

TUGAS AKHIR

STUDI NUMERIK PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI PAKSA PADA *FLAT FIN* DENGAN SUSUNAN *TUBE STAGGERED* PADA ALIRAN LAMINER DAN TRANSISI MENGGUNAKAN SOFTWARE FLUENT 18.1

NUR ALFA FADHILATURROHMAH NRP. 02111540000002

Dosen Pembimbing: Prof. Dr. Eng. Ir. Prabowo, M.Eng.

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya 2020



TUGAS AKHIR

STUDI NUMERIK PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI PAKSA PADA FLAT FIN DENGAN SUSUNAN TUBE STAGGERED PADA ALIRAN LAMINER DAN TRANSISI MENGGUNAKAN SOFTWARE FLUENT 18.1

NUR ALFA FADHILATURROHMAH NRP. 02111540000002

Dosen Pembimbing: Prof. Dr. Eng. Ir. Prabowo, M.Eng.

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya 2020



FINAL PROJECT

NUMERICAL STUDY OF FORCE CONVECTION HEAT TRANSFER ON FLAT FIN WITH STAGGERED TUBE ARRANGEMENT IN LAMINAR-TRANSITION FLOW USING FLUENT 18.1 SOFTWARE

NUR ALFA FADHILATURROHMAH NRP. 02111540000002

Supervisor: Prof. Dr. Eng. Ir. Prabowo, M.Eng.

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT Faculty of Industrial Technology and System Engineering Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya 2020

HALAMAN PENGESAHAN

STUDI NUMERIK PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI PAKSA PADA FLAT *FIN* DENGAN SUSUNAN *TUBE STAGGERED* PADA ALIRAN LAMINER DAN TRANSISI MENGGUNAKAN *SOFTWARE* FLUENT 18.1

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem Institut Teknologi Sepuluh Nopember

> Oleh : <u>Nur Alfa Fadhilaturrohmah</u> NRP. 02111640000002

> > Disetujui oleh:



STUDI NUMERIK PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI PAKSA PADA FLAT *FIN* DENGAN SUSUNAN *TUBE STAGGERED* PADA ALIRAN LAMINER-TRANSISI MENGGUNAKAN *SOFTWARE* FLUENT 18.1

Nama Mahasiswa	: Nur Alfa Fadhilaturrohmah
NRP	: 021116400000002
Departemen	: Teknik Mesin FTIRS-ITS
Dosen Pembimbing	: Prof. Dr. Ir. Prabowo, M.Eng.

ABSTRAK

Organic Rankine Cycle (ORC) merupakan siklus dengan fluida kerja khusus yang termasuk kedalam low grade thermal energy. Departemen Teknik Mesin telah melakukan penelitian secara eksperimen tentang siklus ORC. Pada alat eksperimen, terdapat 4 komponen utama, antara lain: evaporator, turbin, pompa dan kondensor. Kinerja tiap komponen dapat memengaruhi kinerja sistem. Salah satu cara untuk meningkatkan kinerja sistem adalah dengan meningkatkan performa kondensor. Dua hal yang dapat memegaruhi performa kondensor antara lain kecepatan fluida pendingin dan jenis material *fin*. Analisa kondensor yang didalamnya terdapat *fin and tube* dapat dilakukan dengan menggunakan metode CFD (*Computational fluid dynamics*) yang merupakan salah satu cara mudah untuk menyelesaikan suatu persamaan-persamaan yang berkaitan dengan dinamika fluida menggunakan *computer*.

Dalam penelitian ini, dilakukan simulasi *fin and tube* pada kondensor alat eksperimen ORC yang terdapat di Laboratorium Pendingin Departemen Teknik Mesin dengan menggunakan perangkat lunak GAMBIT 2.4.6 untuk pemodelan geometri dan pembuatan *mesh* serta progam FLUENT 18.1. Geometri *flat fin* susunan *tube staggered* dengan $S_T = 0,0118 m$ dan $S_L = 0,0222 m$ diletakkan di dalam *rectangular duct* disesuaikan dengan alat yang ada. Pemanasan pada *flat fin*

dilakukan dengan menjaga temperatur dari wall *tube* 315 K. Simulasi dilakukan dengan menggunakan dua variasi, yaitu kecepatan udara dan jenis material *fin*. Kecepatan udara 1 m/s kondisi laminar dan 8 m/s kondisi transisi. Material *fin* terdiri dari *Copper, aiumium,* dan *Steel*. Untuk mendapatkan hasil yang baik, terlebih dahulu dilakukan *grid independency test* sehingga diperoleh kerapatan *mesh* yang optimal. Data yang akan dianalisa berupa data kualitatif dan kuantitatif. Data kualitatif berupa gambar kontur temperatur pada *fin*, kontur temperatur dan kecepatan pada *plane between flat fin*. Data kuantitatif berupa nilai temperatur dan kecepatan pada titik-titik diantara *tube*, temperatur outlet, temperatur rata-rata *fin*, dan *heat flux*.

Hasil yang didapatkan dari hasil simulasi berupa kontur, nilai efisiensi, dan efektifitas fin. Kontur temperatur baik pada fin dan plane diantara fin yang semakin didominasi oleh temperatur yang bernilai tinggi seiring dengan penurunan nilai kecepatan udara dan kenaikan nilai konduktivitas fin. Terlihat pada *pathline* variasi kecepatan 8 m/s bahwa area *wake* yang terjadi lebih luas jika dibandingkan dengan variasi kecepatan 1 m/s. 3. Pada kecepatan 1 m/s Efficiency fin denngan variasi jenis material fin copper sebesar 0,969779, aluminium 0,947237, dan steel 0,729207. Pada kecepatan 8 m/s, nilai efficiency fin dengan variasi material fin copper sebesar 0,981646, aluminium 0,980344, dan steel 0,96917. Pada kecepatan 1 m/s nilai effectiveness fin dengan variasi material fin copper sebesar 18,076, aluminium 17,656, dan steel 13,59244. Pada kecepatan 8 m/s, nilai effectiveness fin dengan variasi material fin copper sebesar 18,297, aluminium 18,27364, dan steel 18,06536. Effectiveness dan efficiency akan meningkat seiring dengan kenaikan kecepatan udara dan nilai konduktivitas material fin.

