radiator yang dapat mengalirkan air panas ke radiator.

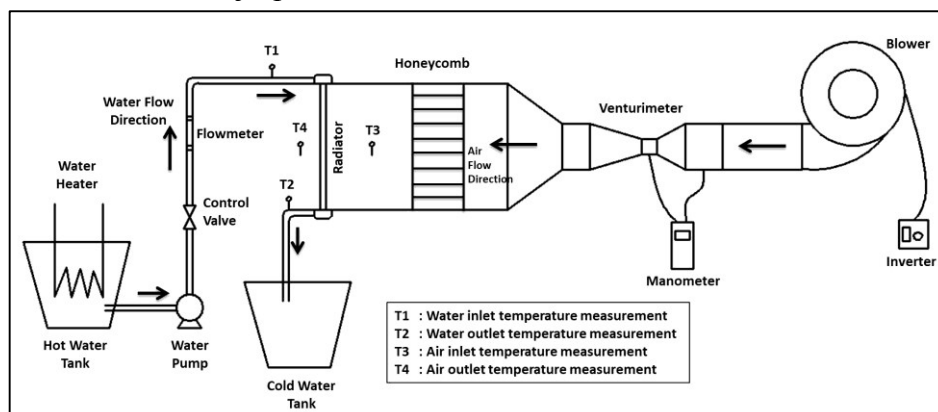
Pertama-tama air dipanaskan di dalam tangki menggunakan pemanas air listrik. Setelah air mencapai suhu 80 °C, pompa sirkulasi dihidupkan untuk mengalirkan air ke dalam radiator. Bersamaan dengan itu, blower juga dihidupkan untuk menghembuskan udara ke sirip-sirip radiator. Kemudian dilakukan pengukuran suhu pada *inlet* dan *outlet* sisi air dan udara menggunakan data akuisisi temperatur. Setelah itu, ulangi prosedur yang sama untuk variasi debit udara yang lain.

Debit udara yang mengarah ke radiator divariasikan hingga 7 variasi yaitu 0,0538 m³/s, 0,0657 m³/s, 0,0824 m³/s, 0,0987 m³/s, 0,1122 m³/s, 0,1281 m³/s dan 0,1463 m³/s. Sedangkan debit air masuk radiator dijaga konstan pada 10 lpm (0,000167 m³/s) dengan suhu 80 °C untuk semua kondisi pengujian. Skema pengujian dapat dilihat pada gambar 4.

Desain alat uji radiator secara CAD dan alat uji radiator dapat dilihat pada gambar 5. dan gambar 6.



