

**PENGARUH TEMPERATUR *COOLANT* TERHADAP UNJUK
KERJA PERPINDAHAN PANAS DAN PENURUNAN
TEKANAN RADIATOR OTOMOTIF**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar
Sarjana teknik



Oleh :

DIDIK EKO SANTOSO
NIM. I 1409014

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA**

2013

commit to user

**PENGARUH TEMPERATUR *COOLANT* TERHADAP UNJUK KERJA
PERPINDAHAN PANAS DAN PENURUNAN TEKANAN RADIATOR
OTOMOTIF**

Disusun oleh :



Didik Eko Santoso
NIM. 11409014

Dosen Pembimbing I



Wibawa Endra J, ST., MT.
NIP. 197009112000031001

Dosen Pembimbing II



Tri Istanto, ST., MT.
NIP. 197308202000121001

Telah dipertahankan di hadapan Tim Dosen Penguji pada hari Selasa tanggal
30 Juli 2013

1. Wibowo, ST., MT.
NIP. 196904251998021001

2. Ubaidillah, ST., M.Sc.
NIP. 198408252010121004



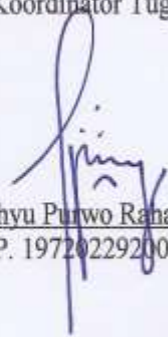
Mengetahui:

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Didik Djoko Susilo ST., MT.
NIP. 197008151997021001

Koordinator Tugas Akhir



Wahyu Purwo Raharjo, ST., MT.
NIP. 197202292000121001

MOTTO

“keep spirit for tommorow better”

(Penulis)

“Aja Adigang, Adigung, Adiguna, Sapa Sira Sapa Ingsun”

(Pepatah jawa)



“Isilah dirimu dengan ilmu, iman dan taqwa”

(Penulis)

“Sebaik-baiknya manusia adalah orang yang membaca Al-qur’an dan mengamalkannya”

(Al-Hadist)

“ Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kemampuannya”

(QS. Al Baqarah : 86)

commit to user

PERSEMBAHAN

Dengan segala kerendahan hati seraya mengucapkan syukur kehadiran Illahi, saya persembahkan tulisan ini kepada :

1. Allah SWT, pemilik segala keagungan, kemuliaan, kekuatan dan keperkasaan. Segala yang kualami adalah kehendak-Mu, semua yang kuhadapi adalah kemauan-Mu, segala puji hanya bagi-Mu, ya Allah, pengatur alam semesta, tempat bergantung segala sesuatu, tempatku memohon pertolongan.
2. Nabi besar Muhammad SAW, Manusia terbaik di muka bumi, uswatunhasanah, penyempurna akhlak, shollawat serta salam semoga selalu tercurah padanya, keluarga, sahabat dan pengikutnya yang istiqomah sampai akhir zaman.
3. Kasih sayang dan cinta yang tak pernah putus dari Bapak, Ibu, serta Adik tercinta. Kasih sayang kalian tak akan pernah kulupakan sepanjang hidupku.
4. Pak Tri Istanto dan Pak Wibawa yang selalu cerah ceria dan selalu membawa aura ketenangan dan tak pernah lelah untuk membimbing tugas akhir saya.