Kata Kunci: Material Fin, Efficiency, Effectiveness

NUMERICAL STUDY OF FORCE CONVECTION HEAT TRANSFER ON FLAT FIN WITH STAGGERED TUBE ARRANGEMENT IN LAMINAR-TRANSITION FLOW USING FLUENT 18.1 SOFTWARE

Student's name	: Nur Alfa Fadhilaturrohmah
Student's number	: 021116400000002
Departement	: Teknik Mesin FTIRS-ITS
Supervisor	: Prof. Dr. Ir. Prabowo, M.Eng.

ABSTRACT

Organic Rankine Cycle (ORC) is a cycle with a special working fluid and included in low grade thermal energy. The Mechanical Engineering Department has conducted experimental research on the ORC cycle. On the system, there are 4 main components: evaporator, turbine, pump and condenser. The performance of each component can affect system performance. One of the ways to improve system performance is by increasing condenser performance. Two things that can affect the performance of the condenser include the speed of the cooling fluid and the type of fin material. Condenser analysis in which there is a fin and tube, can be done using the CFD (Computational fluid dynamics) method, which is an easy way to solve equations related to fluid dynamics using a computer.

In this study, fin and tube simulations were carried out on the condenser of the ORC experimental apparatus contained in the Refrigeration Laboratory of the Mechanical Engineering Department ITS using GAMBIT 2.4.6 software for geometric modeling and mesh making, and also FLUENT 18.1 software. Flat fin geometry of staggered tube arrangement with $S_T = 0,0118 m$ and $S_L = 0,0222 m$ is placed inside the rectangular duct according to the existing component. Heating on the flat fin is done by maintaining the temperature of the wall tube 315 K. The simulation is carried out using two variations, air velocity and type of fin material. Air velocity 1 m/s in laminar flow and 8 m/s in transition flow. Fin material consists of Copper, Aluminum, and Steel. To get the best results, a grid independency test is first performed so that the optimal mesh density is obtained. The data to be analyzed are qualitative and quantitative data. The qualitative data is in the form of temperature contours on the fin, temperature and velocity contours on the plane between the flat fin. Quantitative data are temperature and velocity values at the points between the tubes, outlet temperature, average fin temperature, and heat flux.

The results obtained from the simulation are in the form of contours, efficiency, and fin effectiveness values. The temperature contours of both the fin and the plane between the fins are increasingly dominated by high-value temperatures along with decreasing air velocity and increasing fin conductivity. It can be seen in pathline belongs to 8 m/s that the wake area occurs wider than 1 m/s. At 1 m/s air velocity, fin efficiency with a variety of material types are copper fin 0.969779, aluminum 0.947237, and steel 0.729207. At 8 m/s air velocity, the fin efficiency with a variety of material types are copper fin 0.981646, aluminum 0.980344, and steel 0.96917. 17,656, and steel 13,59244. At 1 m/s air velocity, fin effectiveness a variety of material types are copper fin 18.076, aluminum 17.656, and steel 13.59244. At 8 m/s air velocity, fin effectiveness with a variety of material types are copper fin 18.297, aluminum 18.27364, and steel 18.06536. The value of effectiveness and efficiency will increase along with increasing air velocity and conductivity value of the fin material.

Keywords: Fin Material, Efficiency, Effectiveness

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini sekaligus sebagai penutup manis perantauan penulis menimba ilmu di Surabaya. Dalam pengerjaan tugas akhir ini, banyak sekali pihak yang membantu penulis untuk menyelesaikannya. Untuk itu penulis mengucapkan banyak terima kasih, khusunya kepada:

- 1. Bapak Faruk Mahsun dan Ibu Siti Rohmah selaku kedua orang tua penulis yang selalu memberikan doa dan dukungan yang tak terhingga. Suasana hangat di rumah menjadi motivasi terkuat penulis untuk selalu pulang kerumah.
- Dosen pembimbing tugas akhir ini, Prof. Dr. Eng. Ir. Prabowo, M.Eng, yang tidak henti meberikan pengampunan kepada mahasiswanya dan memberikan arahan penulis untuk menyelesaikan tugas-tugas kehidupan yang tak ada habisnya.
- Para dosen penguji Dr. Ir. Atok Setyawan, M.Eng.Sc., Ary Bachtiar K.P., ST. MT. PhD. dan Is Bunyamin Suryo, ST. MSc. yang telah banyak memberikan masukan sehingga tugas akhir ini dapat ditulis dengan sebaik-baiknya.
- 4. Prof. Dr. Ir. Abdullah Shahab M.Sc selaku dosen wali penulis yang selalu memberikan saran dan motivasi penulis selama menjalankan studinya
- 5. Karyawan Departemen Teknik Mesin FTI-ITS, Mas Erdin dan Mas Dani yang membantu proses kelancaran berjalannya simulasi tugas akhir.
- 6. Mahadika Favian A. selaku partner Tugas Akhir penulis, yang menjalakan kesemburatan bersama selama 6 bulan terakhir.
- Drama Queen / sahabat terbaik penulis di Mesin (Tri, Shafira, Chindy) yang mewarnai kehidupan penulis dengan berbagai tawa, sedih, nyinyiran, kesetiakawanan dan markas avenger cabang keputih gang 3B (tempat berkumpul, menginap,semburat) sejak awal maba hingga lulus.

- Seluruh anggota Sarekat Perpan Barbar (Favian, Cendy, Syifa, Teddy, Duo Kenny, Albert, Ajie, Raihan, Sumihar, Rozi, Richap, Ishak, Fayyadh, Alex, Haris, Mas Fajri, Mbak Mitha, Mbak Dimi, Leo, Fafa, Teo, Mas Adji)
- 9. Mas Rezky dan Mba Rossi yang telah membantu dalam simulasi penulis.
- 10. Kawan-kawan bnalz, dedek gemes (Ayu, Vernanda, Ajeng, Nuha, Dika, Firsty), teman nongki (Teddy, Fatir, Rifqy) dan teman mereceh saya (Aqbil, Bagas, Bryan, Michael, Aldifa) yang selalu menemani penulis touring, ngumpul bareng, tempat curhat, dan tertawa sehingga hidup penulis menjai berwarna hingga lulus.
- 11. Driver handal (Fuad Adi, Fuad Al-hanif, dan Ishlah) yang selalu tanggap mengantar penulis baik untuk pulang, *hang out* dan UGD rumah sakit kapan pun.
- 12. Sahabat-sahabat terbaik penulis sejak SMP (Rahmi dan Ifa) yang selalu menghibur, meluangkan waktu, menemani, dan memahami kesibukan penulis selama menjalankan kuliah di Teknik Mesin ITS.

