

**PENGARUH VARIASI LUAS *TURBULATOR* TERHADAP  
LAJU PERPINDAHAN PANAS DAN *PRESSURE DROP* PADA  
*HEAT EXCHANGER***

**SKRIPSI**  
**Konsentrasi Konversi Energi**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**Disusun Oleh:**

**Miftah Wahyu S**  
**NIM.0610620072-62**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN**  
**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**MALANG**  
**2012**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**PENGARUH VARIASI LUAS *TURBULATOR* TERHADAP LAJU  
PERPINDAHAN PANAS DAN *PRESSURE DROP* PADA  
*HEAT EXCHANGER***

**SKRIPSI  
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

**MIFTAH WAHYU SAPUTRA**

**NIM : 0610620072-62**

Telah Diperiksa dan Disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

**Ir. Ari Wahjudi, MT.**

**NIP. 19680324 199412 1 001**

**Ir. Agustinus Ariseno, MT.**

**NIP. 19510822 198701 1 001**

## PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT Yang Maha Rahman dan Kuasa yang atas berkat kemurahan dan karunia-Nya lah sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Shalawat dan salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang ketauladanannya menjadi inspirasi bagi penulis agar selalu memberikan yang terbaik dalam segala aktivitas termasuk dalam penyelesaian karya tulis ilmiah ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak dapat terselesaikan dengan baik tanpa bantuan, petunjuk, dan bimbingan dari berbagai pihak yang telah banyak membantu proses penyelesaian skripsi ini, oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terimakasih yang sangat mendalam kepada :

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi,ST.,MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Bapak Dr.Eng.Anindito Purnowidodo,ST.,M.Eng. Selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Bapak Ir.Ari Wahjudi, MT. dan Ir. Agustinus Ariseno, MT. Selaku Dosen Pembimbing I dan II yang telah banyak memberikan keluangan waktu, fikiran, dan tenaga untuk membimbing dan berdiskusi dengan penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
4. Bapak Dr.Eng.Denny Widhiyanuriyawan,ST.,MT. Selaku Ketua Kelompok Dosen Konsentrasi Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan saran dalam pemilihan judul skripsi penulis.
5. Seluruh Staf Administrasi Jurusan Teknik Mesin serta Fakultas Teknik Universitas Brawijaya atas bantuan dan kelancaran dalam hal administrasi dan surat menyurat.
6. Ayah dan Ibunda tercinta penulis Sadar Wahjudi dan Suparmiati yang selalu tulus mendo'akan dan menguatkan penulis selama ini, khususnya saat penyusunan skripsi.
7. Rekan-rekan Seleksi Alih Program (SAP) 2009 yakni Choirul, Henry, Dicky, Agus, Subhaan, Rendy, Bagus, Saiful, Yudik, Nanda, dan Adi yang telah banyak membantu penulis dalam melakukan penelitian dan memberikan masukan terhadap metode penelitian skripsi penulis.

8. Rekan-rekan seperjuangan Mesin 2006 yang telah banyak memberikan motivasi dan saran untuk perbaikan skripsi penulis.
9. Rekan-rekan asisten Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem yang selalu memberikan dukungan dalam penyelesaian skripsi.
10. Semua pihak yang telah banyak membantu penulis selama ini, yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa isi dari skripsi ini masih jauh dari yang diharapkan karena keterbatasan disiplin ilmu yang dikuasai oleh penulis, oleh karena itu kritik serta saran yang konstruktif sangat diharapkan bagi penulis untuk perbaikan skripsi ini sehingga akan jauh lebih bermanfaat bagi pembaca dan pihak-pihak terkait. Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak.