Gambar 5. Desain alat uji radiator



Gambar 4. Skema pengujian



Gambar 6. Alat uji radiator

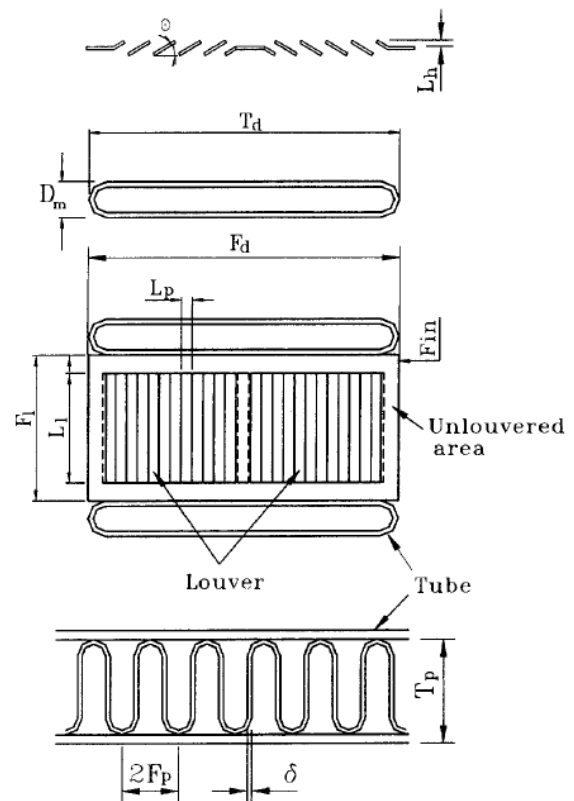
3.2. Spesifikasi radiator

Spesifikasi dari radiator yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

Tabel 1. Radiator spesifcation

Characterization	Symbol	Dimension
Radiator height	H	0,425 m
Radiator width	W	0,45 m
Radiator depth	D	0,01645 m
Number of tube row	-	1
Number of tube	N_t	46
Number of fin row	-	47
Number of fin per row	-	340
Total number of fin	N_f	15980
Tube outside diameter	$D_{m,o}$	0,0018 m
Tube inside diameter	$D_{m,i}$	0,001 m
Tube outside width	$T_{d,o}$	0,01645 m
Tube inside width	$T_{d,i}$	0,01565 m
Tube pitch	T_p	0,00925 m
Fin length	F_l	0,00745 m
Fin depth	F_d	0,01645 m
Fin pitch	F_p	0,00125 m
Fin thickness	F_t	0,0001 m
Louver length	L_l	0,00695 m
Louver height	L_h	0,0004 m
Louver pitch	L_p	0,0018 m
Louver angle	θ	20 degree
Tube material	-	Brass
Fin material	-	Copper

Gambar 7. Dimensi radiator [2]



Gambar 8. Dimensi inti radiator [1]

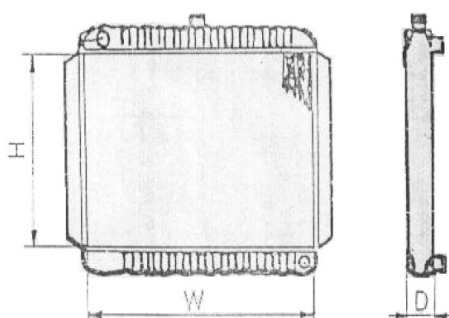
Radiator yang diuji pada penelitian ini adalah radiator yang digunakan pada mobil yang berkapasitas mesin 1300 cc. Radiator tersebut ditunjukkan pada gambar 9 berikut ini.



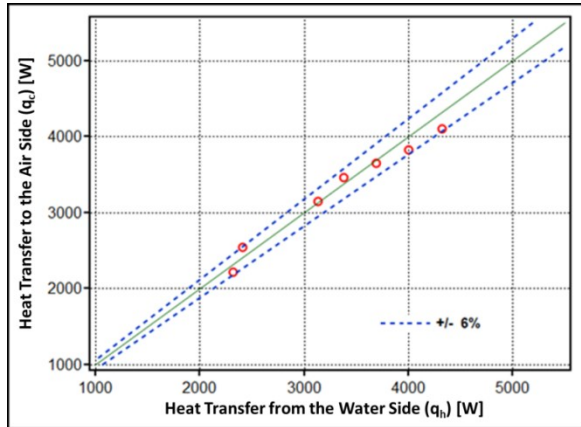
Gambar 9. Radiator yang diuji

4. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Data eksperimental yang diambil harus memenuhi kriteria kesetimbangan energi dimana besarnya perpindahan panas pada sisi udara dan air adalah sama. Dari pengolahan data seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, dapat ditunjukkan hubungan antara besarnya laju perpindahan panas pada



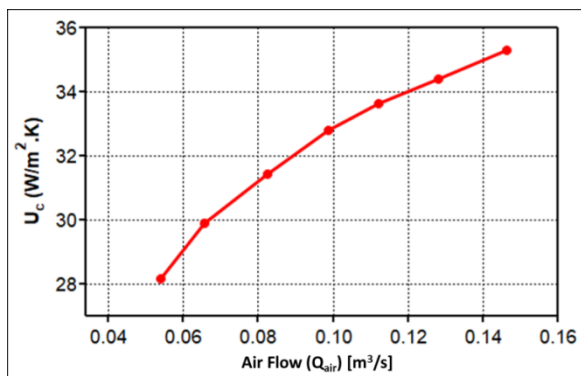
sisi air dan udara. Pada Gambar 10, dapat dilihat bahwa penyimpangan atau deviasi antara laju perpindahan panas pada sisi udara dan air tidak lebih dari 6 %. Hal ini menunjukkan pengambilan data eksperimental sudah cukup baik.