Penulis menyadari bahwa manusia hanyalah makhluk yang tak luput dari lupa dan khilaf. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi menyempurnakan laporan tugas akhir ini. Terakhir, penulis meminta maaf apabila terdapat kalimat yang kurang berkenan pada laporan tugas akhir ini. Penulis berharap semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan seluruh pembaca untuk kemajuan yang lebih baik.

> Surabaya, Agustus 2020 Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	V
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	XV
BAB I PENDAHULUAN	l
1.2 Demonstrang Marchele	۱۱ د
1.2 Perumusan Masalan	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Organic Rankine Cycle (ORC)	
2.2 Air Cooled Condenser (ACC)	
2.3 Perpindahan Panas Konveksi	9
2.4 Perpindahan Panas Konduksi	10
2.5 Extended Surface	11
2.6 Compact Heat Exchanger	13
2.6.1 Perhitungan Geometri Compact Heat Exchar	nger 15
2.6.2 Metode Gray - Webb Untuk Analisa	Koefisien
Konveksi Eksternal Compact Heat Exchange	er16
2.6.3 Efficiency dan Effectiveness Fin	17
2.7 Proses Computational Fluid Dynamics	18
2.7.1 Pre-Processing	18
2.7.2 Processing	19
2.7.3 Post Processing	19
2.8 Software ANSYS WORKBENCH 18.1	
2.8.1 Software GAMBIT 2.4.6	
2.8.2 Software FLUENT	
2.8.3 Viscous Model	
_	

2.8.4	Model	Turbulensi	Dekat	Dinding	(Near	Wall
	Treatmen	nt)	•••••			25
2.9 Pene	elitian Ter	dahulu	•••••			26
2.9.1	Penelitia	n Permodelar	ı Turbul	ent pada 🛛	Fube Fin	Heat
	Exchange	er				26
2.9.2	Penelitia	n Perbedaan I	Material	Fin-Tube.		28
2.9.3	Penelitian	h <i>local</i> pada	<i>Tube</i> B	erbentuk E	Elips	29
BAB 3 MI	ETODOLO	OGI				33
3.1 Pros	edur Pene	elitian				33
3.2 Flow	vchart					33
3.2.1	Flowcha	rt Penelitian .				33
3.2.2	Flowcha	rt Perhitunga	n			36
3.3 Stuc	li Literatu	r				37
3.4 Peng	gumpulan	Data			•••••	38
3.4.1	Data Pen	elitian		••••••	•••••	38
3.4.2	Data Geo	metri		••••••	•••••	38
3.5 Pem	odelan G	eometri dan	Meshin	g pada G	AMBIT	2.4.6
					•••••	39
3.5.1	Pemodela	an Geometri j	pada GA	MBIT 2.4	.6	39
3.5.2	Meshing p	pada pada GA	MBIT 2	2.4.6		40
3.5.2	Define ze	ones (volume	dan fac	ce) pada p	ada GAI	MBIT
	2.4.6					41
3.6 Ana	lisis Perp	oindahan Par	nas pada	a <i>Plain F</i>	Fin and	Tube
susu	ınan Stagg	gered dengan	Softwar	e FLUENT	Г 18.1	42
3.6.1	Pemodela	an Sistem pao	la FLUE	ENT 18.1		42
3.6.2	Solver					43
3.6.3	Models					43
3.6.4	Boundar	y Conditions.				44
3.6.5	Solution	Methods				45
3.7 Grid	l Independ	dence Test				45
3.8 Ana	lisis dan F	Pengolahan D	ata Hasi	l Simulasi		

3.8.1	Variasi yang Dilakukan48
3.8.2	Data Hasil Simulasi
BAB 4 HA	SIL DAN PEMBAHASAN51
4.1 Tabe	el dan Contoh Perhitungan51
4.1.1	Tabel Perhitungan51
4.1.2	Contoh Perhitungan51
4.2 Hasi	1 Simulasi
4.2.1	Kontur Temperatur Fin dengan Variasi Kecepatan
	Udara 1 m/s
4.2.2	Kontur Temperatur Fin dengan Variasi Kecepatan
	Udara 8 m/s
4.2.3	Perbandingan Kontur Temperatur Fin dengan Variasi
	Kecepatan Udara 1 m/s dan 8 m/s56
4.2.4	Kontur Temperatur Udara pada Plane Diantara Fin
	Dengan Variasi Kecepatan Udara 1 m/s58
4.2.5	Kontur Temperatur Udara pada Plane Diantara Fin
	Dengan Variasi Kecepatan Udara 8 m/s60
4.2.6	Kontur Temperatur Udara pada Plane Diantara Fin
	Dengan Variasi Kecepatan Udara 1 m/s dan 8 m/s 62
4.2.7	Perbandingan Kontur Kecepatan dan Pathline pada
	Plane Diantara Fin dengan Variasi Kecepatan Udara 1
	dan 8 m/s
4.2.8	Grafik Perbandingan Temperatur Rata-Rata Fin
	Terhadap Jenis Material Fin dengan Variasi Kecepatan
	Udara 1 dan 8 m/s66
4.2.9	Grafik Perbandingan Temperatur Outlet Fin terhadap
	Jenis Material Fin dengan Variasi Kecepatan Udara 1
	dan 8 m/s
4.2.10	Grafik Perbandingan Temperatur Fin Terhadap Titik-
	Titik Diantara Tube dengan Variasi Jenis Material Fin
	dan Kecepatan Udara Pada Tube 1, 2, dan 370