Seluruh dosen, karyawan dan mahasiswa Teknik Mesin UNS

PENGARUH TEMPERATUR *COOLANT* TERHADAP UNJUK KERJA PERPINDAHAN PANAS DAN PENURUNAN TEKANAN RADIATOR OTOMOTIF

Didik Eko Santoso

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik
Universitas Sebelas Maret, Surakarta
didik_209@yahoo.co.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menguji dan mengetahui pengaruh temperatur *coolant* masuk radiator terhadap karakteristik perpindahan panas dan penurunan tekanan pada radiator tipe *corrugated louvered fin with rectangular channel*. Penelitian ini menggunakan variasi temperatur *coolant* masuk radiator 60 °C, 70 °C, 80 °C, 90 °C. *Coolant* yang digunakan adalah air (water). Debit *coolant* divariasi 30 lpm, 35 lpm, 40 lpm dan 45 lpm. Kecepatan udara yang melintas radiator dijaga 2,5 m/s. Data yang diukur adalah nilai temperatur *coolant* masuk dan keluar radiator, temperatur udara masuk dan keluar *duct* serta beda ketinggian fluida manometer di sisi udara dan *coolant*. Hasil pengamatan digunakan untuk mengetahui karakteristik perpindahan panas dan penurunan tekanan pada radiator. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi temperatur *coolant* masuk radiator berpengaruh terhadap laju perpindahan panas, koefisien perpindahan panas konveksi sisi *coolant* dan penurunan tekanan sisi *coolant*. Variasi temperatur *coolant* masuk 90 °C dan debit 45 lpm menghasilkan nilai laju perpindahan panas dan koefisien perpindahan panas konveksi di sisi *coolant* terbesar, yaitu 23475 Watt dan 8263,75 W/m²°C. Nilai penurunan tekanan terkecil diperoleh dalam variasi temperatur *coolant* masuk 90 °C yaitu sebesar 22405,9 Pa.

Kata kunci: radiator, karakteristik perpindahan panas, temperatur *coolant*, penurunan tekanan

INFLUENCE COOLANT TEMPERATURE ON HEAT TRANSFER PERFORMANCE AND PRESSURE DROP AUTOMOTIVE RADIATOR

Didik Eko Santoso

Departement of Mechanical Engineering
Engineering Faculty of Sebelas Maret University
Surakarta, Indonesia
E-mail : didik_209@yahoo.co.id

The aims of the reasearch are to determine influence temperature coolant enter the radiator againt characteristic heat transfer and pressure drop on radiator type corrugated louvred fin with rectangular channel. The experiment varied of the temperature of the coolant in the radiator 60 °C, 70 °C, 80 °C, 90 °C. Coolant used is water. The coolant discharge varied 30 lpm, 35 lpm, 40 lpm dan 45 lpm. The speed of air through radiator 2,5 m/s. Data is value temperature measured coolant in and out, the radiator air temperature in and out duct and different elevations fluid manometer on the air and coolant. Used to know the result of observations characteristic heat transfer and pressure drop on a radiator. The result showed that variations in incoming radiator coolant temperature affects the heat transfer, convections heat transfer coefficient of the coolant and the coolant side pressure drop. In the incoming coolant temperature variation of 90°C and 45 lpm flow generating value and the rate of heat transfer convection heat transfer coefficient on the coolant side of the largest, as 23475 Watt and 8263,75 W/m²°C. Smallest pressure drop values obtained in the incoming coolant temperature variation of 90°C is equal to 22405,94 Pa.

Keywords: radiators, heat transfer characteristics, coolant temperature, pressure drop

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT karena berkat rahmat, taufik dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Adapun tujuan penulisan skripsi ini adalah untuk memenuhi sebagian persyaratan untuk mencapai gelar Sarjana Teknik di Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Penulis menyampaikan terima kasih yang mendalam kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penelitian dan penulisan skripsi ini, khususnya kepada :

1. Bapak Wibawa E.J, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing I yang dengan ikhlas dan sabar memberikan banyak bimbingan bantuan dalam penelitian dan penulisan skripsi ini.
2. Bapak Tri Istanto, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan banyak masukan dalam penelitian dan penulisan skripsi ini.
3. Kedua orang tua terutama ibu (Hj.Sri Sukanti) dan bapak (H.Samto), yang selalu mendoakan dan mengajarkan tentang tanggung jawab, adikku tercinta Wahyu Indah dan seluruh keluarga terima kasih atas do'a, kasih sayang, dan semangat yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
4. Adelia K yang telah memberikan motivasi, dukungan dan semangat yang besar hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih atas do'a dan perhatiannya.

Penulis menyadari bahwa dalam skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan. Adanya saran, koreksi dan kritik demi kesempurnaan skripsi ini, akan penulis terima dengan ikhlas dan dengan ucapan terima kasih.