Gambar 10. Grafik perbandingan perpindahan panas pada sisi udara dan air (kesetimbangan energi)

Variasi debit udara yang mengarah ke inti radiator mempengaruhi koefisien perpindahan panas menyeluruh radiator (U_c dan U_h) dan efektivitas radiator. Koefisien perpindahan panas menyeluruh yang tinggi menunjukkan terjadinya proses perpindahan panas yang baik.

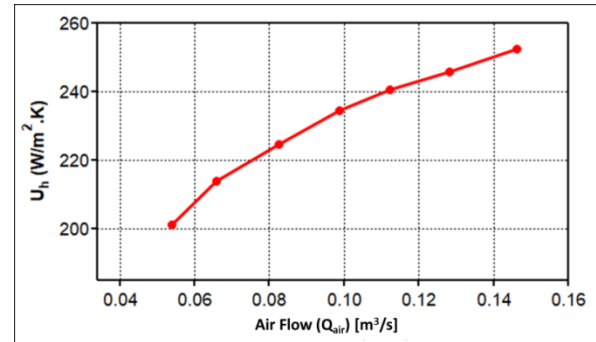
Pada Gambar 11 dapat dilihat bahwa koefisien perpindahan panas menyeluruh sisi udara tertinggi terjadi pada debit udara tertinggi yaitu $0,1463 \text{ m}^3/\text{s}$.



Gambar 11. Grafik hubungan debit udara terhadap koefisien perpindahan panas menyeluruh sisi udara

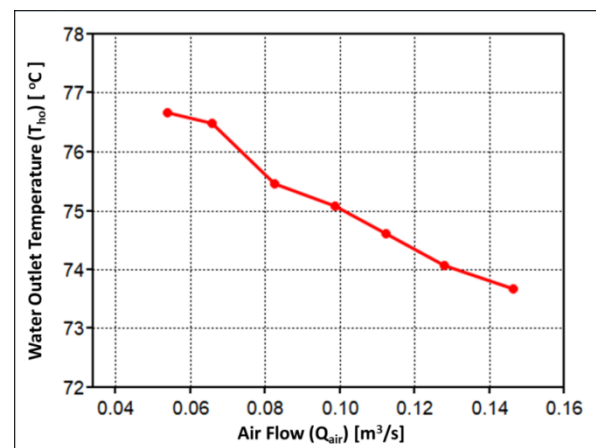
Grafik pada Gambar 12 menunjukkan hubungan antara debit udara menumbuk

radiator terhadap koefisien perpindahan panas menyeluruh sisi air. Sama halnya dengan perpindahan panas menyeluruh sisi udara, dari grafik dapat dilihat koefisien perpindahan panas menyeluruh sisi air terbesar terjadi pada kondisi debit udara yang terbesar juga yaitu $0,1463 \text{ m}^3/\text{s}$.



Gambar 12. Grafik hubungan debit udara terhadap koefisien perpindahan panas menyeluruh sisi air

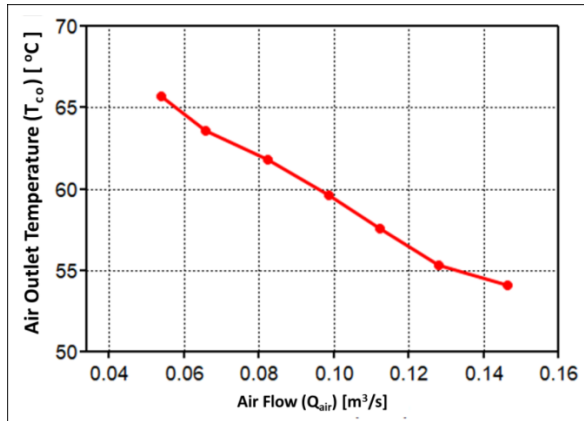
Grafik pada Gambar 13 menunjukkan hubungan antara debit udara yang menumbuk inti radiator terhadap temperatur air keluar yang melalui pipa radiator. Dari gambar dapat dilihat bahwa semakin tinggi debit udara maka semakin tinggi pula penurunan temperatur air tersebut atau dengan kata lain temperatur air keluar radiator semakin rendah, dan temperatur air keluar terendah terjadi pada kondisi debit udara terbesar yaitu $0,1463 \text{ m}^3/\text{s}$.