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem dan T-s diagram Organic Rankine Cycle5
Gambar 2.2 Air cooled condenser8
Gambar 2.3 Konveksi paksa pada plat datar10
Gambar 2.4 Distribusi temperatur pada plat datar sepanjang x
akibat konduksi11
Gambar 2.5 Bentuk-bentuk fin
Gambar 2.6 Konfigurasi susunan staggered
Gambar 2.7 Jenis – jenis compact heat exchanger
Gambar 2.8 Ilustrasi finned and tube heat exchanger
Gambar 2.9 Langkah-langkah melakukan simulasi CFD20
Gambar 2.10 Skema proyek pada software ANSYS Workbench
18.1
Gambar 2.11 Skema geometri paper penelitian "Numerical
Analysis of Tube-Fin Heat Exchanger using Fluent"27
Gambar 2.12 Hasil perbandingan antara Reynolds dan Colburn J-
Factor
Gambar 2.13 Skema paper penelitian "Thermal Analysis of Pin
Fin using Different Materials and Forms"
Gambar 2.14 Set up percobaan pengambilan data h-local30
Gambar 2.15 Gambar h-local pada circular tube dan elliptical
<i>tube</i>
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> penelitian35
Gambar 3.2 Flowchart perhitungan koefisien konveksi untuk fin
hasil simulasi pada kecepatan 1,34 m/s, 1,55 m/s, dan 1,94 m/s
untuk validasi dengan eksperimen
Gambar 3.3 Flowchart perhitungan efisiensi dan efektifitas fin 37
Gambar 3.4 Geometri fin and tube susunan staggered
Gambar 3.5 Hasil permodelan geometri (a) Tampak depan (b)
Tampak bawah (c) Tampak kiri (d) Secara keseluruhan (3D)40
Gambar 3.6 Hasil meshing (a) Tampak depan (b) Tampak bawah
(c) Tampak kiri (d) Secara keseluruhan (3D)41
Gambar 3.7 Define volume zones (a) Inlet udara (b) Outlet udara
(c) Udara diantara <i>fin</i> 41

Gambar 3.8 Define face zones (a) Tube (b) Fin (c) Velocity inlet (d) Outflow (e) Symmetry side (f) Symmetry up (g) Symmetry down Gambar 3. 10 Titik pengambilan data nilai velocity dan temperature untuk grid independence test yang terletak pada plane Gambar 3. 11 Visualisasi kerapatan mesh (a) 510.000, (b) Gambar 3.12 Grafik banyak nodes vs velocity salah satu titik pada Gambar 3. 13 Grafik banyak nodes vs temperature salah satu titik Gambar 3. 14 Titik pengambilan data pada fin dan mid-plane diantara fin untuk tube 1, 2, dan 3......50 Gambar 4.1 Kontur temperatur fin dengan kecepatan inlet udara 1 m/s untuk (a) *copper fin*, (b) *aluminium fin*, (c) *steel fin*.....53 **Gambar 4.2** Kontur temperatur *fin* dengan kecepatan udara 8 m/s untuk (a) *copper fin*, (b) aluminum *fin*, (c) *steel fin*54 Gambar 4.3 Kontur temperatur fin dengan kecepatan inlet udara 1 m/s untuk (a) copper fin, (b) aluminum fin, (c) steel fin dan kecepatan inlet udara 8 m/s untuk (d) copper fin, (e) aluminum fin, Gambar 4.4 Kontur temperatur udara diantara fin dengan kecepatan inlet udara 1 m/s untuk material fin (a) copper, (b) Gambar 4.5 Kontur temperatur udara diantara fin dengan kecepatan inlet udara 8 m/s untuk material fin (a) copper, (b) aluminum dan (c) Steel......60 Gambar 4.6 Kontur temperatur udara diantara dua fin dengan kecepatan inlet udara 1 m/s untuk (a) copper fin, (b) aluminum fin, (c) steel fin dan kecepatan inlet udara 8 m/s untuk (d) copper fin, (e) aluminum fin, (f) steel fin......62 Gambar 4.7 Kontur kecepatan *plane* diantara dua *fin* dengan (a) kecepatan inlet udara 1 m/s, (b) kecepatan inlet udara 8 m/s dan

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Koefisien konveksi pada beberapa fluida	10
Tabel 2. 2 Pemodelan aliran viscous pada software fluent	23
Tabel 2. 3 Model turbulensi di dekat dinding	25
Tabel 3.1 Keterangan gambar geometri fin and tube	susunan
staggered	
Tabel 3.2 Solver FLUENT 18.1	43
Tabel 3.3 FLUENT 18.1 model untuk laminar	43
Tabel 3.4 FLUENT 18.1 model untuk transisi	44
Tabel 3.5 Boudary conditions FLUENT 18.1	44
Tabel 3.6 Solution methods FLUENT 18.1 untuk laminar	45
Tabel 3.7 Solution methods FLUENT 18.1 untuk transisi.	45
Tabel 3.8 Grid Independence Test	47
Tabel 3.9 Variasi yang dilakukan pada simulasi	49
Tabel 3. 10 Reynolds variasi kecepatan	49

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sekitar 40% cadangan energi geothermal dunia terletak di bawah tanah Indonesia, namun saat ini, Indonesia hanya menggunakan 4-5% dari kapasitas geothermalnya. Geotermal termasuk kedalam *low grade thermal energy*. Maka, diperlukan siklus dengan fluida kerja organic khusus yaitu ORC (*Organic Rankine Cycle*). Departemen Teknik Mesin telah melakukan penelitian secara eksperimen tentang siklus ORC. Pada alat eksperimen ORC yang terletak di Laboratorium Pendingin Departemen Teknik Mesin FTIRS-ITS, terdapat 4 komponen utama, antara lain: evaporator, turbin, pompa dan kondensor. Namun sangat disayangkan bahwasannya nilai efisiensi sistem dari alat eksperimen tersebut masih sangat rendah sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

Kinerja tiap komponen dapat memengaruhi kinerja sistem. Kondensor merupakan salah satu komponen yang penting, ketika kondensor memiliki performa kurang baik maka performa siklus akan menjadi kurang baik pula. Kondensor berfungsi untuk mengubah fluida dari fase uap pada keluaran turbin menjadi fase yang sepenuhnya liquid untuk selanjutnya dapat dipompa kembali ke evaporator. Jika ditinjau dari fungsinya, maka fokusan dari kondensor sendiri adalah memaksimalkan perpindahan panas antara fluida kerja dengan fluida pendingin. Maka dalam hal desain, perlu diperhatikan rancangan setiap komponen yang ada didalam kondensor disesuaikan dengan parameter input dan output yang diinginkan.