Surakarta, Juli 2013

Penulis

commit to user

DAFTAR ISI

	Halaman
Lembar Pengesahan	iii
Motto	iv
Persembahan	v
Abstrak	vi
Kata Pengantar	viii
Daftar Isi	ix
Daftar Tabel	xi
Daftar Gambar	xii
Daftar Persamaan	xiv
Daftar Notasi	xvii
Daftar Lampiran	xx
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan dan Manfaat Penelitian	3
1.5. Sistematika Penulisan	4
BAB II LANDASAN TEORI	
2.1. Tinjauan Pustaka	5
2.2. Dasar Teori	7
2.2.1. Radiator sebagai penukar panas motor bakar.....	8
2.2.2. Konstruksi radiator.....	10
2.2.3. Fluida pendingin (<i>coolant</i>)	13
2.3.. Temperatur <i>coolant</i> terhadap unjuk kerja radiator	13
2.4. Perpindahan panas	13
2.5.. Parameter tanpa dimensi	15
2.6. Perhitungan pada radiator	17
2.6.1. Geometri radiator	17
2.6.2. Perhitungan luas perpindahan panas	18
2.6.3. Analisa perpindahan panas	19
2.6.3.1 Perhitungan laju perpindahan panas.....	19
2.6.3.2 Perhitungan bilangan Reynold dan Nusselt....	20
2.6.3.3 Perhitungan koefisien perpindahan panas	22
2.6.3.3.1. Perpindahan panas metode LMTD .	22
2.6.3.3.1. Perpindahan panas metode NTU	26
2.6.3.4. Perhitungan penurunan tekanan	28
2.6.3.4.1. Penurunan tekanan air	28
2.6.3.4.2. Penurunan tekanan udara.....	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Lokasi Penelitian	35
3.2. Bahan Penelitian	35
3.3. Alat Penelitian	35
3.4. Prosedur Penelitian <i>commit to user</i>	46

3.4.1. Tahap Persiapan	46
3.4.2. Tahap Pengujian	47
3.5. Metode analisis Data	48
3.6. Diagram Alir Penelitian	49
BAB IV DATA DAN ANALISIS	
4.1. Data hasil pengujian.....	50
4.2. Analisis data.....	51
4.2.1. Uji validitas penukar panas radiator sisi <i>coolant</i>	51
4.2.2. Pengaruh temperatur <i>coolant</i> terhadap karakteristik perpindahan panas	53
4.2.3. Pengaruh temperatur <i>coolant</i> masuk terhadap koefisien perpindahan panas konveksi (h_i)	56
4.2.4. Pengaruh temperatur <i>coolant</i> masuk terhadap koefisien perpindahan panas total UA	57
4.2.5. Pengaruh temperatur <i>coolant</i> masuk terhadap efektivitas radiator	59
4.2.6. Pengaruh temperatur <i>coolant</i> masuk radiator terhadap karakteristik penurunan tekanan	60
BAB V PENUTUP	
5.1. Kesimpulan	61
5.2. Saran	62
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN	64