Gambar 13. Grafik hubungan debit udara terhadap temperatur air keluar

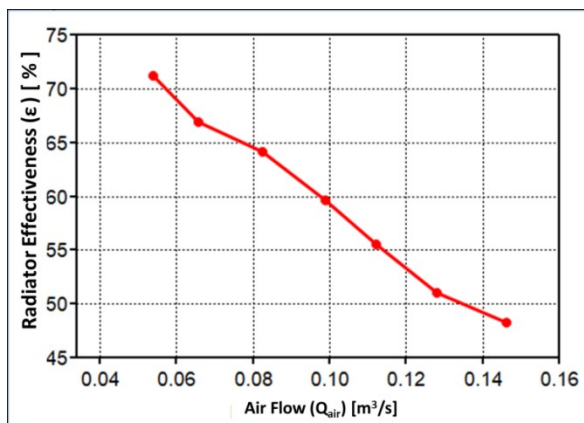
Grafik pada Gambar 14 menunjukkan hubungan antara debit udara yang menumbuk inti radiator terhadap temperatur udara keluar

yang melalui sirip radiator. Berbeda dengan temperatur air keluar, dari gambar dapat dilihat bahwa semakin tinggi debit udara maka semakin rendah pula kenaikan temperatur udara tersebut. Temperatur udara keluar tertinggi terjadi pada kondisi debit udara terkecil yaitu $0,0538 \text{ m}^3/\text{s}$.



Gambar 14. Grafik hubungan debit udara terhadap temperatur udara keluar

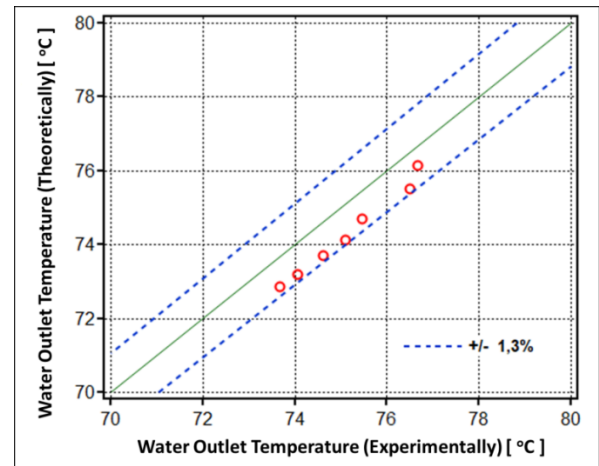
Pada Gambar 15, dapat dilihat grafik hubungan antara debit udara yang menumbuk inti radiator terhadap efektivitas radiator. Semakin tinggi debit udara yang menumbuk radiator mengakibatkan efektivitas radiator tersebut semakin rendah, sehingga nilai efektivitas tertinggi terjadi pada kondisi debit udara yang terkecil yaitu sebesar $0,0538 \text{ m}^3/\text{s}$.



Gambar 15. Grafik hubungan debit udara terhadap efektivitas radiator

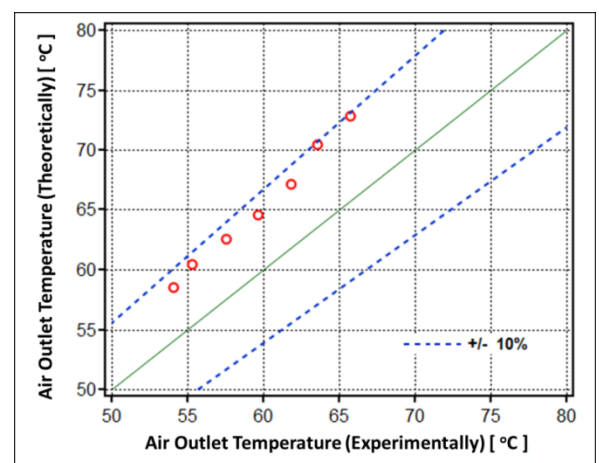
Dari grafik pada Gambar 16, dapat dilihat bahwa perbedaan atau penyimpangan antara besarnya temperatur air keluar teoritis dan eksperimental tidak lebih dari 1,3 %. Hal ini menunjukkan bahwa korelasi yang

digunakan pada perhitungan teoritis pada sisi fluida panas (air) sudah cukup baik dan menggambarkan secara tepat perpindahan panas yang terjadi secara eksperimental.