Dalam hal mendesain kondensor dengan performa tertentu ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, beberapa diantaranya adalah *design* geometri *fin and tube*, material *fin* dan *tube*, jenis dan kecepatan fluida pendingin. Maka dalam penelitian ini, dilakukan simulasi desain kondensor dengan memvariasikan kecepatan fluidapendingin (udara) dan jenis material *fin* untuk mengetahui pengaruh yang akan terjadi terhadap performa kondensor.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian Tugas Akhir ini antara lain:

- 1. Bagaimana pengaruh perubahan kecepatan udara dan material *fin* terhadap distribusi temperatur pada *flat fin* dengan susunan *tube* staggered pada saat aliran laminer dan transisi?
- 2. Bagaimana pengaruh perubahan kecepatan udara terhadap distribusi temperatur dan distribusi kecepatan pada *plane between flat fin* dengan susunan *tube* staggered pada saat aliran laminer dan transisi?
- 3. Bagaimana pengaruh dari perubahan kecepatan udara dan material *fin* terhadap nilai *efficiency* dan *effectiveness* pada flat *fin* dengan susunan *tube* staggered pada saat aliran laminer dan transisi?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian Tugas Akhir ini antara lain:

- 1. Simulasi dilakukan pada kondisi 3 dimensi.
- 2. Aliran fluida masuk melalui *inlet* dengan kecepatan tertentu.
- 3. Temperatur fluida yang masuk melalui *inlet* 301K.
- 4. Temperatur konstan pada *tube wall* (315 K).
- 5. Aliran fluida (udara) mengalir pada tekanan 1 atm.
- 6. Sistem berjalan dalam keadaan steady state.
- 7. Tidak ada energi bangkitan pada sistem.
- 8. Material homogen dan isentropik.
- 9. Contact resistance between fin and tube diabaikan.
- 10. *Flat fin* berpenampang persegi Panjang dan *tube* disusun secara *staggered*
- 11. *Flat fin* yang disusun secara *staggered* diletakkan pada aliran udara segi empat (*rectangular duct*).

- 12. Komputasi dilakukan dengan pendekatan numerik menggunakan *software* ANSYS Fluent 18.1.
- 13. Komputasi tidak melibatkan koefisien gesek dari material.
- 14. Fluida yang mengalir dipengaruhi oleh gravitasi dengan percepatan 9.81 m/s².

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian Tugas Akhir ini antara lain:

- 1. Mengetahui pengaruh perubahan kecepatan udara dan material *fin* terhadap distribusi temperatur pada flat *fin* dengan susunan *tube* staggered pada saat aliran laminer dan transisi.
- 2. Mengetahui pengaruh perubahan kecepatan udara terhadap distribusi temperatur dan distribusi kecepatan pada *plane between flat fin* dengan susunan *tube* staggered pada saat aliran laminer dan transisi.
- 3. Mengetahui pengaruh dari perubahan kecepatan udara dan material *fin* terhadap nilai *efficiency* dan *effectiveness* pada flat *fin* dengan susunan *tube* staggered pada saat aliran laminer dan transisi

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian Tugas Akhir ini antara lain:

- 1. Bagi penulis adalah sebagai sarana untuk penerapan keilmuan yang telah di dapatkan selama berkuliah di Teknik Mesin FTI ITS.
- 2. Bagi penulis dan pembaca adalah sebagai penambah wawasan mengenai ORC dan gambaran tentang simulasi *flat fin* dengan menggunakan *software* ANSYS Fluent 18.1.
- 3. Bagi peneliti selanjutnya adalah sebagai referensi dan menjadi acuan untuk pengembangan selanjutnya.

4. Sebagai saran untuk perbaikan performa dari system ORC kedepannya agar menjadi semakin baik agar mendapatkan hasil yang maksimal.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Organic Rankine Cycle (ORC)

Siklus Rankine pada umumnya menggunakan sumber panas yang bertemperatur tinggi untuk mengubah tingkat keadaan fluida kerja serta menggunakan sumber energi yang tidak terbarukan seperti batubara. Ilmuan dan Insinyur mengembangkan suatu siklus modifikasi dari Siklus Rankine yang dikenal dengan *Organic Rankine Cycle* (ORC). Siklus ORC pada prinsipnya sama dengan Siklus Rankine akan tetapi fluida kerja diganti dengan fluida yang memiliki titik didih yang relative rendah pada tekanan tertentu sehingga dapat menerima panas dari sumber yang bertemperatur rendah seperti misalnya geothermal, cahaya matahari serta panas buangan proses industri (*Waste Heat Recovery*). Fluida yang umum digunakan dalam siklus ORC adalah *refrigerant*.



Gambar 2.1 Sistem dan T-s diagram Organic Rankine Cycle

Sistem ORC merupakan sistem yang sederhana, tidak kompleks seperti siklus Rankine konvensional Hal tersebut

disebabkan karena daya bangkitan yang dihasilkan masih rendah sehingga tidak ekonomis jika membuat sistem kompleks. Selain itu berdasarkan analisa termodinamika, fluida organik yang kompleks tidak dapat mengalami penurunan temperatur yang signifikan selama proses ekspansi turbin. Prinsip kerja ORC mirip dengan *Rankine Cycle* konvensional. Fluida *organic* dipompa ke heat exchanger (evaporator) sehingga terjadi proses evaporasi. Uap dari evaporator akan mengalir melalui expander (turbin) untuk menghasilkan daya karena terjadi proses ekspansi. Keluaran turbin akan mengalir ke heat exchanger (kondensor) sehingga terjadi proses kondensasi, lalu kondensat akan mengalir ke pompa untuk melengkapi siklus.