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1. Spesifikasi radiator	40



commit to user

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Grafik hubungan Nu_i dengan Re_w	6
Gambar 2.2. Grafik hubungan temperatur coolant dengan Nu_i	6
Gambar 2.3. Susunan aliran <i>coolant</i> pada radiator (Toyota Astra, 2005).....	9
Gambar 2.4. Komponen radiator	11
Gambar 2.5. Tutup radiator	11
Gambar 2.6. <i>Fin</i> dan <i>Tube</i> Aluminium radiator	12
Gambar 2.7. <i>Louver fin with corrugated louver with rectangular channel</i> (Chang and Wang 1997)	13
Gambar 2.8. Ilustrasi jenis-jenis perpindahan panas (Incropera, 2006).	15
Gambar 2.9. Dimensi dasar pada radiator, (Johnson, dkk 2005)	18
Gambar 2.10. Grafik hubungan Nu_i dengan Re_w , (S.M. Peyghambarzadeh, dkk.2011).....	23
Gambar 2.11. Faktor koreksi LMTD, F , untuk penukar kalor aliran melintang dengan kedua fluida tidak bercampur, (Sadik Kakaç, 2002).....	24
Gambar 2.12. Analogi listrik untuk perpindahan panas pada radiator.....	25
Gambar 2.13. Pengukuran <i>pressure drop</i> pada radiator dengan menggunakan manometer (sisi air)	31
Gambar 2.14. Pengukuran tekanan udara masuk dan keluar dengan manometer (sisi udara)	33
Gambar 3.1. Gambar 3.1. Skema alat Unit <i>Stand Radiator Otomotif</i>	37
Gambar 3.2. Gambar 3D Unit <i>Stand Radiator Otomotif</i>	39
Gambar 3.3. Unit <i>Stand</i> radiator <i>Otomotif</i>	39
Gambar 3.4. Radiator Otomotif.....	40
Gambar 3.5. <i>Water pump Otomotif</i>	41
Gambar 3.6. <i>Thermocontrol</i>	42
Gambar 3.7. Pemanas air elektrik (<i>Electric Water Heater</i>)	42
Gambar 3.8. Termokopel tipe K.....	43
Gambar 3.9. Pemasangan termokopel tipe T pada pipa	43
Gambar 3.10. Inverter motor listrik 3 phase	44
Gambar 3.11. Rotameter	44
Gambar 3.12. Manometer udara.....	45
Gambar 3.13. Manometer sisi <i>coolant</i>	45
Gambar 3.14. Relay atau kontaktor.....	46
Gambar 4.1. Uji validitas $Re_{coolant}$ terhadap Nu_i pada temperatur <i>coolant</i> masuk $80^{\circ}C$	51
Gambar 4.2. Uji validitas Faktor Gesekan (f) terhadap Reynold <i>coolant</i>	52
Gambar 4.3. Grafik hubungan Temperatur <i>coolant</i> masuk $60^{\circ}C$ - $90^{\circ}C$ terhadap Laju perpindahan panas (Q)	53
Gambar 4.4. Grafik hubungan Re_w pada Temperatur <i>coolant</i> masuk $60^{\circ}C$ - $90^{\circ}C$ terhadap Nu_i	55
Gambar 4.5. Grafik hubungan temperatur <i>coolant</i> terhadap $h_i(W/m^2 \cdot ^{\circ}C)$	57
Gambar 4.6. Grafik hubungan temperatur <i>coolant</i> terhadap UA.....	58

Gambar 4.7. Grafik hubungan temperatur <i>coolant</i> terhadap efektivitas.	59
Gambar 4.8. Grafik hubungan temperatur <i>coolant</i> terhadap penurunan tekanan.....	61