Gambar 16. Perbandingan temperatur air keluar teoritis dan eksperimental

Dari grafik pada Gambar 17, dapat dilihat bahwa perbedaan atau penyimpangan antara besarnya temperatur udara keluar teoritis dan eksperimental tidak lebih dari 10 %. walaupun penyimpangan yang terjadi lebih besar dari pada penyimpangan pada sisi air, namun nilainya masih dapat diterima. Hal ini menunjukkan bahwa korelasi yang digunakan pada perhitungan teoritis pada sisi fluida dingin (udara) juga sudah cukup baik dan menggambarkan secara tepat perpindahan panas yang terjadi secara eksperimental.



Gambar 17. Perbandingan temperatur udara keluar teoritis dan eksperimental

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan analisa yang telah dilakukan, maka kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Keseimbangan energi yang diperoleh pada pengujian radiator memiliki tingkat penyimpangan atau deviasi antara -5,45 % hingga 4,77 %. Hal ini menunjukkan bahwa metode pengujian radiator secara eksperimental yang digunakan sudah cukup baik.
2. Koefisien perpindahan panas menyeluruh terbesar terjadi pada kondisi debit udara yang mengarah ke inti radiator sebesar $0,1463 \text{ m}^3/\text{s}$, yaitu dengan koefisien perpindahan panas menyeluruh sisi udara $U_c = 35,30 \text{ W/m}^2.\text{K}$ dan koefisien perpindahan panas menyeluruh sisi air $U_h = 252,39 \text{ W/m}^2.\text{K}$.
3. Efektivitas radiator terbesar terjadi pada kondisi debit udara $0,0538 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan nilai efektivitas $\varepsilon = 71,25 \%$ dan efektivitas radiator terkecil terjadi pada kondisi debit udara $0,1463 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan nilai efektivitas $\varepsilon = 48,26 \%$.
4. Setelah dilakukan perhitungan teoritis, perbedaan atau penyimpangan temperatur air dan udara keluar radiator secara eksperimental dan teoritis adalah sebesar rata-rata 1,1 % untuk temperatur air keluar dan sebesar rata-rata 8,47 % untuk temperatur udara keluar. Hal ini menunjukkan korelasi yang baik antara perhitungan teoritis dengan hasil secara eksperimental.

5.2. Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Semua pengukuran disarankan menggunakan alat ukur yang mendukung mode akuisisi data
2. Melakukan pengujian dengan memvariasikan debit air dan udara sekaligus
3. Memodifikasi penampang radiator, baik sisi pipa ataupun sisi sirip

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chang, Y. J., & Wang, C. C. (1997). A generalized heat transfer correlation for louver fin geometry. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 40(3), 533-544
- [2] Ubaidillah, Asep. 2008. Analisa Perpindahan Kalor pada Pendingin Radiator dari Motor Bakar Otto [skripsi]. Jakarta (ID): Universitas Mercu Buana
- [3] Incropera, Frank P., dkk. 2007. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. Hoboken : John Wiley & Sons, Inc
- [4] Daryanto. 2009. *Dasar-Dasar Teknik Mobil*. Jakarta : PT Bumi Aksara
- [5] Thulukkanam, Kuppan. 2013. *Heat Exchanger Design Handbook Second Edition*. New York : CRC Press
- [6] Nascimento, I. P. & Garcia, E. C. (2016). Heat transfer performance enhancement in compact heat exchangers by using shallow square dimples in flat tubes. *Applied Thermal Engineering*, 96, 659-670
- [7] Gnielinski, V. (1976). New equations for heat and mass transfer in turbulent pipe and channel flow. *Int. Chem. Eng*, 16(2), 359-368