Penggunaan fluida organic pada pembangkit dengan daya rendah dapat mengatasi kerugian friksi pada blade turbin akibat aliran massa yang rendah. Pada kondisi temperature hot dan cold side yang sama, rasio tekanan pada fluida organic lebih rendah dibandingkan air, sehingga tidak diperlukan turbin yang kompleks dan memiliki banyak stage (konfigurasi turbomachinery lebih sederhana. Pergantian air dengan dry fluids dapat mengatasi permasalahan penurunan efisiensi akibat kenaikan degree of superheat yang menurunkan temperatur rata-rata pada air selama pemanasan. Pada temperatur inlet turbin 150°C dan temperatur kondensasi 35°C, efisiensi untuk siklus Rankine ideal hanya 8.3%. dimana penggunaan fluida keria sebesar R245fa menghasilkan efisiensi sebesar 18.7%. Pada ORC, titik didih fluida organic rendah sehingga tidak memerlukan kevakuman seperti pada siklus Rankine konvensional.

Penggunaan ORC pada temperatur dan daya rendah sangat cocok diaplikasikan pada pembangkit dengan bahan bakar biomasa, geothermal, dan gas buang industri. Penggunaan ORC lebih cocok ketika memiliki kapasitas dibawah 3 MW. Sumber panas bumi (*geothermal*) yang dapat dieksploitasi memiliki jumlah yang cukup banyak. *Geothermal* mayoritas memiliki temperatur uap yang cukup rendah ($\pm 100^{\circ}$ C hingga $\pm 200^{\circ}$ C) sehingga penggunaan ORC sangat layak. *Waste heat recovery* dari proses

pada industry memiliki potensi yang cukup besar. Contohnya, sekitar 45% dari konsumsi energi di Amerika dilepaskan ke atmosfir dalam bentuk *waste heat*. Dengan memanfaatkan *waste heat* tersebut, sekitar 440 juta ton/tahun dari emisi CO2 dapat dieliminasi.

Ratusan pembangkit listrik yang menggunakan ORC sudah beroperasi diseluruh dunia. Pada akhir tahun 2013, kapasitas ORC yang terpasang berkisar antara 1.700 MW. Dan perkembangannya semakin meningkat. Mayoritas pembangkit beroperasi diantara temperatur 110°C dan 320°C, dengan efisiensi listrik netto berkisar antara 9 hingga 20%. Kini Turboden dan Ormat merupakan manufaktur ORC terbesar yang ada. Turboden sudah melakukan pembangunan 200 pembangkit biomasa dengan ORC, dan Ormat sudah membangun 30 geothermal ORC. Triogen mengklaim memiliki ORC yang paling efisien di pasaran dengan efisiensi diatas 17% (150 kW) dan paling hemat dalam hal biaya untuk harga per kW kapasitas yang dipasang. Teknologi ORC dengan rentang daya diatas 100 kW dapat dikatakan telah mencapai *degree of maturity*. (Macchi dan Astolfi, 2017)

2.2 Air Cooled Condenser (ACC)

Air cooled condenser adalah jenis kondensor yang menggunakan fluida pendingin udara. Fluida pendingin dialirkan menggunakan blower atau kipas yang akan mengarahkan fluida pendingin melewati *tube-tube* yang dialiri uap. Berdasarkan luasan area perpindahan panasnya yang besar, alat penukar panas (*heat exchanger*) ini termasuk *compact heat exchanger* yang mana sangat cocok untuk mengubah fase fluida kerja. Dari konstruksinya, alat penukar panas ini menggunakan konstruksi *fintube*. Sedangkan arah aliran kedua fluidanya bersilangan (*cross flow*).



Gambar 2.2 Air cooled condenser

Air cooled condenser (gambar 2.2) umumnya digunakan untuk mendinginkan refrigeran. Alat penukar panas ini dapat dijumpai di gedung-gedung besar yang menggunakan sistem pendinginan terpusat. Karena fungsinya yang memang untuk pendinginan refrigeran, HE ini layak digunakan untuk ORC yang menggunakan fluida kerja refrigeran. Selain digunakan untuk sistem pendinginan gedung, ACC juga digunakan sebagai kondensor pembangkit. Fluida kerja yang ingin dikondensasikan dilewatkan melalui tube, fluida pendingin udara dilewatkan melalui luar tube. Keuntungan dari penggunaan kondensor ini adalah biaya pemakaian dan pembuatannya yang lebih murah dari kondensor pada umumnya. Hal ini dikarenakan tidak perlu membuat sistem untuk fluida pendinginnya, tidak perlu menggunakan pompa untuk mendorong fluida pendingin (cukup dengan blower) dan tidak perlu menggunakan fluida pendingin khusus. Sedangkan kerugiannya adalah sangat terpengaruh oleh

suhu lingkungan yang ada saat itu, sehingga pada musim panas, peforma kondensor ini tidak seoptimal ketika musim dingin atau penghujan.

2.3 Perpindahan Panas Konveksi

Konveksi merupakan mekanisme perpindahan energi yang diakibatkan oleh pertemuan aliran fluida terhadap permukaan benda padat. Konveksi bergerak dari daerah dengan temperatur atau tekanan yang tinggi menuju daerah yang bertekanan atau vang rendah. bertemperatur lebih Ketika suatu massa meninggalkan daerah berenegi tinggi menuju daerah berenergi rendah, massa tersebut akan membawa energi yang pada akhirnya akan dilepaskan menuju daerah yang lebih dingin dan tekanan yang lebih rendah. Konveksi diklasifikasikan menjadi dua yaitu natural dan paksa. Pada natural konveksi perpindahan panas terjadi karena adanya buoyancy effect, sedangkan konveksi paksa berarti mengalirkan fluida kedalam suatu saluran menggunakan eksternal energi yang biasanya menggunakan pompa atau fan (Bahrami, 2011)

Persamaan yang menunjukan *heat transfer rate* konveksi pada *fin* dikenal sebagai *Newton's law of cooling*:

$$\mathbf{Q} = \mathbf{h} \times \mathbf{A} \times (\mathbf{T} - \mathbf{T}\infty) \tag{2.1}$$

Q	= Laju perpindahan panas konveksi, (J/s).
h	= Koefisien perpindahan panas konveksi, (W/m ² K).
А	= Luas permukaan, (m^2)
$(T_s - T_\infty)$	= Perbedaan temperatur, (K)



Gambar 2.3 Konveksi paksa pada plat datar

Koefisien perpindahan panas h bukan merupakan properti fluida. Koefisien perpindahan panas tersebut ditentukan dari hasil eksperimen yang parameternya berkaitan dengan geometri permukaan, jenis aliran dan properti fluidanya.