commit to user

DAFTAR PERSAMAAN

		Halaman
Persamaan (2.1)	Rumus dasar perpindahan panas secara konduksi.....	14
Persamaan (2.2)	Persamaan dasar perpindahan panas konveksi.....	15
Persamaan (2.3)	Rumus perpindahan panas radiasi	15
Persamaan (2.4)	Bilangan reynolds.....	16
Persamaan (2.5)	Bilangan Prandtl.....	16
Persamaan (2.6)	Bilangan Nusselt.....	16
Persamaan (2.7)	Panjang sirip	19
Persamaan (2.8)	Luas frontal inti radiator	19
Persamaan (2.9)	Luas frontal <i>tube</i> radiator	19
Persamaan (2.10)	Luas perpindahan panas frontal sirip	19
Persamaan (2.11)	Luas perpindahan panas pada sirip	19
Persamaan (2.12)	Luas perpindahan panas pada pipa coolant sisi dinding luar tanpa sirip	19
Persamaan (2.13)	Luas perpindahan panas total pada sisi udara	19
Persamaan (2.14)	Keliling penampang pipa coolant sisi dinding dalam	19
Persamaan (2.15)	Luas perpindahan panas total pada sisi <i>coolant</i>	19
Persamaan (2.16)	Luas laluan udara total	20
Persamaan (2.17)	Luas penampang pipa <i>coolant</i> sisi dinding dalam.....	20
Persamaan (2.18)	Luas laluan <i>coolant</i> total	20
Persamaan (2.19)	Laju perpindahan panas di sisi <i>coolant</i>	20
Persamaan (2.20)	Laju perpindahan panas di sisi udara	20
Persamaan (2.21)	Temperatur <i>bulk coolant</i>	20
Persamaan (2.22)	Temperatur <i>bulk</i> udara.....	20
Persamaan (2.23)	Laju perpindahan panas sisi <i>coolant</i> di pipa radiator .	20
Persamaan (2.24)	Laju perpindahan panas sisi udara di pipa radiator	21
Persamaan (2.25)	Perhitungan bilangan reynolds	21
Persamaan (2.26)	Diameter hidrolis	21
Persamaan (2.27)	Kecepatan <i>coolant</i> di dalam pipa <i>coolant</i> (V_c).....	21
Persamaan (2.28)	Bilangan Nusselt aktual rata-rata	21
Persamaan (2.29)	Nusselt korelasi <i>Dittus- Boelter</i>	21
Persamaan (2.31)	Nusselt korelasi <i>Gnielinski</i>	22
Persamaan (2.32)	Persamaan <i>Gnielinski</i>	21
Persamaan (2.33)	Laju perpindahan panas <i>coolant</i>	23
Persamaan (2.34)	Laju perpindahan panas udara.....	23
Persamaan (2.35)	Faktor koreksi.....	23
Persamaan (2.36)	Rumus Nilai ΔT_{LMTD}	24
Persamaan (2.37)	Nilai ΔT_1	24
Persamaan (2.38)	Nilai ΔT_2	24
Persamaan (2.39)	Tahanan termal total radiator	25
Persamaan (2.40)	Tahanan termal total radiator	25
Persamaan (2.41)	Perhitungan koefisien perpindahan panas total (U) ...	25
Persamaan (2.42)	Perhitungan koefisien perpindahan panas total (U) ...	25
Persamaan (2.43)	Perhitungan koefisien perpindahan panas total (U) ...	25
Persamaan (2.44)	Koefisien perpindahan panas konveksi rata-rata di sisi <i>coolant</i> <i>commit to user</i>	26

Persamaan (2.45)	Penjabaran persamaan (2.44)	26
Persamaan (2.46)	Koefisien perpindahan panas <i>overall</i> di sisi <i>coolant</i> ..	26
Persamaan (2.47)	Koefisien perpindahan panas konveksi rata-rata di sisi <i>coolant</i>	26
Persamaan (2.48)	Efisiensi permukaan	26
Persamaan (2.49)	Luasan perpindahan panas total di sisi udara	26
Persamaan (2.50)	Efisiensi sirip	27
Persamaan (2.51)	Penjabaran rumus (2.50)	27
Persamaan (2.52)	Laju perpindahan panas udara	27
Persamaan (2.53)	Bilangan Nusselt rata-rata di sisi udara	27
Persamaan (2.54)	Diameter hidrolis yang terbentuk pada sirip	27
Persamaan (2.55)	Bilangan Reynolds pada sisi udara	27
Persamaan (2.56)	Laju kapasitas panas di sisi <i>coolant</i>	28
Persamaan (2.57)	Laju kapasitas panas di sisi udara	28
Persamaan (2.58)	Laju perpindahan panas di sisi <i>coolant</i>	28
Persamaan (2.59)	Laju perpindahan panas di sisi udara	28
Persamaan (2.60)	Efektivitas radiator (ϵ)	28
Persamaan (2.61)	Beda temperatur maksimal penukar kalor	28
Persamaan (2.62)	Laju perpindahan panas maksimum yang mungkin ...	28
Persamaan (2.63)	Nilai laju kapasitas panas yang lebih kecil	28
Persamaan (2.64)	Nilai laju kapasitas panas yang lebih kecil	28
Persamaan (2.65)	Efektivitas radiator (ϵ)	29
Persamaan (2.66)	Efektivitas radiator (ϵ)	29
Persamaan (2.67)	Laju perpindahan panas rata-rata (Q_{ave})	29
Persamaan (2.68)	Nilai NTU	29
Persamaan (2.69)	Faktor gesekan Darcy	29
Persamaan (2.70)	Faktor gesekan aliran laminar	29
Persamaan (2.71)	Faktor gesekan aliran transisi	30
Persamaan (2.72)	Faktor gesekan turbulen	30
Persamaan (2.73)	f untuk aliran turbulen	30
Persamaan (2.74)	Faktor gesekan	30
Persamaan (2.75)	Penurunan tekanan terhadap jarak	30
Persamaan (2.76)	<i>Head loss</i>	30
Persamaan (2.77)	Persamaan energi untuk aliran tunak tak mampu mampat	31
Persamaan (2.78)	<i>Head loss</i>	31
Persamaan (2.79)	<i>Head loss</i>	31
Persamaan (2.80)	Faktor gesekan	31
Persamaan (2.81)	Faktor gesekan	31
Persamaan (2.82)	Penurunan tekanan / <i>pressure drop</i>	31
Persamaan (2.83)	Penurunan tekanan / <i>pressure drop</i>	31
Persamaan (2.84)	Penurunan tekanan / <i>pressure drop</i>	32
Persamaan (2.85)	Berat jenis fluida manometer	32
Persamaan (2.86)	Faktor gesekan	32
Persamaan (2.87)	Faktor gesekan	32
Persamaan (2.88)	Persamaan gas ideal	32
Persamaan (2.89)	Perbedaan tinggi cairan manometer, udara masuk <i>duct</i>	33