Malang, 18 Januari 2012

Penulis



## DAFTAR ISI

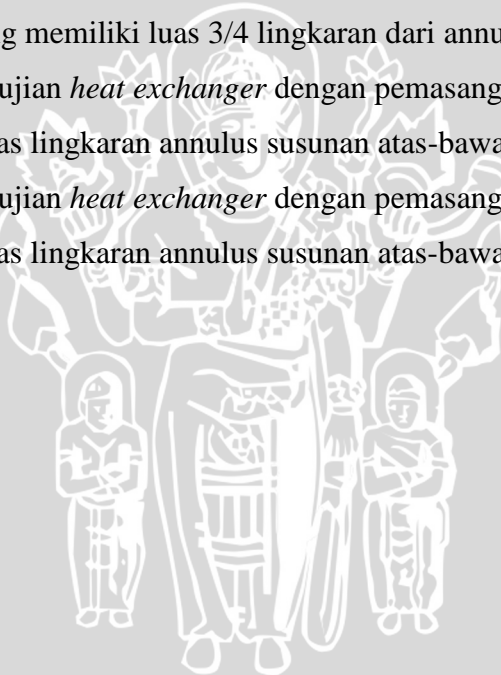
	halaman
<b>PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	viii
<b>DAFTAR SIMBOL</b> .....	xi
<b>RINGKASAN</b> .....	xiis
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Penelitian Sebelumnya .....	5
2.2 Energi Panas .....	5
2.3 Perpindahan Panas .....	6
2.3.1 Perpindahan panas konduksi .....	6
2.3.2 Perpindahan panas konveksi .....	7
2.3.3 Konveksi paksa dalam pipa .....	8
2.3.4 Angka Prandtl (Pr) .....	12
2.3.5 Angka Nusselt (Nu) .....	13
2.3.6 Angka Reynold (Re) .....	15
2.4 Analisa Aliran .....	16
2.4.1 Aliran laminar .....	16
2.4.2 Aliran tubulen .....	16
2.4.3 <i>Vortex</i> .....	17
2.5 <i>Heat Exchanger</i> .....	19
2.6 Proses Perpindahan Panas Pada <i>Heat Exchanger</i> Susunan	
Pipa Ganda .....	21
2.6.1 Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh .....	21

2.6.2 Log Mean Temperature Difference (LMTD) .....	23
2.7 Pressure Drop.....	25
2.8 Turbulator .....	26
2.9 Hipotesis .....	27
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>28</b>
3.1 Metode Penelitian .....	28
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian .....	28
3.3 Variabel Penelitian .....	28
3.4 Peralatan Penelitian .....	29
3.5 Skema dan Instalasi Penelitian .....	33
3.6 Prosedur Penelitian .....	34
3.7 Rancangan Penelitian .....	34
3.7.1 Rencana pengambilan data .....	34
3.7.2 Pembuatan grafik .....	35
3.8 Diagram Alir Penelitian .....	37
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>38</b>
4.1 Analisa Data .....	38
4.1.1 Data hasil pengujian .....	38
4.1.2 Contoh perhitungan .....	39
4.2 Pembahasan Grafik .....	45
4.2.1 Grafik pengaruh debit fluida dingin terhadap laju perpindahan panas pada tiap variasi luas <i>turbulator</i> .....	47
4.2.2 Grafik pengaruh debit fluida dingin terhadap laju perpindahan pada variasi susunan <i>turbulator</i> .....	49
4.2.3 Grafik pengaruh debit fluida dingin terhadap <i>pressure</i> <i>drop</i> pada variasi luas <i>turbulator</i> .....	51
4.2.4 Grafik pengaruh debit fluida dingin terhadap <i>pressure</i> <i>drop</i> pada variasi susunan <i>turbulator</i> .....	52
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>54</b>
5.1 Kesimpulan .....	54
5.2 Saran .....	54
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	



**DAFTAR TABEL**

No.	Judul	Halaman
Tabel 3.1	Data pengujian <i>counter flow heat exchanger</i> susunan pipa ganda dengan pemasangan <i>turbulator</i> yang divariasikan .....	35
Tabel 4.1	Data hasil pengujian <i>heat exchanger</i> tanpa pemasangan <i>turbulator</i> ... ..	38
Tabel 4.2	Data hasil pengujian <i>heat exchanger</i> dengan pemasangan <i>turbulator</i> yang memiliki luas 1/4 lingkaran dari annulus .....	38
Tabel 4.3	Data hasil pengujian <i>heat exchanger</i> dengan pemasangan <i>turbulator</i> yang memiliki luas 1/2 lingkaran dari annulus .....	38
Tabel 4.4	Data hasil pengujian <i>heat exchanger</i> dengan pemasangan <i>turbulator</i> yang memiliki luas 3/4 lingkaran dari annulus .....	39
Tabel 4.5	Data hasil pengujian <i>heat exchanger</i> dengan pemasangan <i>turbulator</i> 1/4 luas lingkaran annulus susunan atas-bawah .....	39
Tabel 4.6	Data hasil pengujian <i>heat exchanger</i> dengan pemasangan <i>turbulator</i> 3/4 luas lingkaran annulus susunan atas-bawah .....	39



## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Energi yang ditransfer ke aliran fluida pada control Volume.....	6
Gambar 2.2	Perpindahan panas konduksi melalui sebuah dinding dengan ketebalan $\Delta x$ dan luas penampang A.....	7
Gambar 2.3	Perpindahan panas konveksi pada permukaan plat (a) konveksi bebas dan (b) konveksi paksa.....	8
Gambar 2.4	Profil kecepatan fluida .....	9
Gambar 2.5	Temperatur rata-rata aliran fluida yang mengalir dalam pipa .....	10
Gambar 2.6	Proses berkembangnya lapisan batas hidrodinamik .....	11
Gambar 2.7	Proses berkembangnya lapisan batas termal.....	12
Gambar 2.8	Perpindahan panas melalui lapisan fluida.....	14
Gambar 2.9	Sketsa Reynold tentang aliran di dalam pipa: (a) aliran laminer, (b) aliran turbulen.....	17
Gambar 2.10	Geometri <i>vortex</i> tiga dimensi menurut bilangan Reynold...	18
Gambar 2.11	<i>Vortex</i> pada visualisasi dua dimensi .....	18
Gambar 2.12	<i>Counter flow heat exchanger</i> susunan pipa ganda .....	19
Gambar 2.13	Profil temperature heat exchanger aliran searah dan berlawanan arah .....	21
Gambar 2.14	Jaringan thermal dan analogi listrik pada <i>heat exchanger</i> ....	22
Gambar 2.15	Profil temperature pada <i>heat exchanger</i> aliran searah .....	24
Gambar 2.16	Profil <i>turbulator</i> yang akan digunakan (a) <i>turbulator</i> $\frac{1}{4}$ lingkaran; (b) <i>turbulator</i> $\frac{1}{2}$ lingkaran (c) <i>turbulator</i> $\frac{3}{4}$ lingkaran .....	27
Gambar 3.1	Bentuk dan susunan <i>turbulator</i> yang akan dipakai pada penelitian (a) dan (b) untuk <i>turbulator</i> $\frac{1}{4}$ lingkaran (c) dan (d) untuk <i>turbulator</i> $\frac{3}{4}$ lingkaran dan (e) untuk $\frac{1}{2}$ lingkaran .....	30
Gambar 3.2	Skema instalasi peralatan penelitian .....	33
Gambar 3.3	Grafik pengaruh debit fluida dingin terhadap laju perpindahan panas dengan variasi luas <i>turbulator</i> .....	36





Gambar 3.4	Grafik pengaruh debit fluida dingin terhadap <i>pressure drop</i> Dengan variasi luas <i>turbulator</i> .....	36
Gambar 3.5	Diagram Alir Penelitian .....	37
Gambar 4.1	Penampang saluran pada pipa bagian luar .....	42
Gambar 4.2	Luas area perpindahan panas .....	45
Gambar 4.3	Pengaruh debit fluida dingin terhadap laju perpindahan panas pada tiap variasi luas <i>turbulator</i> .....	47
Gambar 4.4	Pengaruh debit fluida dingin terhadap bilangan Reynolds pada variasi luas <i>turbulator</i> .....	48
Gambar 4.5	Pengaruh debit fluida dingin terhadap laju perpindahan panas pada tiap variasi susunan <i>turbulator</i> .....	49
Gambar 4.6	Pengaruh debit fluida dingin terhadap bilangan Reynolds pada tiap variasi luas dan susunan <i>turbulator</i> .....	50
Gambar 4.7	Pengaruh debit fluida dingin terhadap <i>pressure drop</i> (penurunan tekanan) pada tiap variasi luas <i>turbulator</i> .....	51
Gambar 4.8	Pengaruh debit fluida dingin terhadap <i>pressure drop</i> (penurunan tekanan) pada variasi susunan 1/4 dan 3/4 <i>turbulator</i> .....	52

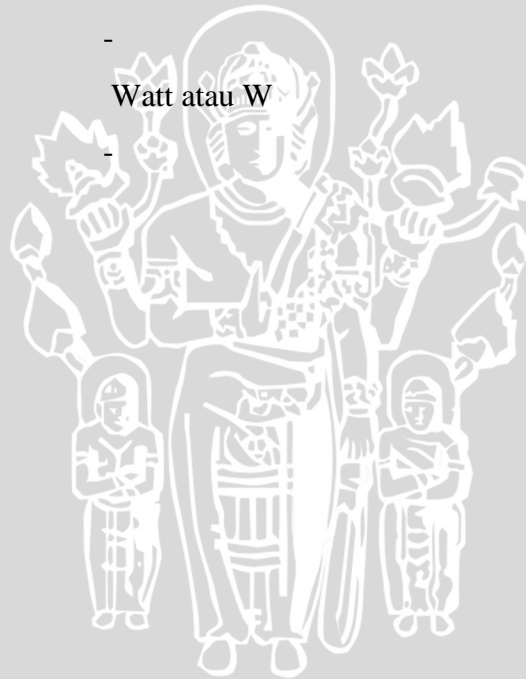
DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1	Data hasil perhitungan tanpa pemasangan <i>turbulator</i> .....	55
Lampiran 2	Hasil perhitungan <i>heat exchanger</i> dengan pemasangan <i>turbulator</i> 1/4 lingkaran susunan melingkar searah jarum jam .....	55
Lampiran 3	Hasil perhitungan <i>heat exchanger</i> dengan pemasangan <i>turbulator</i> 1/2 lingkaran.....	55
Lampiran 4	Hasil perhitungan <i>heat exchanger</i> dengan pemasangan <i>turbulator</i> 3/4 lingkaran susunan melingkar searah jarum jam.....	56
Lampiran 5	Hasil perhitungan <i>heat exchanger</i> dengan pemasangan <i>turbulator</i> 3/4 lingkaran susunan atas-bawah.....	56
Lampiran 6	Hasil perhitungan <i>heat exchanger</i> dengan pemasangan <i>turbulator</i> 1/4 lingkaran susunan atas-bawah.....	56