Tabel 2. 1 Koefisien konveksi pada beberapa fluida

Type of convection	<i>h</i> , W/m ² . °C
Free convection of gases	2-25
Free convection of liquids	10-1000
Forced convection of gases	25-250
Forced convection of liquids	50-20000
Boiling and condensation	2500-100000

2.4 Perpindahan Panas Konduksi

Konduksi merupakan perpindahan panas melalui zat penghantar tanpa disertai perpindahan bagian-bagian zat itu. Pada level mikroskopik, konduksi pada *stationary fluids* merupkan hasil perpindahan energi dari molekul dengan temperatur yang lebih tinggi ke temperatur yang lebih rendah. Pada *nonconduting solid* perpindahan energi hanya berasal dari *lattice waves* yang terinduksi oleh gerakan atom. Sedangkan pada conducting solid perpindahan energi juga berasal dari gerakan translasi oleh *electron* bebas. (Kraus, 2003)



(2.2)

Gambar 2.4 Distribusi temperatur pada plat datar sepanjang x akibat konduksi

Persamaan 2.2 merupakan diferensial dari persamaa Fourier's untuk perpindahan panas konduksi 1-dimesional. Dimana k merupakan konduktifitas termal ddari material, biasanya konduktufitas bervariasi bergantung material juga pada $\frac{dT}{dx}$ merupakan tempertaur gradien temperaturnya, sedangkan sepanjang x. Sedangkan tanda negatif menunjukan bahwa perpindahan panas pada sumbu x positif adalah bernilai nilai positif. (Ghajar, 2015)

2.5 *Extended* Surface

Extended surface merupakan alternatif dalam peningkatan nilai perpindahan panas secara konveksi hal ini dilakukan dengan menambah surface area yang disebut dengan fin. Fin biasanya dibuat dari material dengan konduktifitas termal yang tinggi seperti

Aluminum. Fin bisanya diprdosuksi dengan cara extrude, welding, ataupun melipat-lipat metal sheet tipis. Pada analisis fin kita menentukan bahwa sistem bekerja secara steady dan tidak terjadi heat generation pada fin itu sendiri sehingga nilai konduktifitas pada fin dianggap konstan. Panjang fin secara ideal dapat ditentukan ketika diujung fin sudah tidak terjadi perpindahan panas secara signifikan pada ujung fin. (Ghajar, 2015)

Pada umumnya *pin fin* sirkular disusun dengan dua metode yaitu *aligned* atau *staggered*. Namun, susunan *staggered* merupakan susunan yang lebih optimal hal ini telah dibuktikan oleh (R.S. Matos, 2003) yang melakukan penelitian secara numerik menggunakan *elliptical and round tubes* yang disusun secara *staggered* dalam aliran *crossflow*.



Gambar 2.5 Bentuk-bentuk fin



Gambar 2.6 Konfigurasi susunan staggered

2.6 Compact Heat Exchanger

Compact Heat Exchanger merupakan jenis alat penukar panas yang memiliki luasan perpindahan panas yang besar tiap unit volume, serta salah satu fluida kerja yang digunankan berwujud gas. Jenis heat exchanger ini banyak digunakan pada automobile, sistem pengondisian udara, pendingin komponen elektronik, *process heat recovery, cryogenic*. Beberapa karakteristik spesifik *Compact Heat Exchanger* diantaranya:

- Menggunakan extended surface
- Memiliki luasan perpindahan panas lebih dari 700 m²/m³
- Diameter hydraulic (D_h) yang relative kecil
- Biasanya digunakan untuk aplikasi yang melibatkan fluida gas.
- Desain sangat mempertimbangkan daya untuk memompa fluida serta laju aliran kalor
- Fluida yang digunakan harus bersih dan tanpa pengotor mengingat *diameter hydraulic* yang kecil

Suhu dan tekanan operasi terbatas jika dibandingkan dengan *shell and tube heat exchanger*

Compact Heat Exchanger secara umum dapat dibedakan menjadi *fin – tube* atau *plate – fin. Fin tube* banyak digunakan untuk aplikasi yang bertekanan tinggi serta melibatkan fluida kerja berbentuk cair – gas, sementara tipe *plate – fin* banyak digunakan untuk aplikasi yang melibatkan gas - gas. Kedua jenis compact heat exchanger ditunjukkan seperti pada gambar 2.15. Pada plate -*fin heat exchanger*, setiap channel dibentuk dari dua pelat parallel yang dipisahkan dengan fin atau spacer. Fin diletakkan pada pelat dengan teknik brazing, soldering, adhesive bonding, welding, mechanical fit atau extraction. Pada tube - fin heat exchanger, dapat digunakan berbagai bentuk tube diantaranya bulat, persegi panjang atau elliptical. Fin yang diberikan dapat berupa circular fin atau continuous fin. Beberapa pertimbangan kualitatif untuk *tube – fin surface* yaitu: tipe *tube – fin* biasanya memiliki kepadatan (compactness) yang lebih rendah dibandingkan jenis plate – fin. Tube fin heat exchanger juga didesain untuk aplikasi berbagai tekanan fluida pada sisi tube sementara fluida pada fin memiliki tekanan yang lebih rendah. Fouling juga dapat ditoleransi untuk sisi tube yang memungkinkan untuk dibersihkan.