Persamaan (2.90) Perbedaan tinggi cairan manometer, udara keluar <i>duct</i>	33
Persamaan (2.91) Perbedaan tinggi vertical cairan manometer, udara masuk <i>duct</i>	33
Persamaan (2.92) perbedaan tinggi vertical cairan manometer, udara keluar <i>duct</i>	33
Persamaan (2.93) Penurunan tekanan / <i>pressure drop</i>	34
Persamaan (2.94) Penurunan tekanan / <i>pressure drop</i>	34
Persamaan (2.95) Berat jenis fluida manometer	34
Persamaan (2.96) Beda tekanan di sisi udara	34
Persamaan (2.97) Tekanan udara masuk <i>duct</i>	34
Persamaan (2.98) Tekanan udara keluar <i>duct</i>	34
Persamaan (2.99) Beda tekanan di sisi udara.....	34
Persamaan (2.100) Beda tekanan di sisi udara.....	34



DAFTAR NOTASI

θ	= sudut kemiringan manometer = 15°
γ_w	= berat jenis coolant dalam radiator ($\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^2)$)
γ_m	= berat jenis fluida (mercury) dalam manometer ($\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^2)$)
η	= efisiensi sirip radiator
δ	= ketebalan pipa radiator (m)
ρ_a	= massa jenis udara (kg/m^3)
ρ_c	= densitas coolant (kg/m^3)
η_o	= efisiensi permukaan
$\Delta T_{\text{LMTD,cf}}$	= beda temperatur logaritmis ($^\circ\text{C}$)
\dot{V}_w	= debit coolant masuk radiator (m^3/s)
\dot{m}_a	= laju aliran massa udara = $\rho_a \cdot V_a \cdot A_d$ (kg/s)
\dot{m}_c	= laju aliran massa coolant = $\rho_c \cdot Q$ (kg/s)
α_f	= sudut sirip
ρ_c	= massa jenis aliran coolant dalam radiator (kg/m^3)
ρ_m	= massa jenis fluida (mercury) dalam manometer (kg/m^3)
Δh	= beda ketinggian fluida dalam manometer (m)
ΔH_1	= perbedaan tinggi vertical cairan manometer, udara masuk duct (m)
ΔH_2	= perbedaan tinggi vertical cairan manometer, udara keluar duct (m)
ΔL_1	= perbedaan tinggi cairan manometer, udara masuk duct (m)
ΔL_2	= perbedaan tinggi cairan manometer, udara keluar duct (m)
ΔP	= penurunan tekanan udara pada radiator (Pa)
ΔT	= beda temperatur ($^\circ\text{C}$)
Δz	= perubahan elevasi (m)
μ_a	= densitas dinamik udara ($\text{kg}/\text{m} \cdot \text{s}$)
μ_c	= viskositas dinamik coolant ($\text{kg}/\text{m} \cdot \text{s}$)
α_f	= sudut sirip ($^\circ$)
ε	= emisivitas permukaan benda (0 s.d. 1)
μ	= viskositas <i>coolant</i> ($\text{kg}/\text{m} \cdot \text{s}$)
μ_s	= viskositas <i>coolant</i> berdasarkan suhu dinding tube ($\text{kg}/\text{m} \cdot \text{s}$)
ρ	= massa jenis udara (kg/m^3)
ρ_1	= massa jenis udara masuk duct (kg/m^3)
ρ_2	= massa jenis udara keluar duct (kg/m^3)
σ	= konstanta Stefan Boltzmann ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^4$)
γ	= berat jenis udara ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^2$)
A	= luas perpindahan panas (m^2)
A_b	= luas perpindahan panas pada pipa tanpa sirip (m^2)