## DAFTAR SIMBOL

Besaran Dasar	Satuan dan Singkatannya	Simbol
Panjang	meter atau m	$L$
Waktu	detik atau s	$t$
Gaya	Newton atau N	$F$
Massa	kilogram atau kg	$m$
Energi, kalor	Joule atau J	$Q$
Temperatur	celcius atau °C	$T$
Tekanan	Pascal atau Pa	$P$
Nusselt	-	$Nu$
Reynold	-	$Re$
Prandtl	-	$Pr$
Aliran kalor	Watt atau W	$\dot{Q}$
Faktor gesekan	-	$f$



## RINGKASAN

**Miftah Wahyu S**, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2011, *Pengaruh Variasi Luas Turbulator terhadap Laju Perpindahan Panas dan Pressure Drop pada Heat Exchanger*, Dosen Pembimbing : Ari Wahjudi dan Agustinus Ariseno.

*Heat exchanger* adalah peralatan yang berfungsi untuk menukar panas antara dua fluida yang memiliki perbedaan temperatur sekaligus menjaga keduanya dari pencampuran satu sama lain. Konstruksi yang paling sederhana dari *heat exchanger* adalah jenis susunan pipa ganda (*double tube heat exchanger*). Teknik-teknik peningkatan unjuk kerja *heat exchanger* dapat dibedakan menjadi teknik aktif dan teknik pasif, salah satunya adalah dengan pemasangan *turbulator* yang termasuk kedalam teknik pasif. Pemasangan *turbulator* tersebut dapat menghasilkan intensitas turbulensi yang tinggi sehingga meningkatkan perpindahan panas. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh pemasangan turbulator pada *Annulus* dari *heat exchanger* susunan pipa ganda terhadap laju perpindahan panas dan *pressure drop* *heat exchanger*

*Heat exchanger* yang digunakan dalam penelitian ini memiliki pipa luar (*outertube*) yang terbuat dari PVC dan pipa dalam (*innertube*) yang terbuat dari tembaga dengan dimensi masing-masing 36 mm ( $D_o$ ) dan 16 mm ( $D_i$ ) dimana fluida dingin mengalir pada ruang annulus dengan temperatur masuk 23 °C dan fluida panas pada pipa dalam dengan temperatur masuk 60 °C. *Turbulator* yang digunakan memiliki variasi luas 1/4, 1/2 dan 3/4 lingkaran dari diameter pipa luar dan variasi susunan dengan jumlah tiap variasi sebanyak 10 buah, material *turbulator* terbuat dari PVC. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan debit fluida dingin sebesar 180, 300, 420 dan 540 liter/jam dan debit fluida panas konstan yakni sebesar 60 liter/jam. *Heat exchanger* ini menggunakan arah aliran berlawanan arah (*counter flow*), dan permukaan terluar dari *heat exchanger* diasumsikan terisolasi sempurna sehingga perpindahan panas hanya terjadi diantara dua fluida tersebut saja.

Hasil penelitian menunjukkan semakin besar luas *turbulator* maka laju perpindahan panas semakin meningkat dengan peningkatan rata-rata untuk variasi luas berturut-turut sebesar 24%, 39%, dan 44% dibandingkan dengan *plain tube* (tanpa pemasangan). Hasil penelitian juga menunjukkan pemasangan *turbulator* pada *outertube* mengakibatkan *pressure drop* yang sangat signifikan. Peningkatan *pressure drop* rata-rata dengan pemasangan *turbulator* berturut-turut sebesar 7, 11, dan 12 kali lebih besar dibandingkan tanpa pemasangan *turbulator* (*plain tube*).

Kata Kunci : Luas *Turbulator*, laju perpindahan panas, *pressure drop*.