A_c	= luas penampang melintang aliran (m^2)
A_d	= luas penampang saluran (duct) (m^2)
A_f	= luas permukaan sirip (m^2)
$A_{\text{fr,f}}$	= luas perpindahan panas frontal sirip (m^2)
$A_{\text{fr,r}}$	= luas frontal inti radiator (m^2)
$A_{\text{fr,t}}$	= luas frontal tube radiator (m^2)
A_i	= luas permukaan dalam pipa radiator (m^2)
A_o	= luas perpindahan panas total pada sisi udara (m^2)
A_p	= luas penampang pipa coolant sisi dinding dalam (m^2)

$A_{p,a}$	= luas laluan udara total (m^2)
$A_{p,c}$	= luas laluan coolant total (m^2)
A_t	= luas permukaan rata-rata dinding pipa (m^2)
B_H	= tinggi inti (Core height)
B_T	= ketebalan inti (m)
B_W	= lebar inti (Core width)
$C_{p,a}$	= panas jenis udara ($J/kg \cdot ^\circ C$)
$C_{p,c}$	= panas jenis coolant ($J/kg \cdot ^\circ C$)
D	= diameter dalam pipa (m)
D_h	= diameter hidrolik pipa (m)
$D_{h,a}$	= diameter hidrolik yang terbentuk pada sirip (m)
$D_{h,i}$	= diameter hidrolik pipa radiator (m)
e	= kekasaran absolut (m)
e/D	= kekasaran relatif
f	= faktor gesekan aliran
F	= faktor koreksi
F_1	= panjang sirip (m)
F_d	= fin depth (m)
F_h	= tinggi sirip (m)
F_l	= panjang sirip (m)
F_p	= pitch sirip
F_t	= ketebalan sirip (m)
g	= percepatan gravitasi = $9,8 (m/s^2)$
h	= koefisien perpindahan panas konveksi ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
H_0	= ketinggian cairan manometer sebelum dialiri udara (m)
H_1	= ketinggian cairan manometer setelah dialiri udara (katup A buka) (m)
H_2	= ketinggian cairan manometer setelah dialiri udara (katup B buka) (m)
h_c	= koefisien perpindahan panas konveksi di sisi coolant ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
h_f	= head loss berdasarkan faktor gesekan (m)
h_i	= koefisien perpindahan panas konveksi rata-rata di sisi coolant ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
h_o	= koefisien perpindahan panas konveksi rata-rata di sisi udara ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
k	= konduktivitas panas ($W/m \cdot ^\circ C$)
k_a	= konduktivitas termal udara ($W/m \cdot ^\circ C$)
k_f	= konduktivitas termal material sirip ($W/m \cdot ^\circ C$)
k_t	= konduktivitas termal dinding pipa ($W/m \cdot ^\circ C$)
k_w	= konduktivitas termal coolant di pipa radiator ($W/m \cdot ^\circ C$)
l	= panjang pengukuran pressure drop (m)
l	= panjang sirip (m)
L	= panjang tube (m)
L_1	= panjang louvred
L_p	= louvre pitch
N_{ct}	= jumlah pipa coolant dalam satu baris
N_f	= jumlah sirip per meter
$N_{f(\text{per meter})}$	= jumlah sirip per meter
N_p	= jumlah profil
N_r	= jumlah baris dari pipa dalam dimensi kedalaman inti
Nu	= bilangan Nusselt
Nu_i	= bilangan Nusselt rata-rata di pipa radiator

Nu_o	= bilangan Nusselt rata-rata di sisi udara
p	= keliling terbasahi (wetted perimeter) (m)
P_1	= tekanan udara masuk duct (Pa)
P_2	= tekanan absolut udara keluar duct (Pa)
P_{atm}	= tekanan atmosfer = 101325 (Pa)
Pr	= bilangan Prandtl
Q	= debit coolant di pipa radiator (m^3/s)
Q	= laju perpindahan panas (Watt)
Q_a	= laju perpindahan panas di sisi udara (W)
Q_{ave}	= laju perpindahan panas rata-rata (W)
Q_c	= laju perpindahan panas di sisi pipa radiator (W)
Re	= bilangan Reynolds
Re_a	= bilangan Reynolds aliran udara
Re_c	= bilangan Reynolds aliran coolant di pipa radiator
R_f	= radius ujung sirip
$R_{f,i}$	= faktor pengotoran (fouling faktor) di sisi coolant
$R_{f,o}$	= faktor pengotoran (fouling faktor) di sisi udara
R_t	= radius ujung pipa coolant (m)
SG_m	= specific gravity mercury di dalam manometer = 13.56
T	= temperatur (K)
T_∞	= temperatur fluida ($^{\circ}C$)
T_1	= temperatur absolut udara masuk duct (K)
T_2	= temperatur absolut keluar masuk duct (K)
$T_{a,i}$	= temperatur udara masuk saluran ($^{\circ}C$)
$T_{a,o}$	= temperatur udara keluar saluran ($^{\circ}C$)
$T_{b,a}$	= temperatur bulk udara ($^{\circ}C$)
$T_{b,c}$	= temperatur bulk coolant ($^{\circ}C$)
$T_{c,i}$	= temperatur coolant masuk pipa radiator ($^{\circ}C$)
$T_{c,o}$	= temperatur coolant keluar pipa radiator ($^{\circ}C$)
T_w	= temperatur rata-rata dinding luar pipa radiator = $\frac{\sum T_{w,i}}{n}$ ($^{\circ}C$)
T_w	= temperatur permukaan benda ($^{\circ}C$)
$T_{w,out}$	= temperatur dinding luar pipa radiator = $\frac{\sum T_w}{n}$ ($^{\circ}C$)
U_i	= koefisien perpindahan panas menyeluruh di sisi coolant ($W/m^2.C$)
U_o	= koefisien perpindahan panas menyeluruh di sisi udara ($W/m^2.C$)
V	= kecepatan aliran fluida dalam pipa (m/s)
V_a	= kecepatan rata-rata udara yang masuk ke radiator (m/s)
V_c	= kecepatan coolant di pipa coolant (m/s)
x	= ketebalan bahan (m)
Y_{cl}	= panjang penampang pipa coolant (m)
Y_{ct}	= panjang penampang tube (m)
Y_{cw}	= lebar penampang pipa coolant (m)
Y_l	= panjang pipa coolant (m)
Y_p	= pitch pipa coolant
Y_t	= ketebalan pipa coolant (m)

commit to user

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Gambar komponen alat seksi uji	64
Lampiran 2. Data hasil pengujian	65
Lampiran 3. Contoh perhitungan untuk data pengujian dengan temperatur <i>coolant</i> masuk radiator 80 ⁰ C laju aliran volumetrik 30 lpm..	83
Lampiran 4. Hasil perhitungan penukar kalor radiator pada variasi temperatur <i>coolant</i> masuk radiator 60 ⁰ C, 70 ⁰ C, 80 ⁰ C, 90 ⁰ C.	92
Lampiran 5. Tabel <i>Properties</i>	96