Gambar 2.7 Jenis – jenis compact heat exchanger
2.6.1 Perhitungan Geometri Compact Heat Exchanger

Dalam eksperimen digunakan compact heat exchanger tipe *tube wavy fin* sehingga untuk menghitung performa suatu compact heat exchanger maka diperlukan beberapa geometri dari compact heat exchanger. Ilustrasi heat exchanger ditunjukkan pada gambar berikut



Gambar 2. 8 Ilustrasi *finned and tube heat exchanger* Persamaan geometri heat exchanger tersebut diantaranya:

a. Luasan permukaan *tube* efektif (A_b)

Luasan permukaan *tube* effective merupakan luasan permukaan *tube* yang bersinggungan langsung dengan aliran fluida luar

$$A_{b} = \pi D_{o} (L_{t} - N_{f} t_{f}) N_{t}$$
(2.3)

dimana:

- $D_o = \text{diameter luar } tube \text{ (m)}$
- $L_t = \text{panjang } tube (m)$
- N_f = jumlah *fin*
- $t_f = \text{tebal } fin (m)$
- N_t = jumlah *tube*
- b. Menghitung luas permukaan sirip effective (A_f)

$$A_{f} = 2\left(T_{f}L_{f} - \frac{\pi D_{o}^{2}N_{t}}{4}\right)N_{f}$$
(2.4)

dimana:

 T_f = panjang sirip (m) L_f = lebar sirip (m) D_o = diameter luar *tube* (m)

 $N_t =$ jumlah *tube*

$$N_f$$
 = jumlah sirip

c. Luas total permukaan perpindahan panas (A_t)

$$A_{t} = A_{b} + A_{f} \tag{2.5}$$

dimana:

 $A_b =$ luas permukaan *tube* effective (m²)

 A_f = luas permukaan sirip effective (m²)

d. Luas free flow (A_{ff})

$$A_{ff} = (N_f - 1)(P_f - t_f)(T_f - (D_o N_{t1}))$$
(2.6)

- P_f = jarak antar sirip (m)
- t_f = tebal *fin* sirip (m)
- $D_o =$ diameter luar *tube* (m)

 N_{t1} = jumlah *tube* pada baris pertama N_f = jumlah sirip

2.6.2 Metode Gray - Webb Untuk Analisa Koefisien Konveksi Eksternal Compact Heat Exchanger

Perpindahan panas pada *compact heat exchanger* ditentukan dengan nilai Colburn j factor dimana $j_H = St. Pr^{2/3}$ dan Bilangan Reynold (Re), dimana Stanton Number ($St = h/Gc_P$) serta Reynold Number ($Re = GD_h/\mu$) ditentukan oleh *maximum mass velocity (mass flux)* yang dirumuskan sebagai berikut:

$$G \equiv \rho V_{MAX} = \frac{\rho V A_{fr}}{A_{ff}} = \frac{\dot{m}}{A_{ff}} = \frac{\dot{m}}{\sigma A_{fr}}$$
(2.7)

Simbol σ adalah rasio dari *free flow area minimum* A_{ff} terhadap frontal area A_{fr}. Dalam analisa *compact heat exchanger tipe fin and tube*, metode ini dapat digunakan untuk menentukan besarnya koefisien konveksi pada sisi luar *tube* (aliran eksternal) dimana untuk nilai Reynold tertentu akan memiliki nilai Colburn j factor yang diperoleh dari persamaan Gray – Webb

$$j_{WG} = 0.14 \text{ Re}_{D}^{-0.328} \left(\frac{S_{T}}{S_{L}}\right)^{-0.502} \left(\frac{s}{D}\right)^{0.0312}$$
(2.8)

$$f_{WG} = 0.508 \operatorname{Re}_{D}^{-0.521} \left(\frac{S_{T}}{D}\right)^{1.516}$$
(2.9)

$$D_{\rm h} = 4L \frac{A_{\rm MIN}}{A_{\rm TOTAL}}$$
(2.10)

Dimana

$$S_T = Tranversal Pitch$$
 $s = Fin Spacing$
 $S_L = Longitudinal Pitch$ $D = Diameter luar$

tube

Berdasarkan nilai Colburn j factor tersebut didapatkan nilai Stanton Number yang mana nilai tersebut didapatkan nilai koefisien konveksi h. Dengan mendapatkan besarnya koefisien konveksi eksternal maka besarnya *overall heat transfer coefficient* dapat ditentukan dan performa heat exchanger dapat diketahui melalui metode NTU – *Effectiveness*. Nilai koefisien konveksi pada eksternal *heat exchanger* dapat dihitung dengan persamaan Colburn j factor dan Stanton Number:

$$h = \frac{J_{WG}}{\frac{2}{Pr^3}} x \, Gx \, c_P \tag{2.11}$$

2.6.3 Efficiency dan Effectiveness Fin

Ada dua parameter untuk menilai performa *fin* yaitu efisiensi dan efektifitas. Efisiensi *fin* dapat dide*fin*isikan sebagai rasio dari perpindahan panas *fin* terhadap perpindahan panas ideal *fin*

$$\eta_f = \frac{q_{fin}}{q_{fin\,max}} = \frac{h A_f \left(\overline{T_f} - \overline{T_\infty}\right)}{h A_f \left(\overline{T_b} - \overline{T_\infty}\right)} \tag{2.12}$$

Dimana

 $\overline{T_f}$ = Temperatur rata-rata fin $\overline{T_b}$ = Base temperature $\overline{T_{\infty}}$ = Mean air temperature A_f = Luas permukaan total ada fin Sedangkan nilai efektifitas *fin* merupakan rasio dari perpindahan panas ketika ada *fin* terhadap perpindahan panas tanpa *fin*

$$\varepsilon_f = \frac{q_{fin}}{q_{without\,fin}} = \frac{h A_f \left(\overline{T_f} - \overline{T_{\infty}}\right)}{h A_b \left(\overline{T_b} - \overline{T_{\infty}}\right)} \tag{2.13}$$

Dimana

 $\overline{T_f} = \text{Temperatur rata-rata } fin$ $\overline{T_b} = Base \ temperature$ $\overline{T_{\infty}} = Mean \ air \ temperature$ $A_f = \text{Luas permukaan total ada } fin$ $A_b = \text{Luas permukaan total tanpa ada } fin$

2.7 Proses Computational Fluid Dynamics

CFD merupakan metode pendekatan numerik yang mensimulasikan aliran fluida. CFD memberikan keleluasaan bagi para praktisi maupun peneliti untuk memprediksi krakteristik suatu sistem yang meliputi aliran kecepatan, tekanan, temperatur, dan perpindahan panas. Modern CFD pada sekarang ini sudah dapat untuk mensimulasikan hal-hal yang bekaitan dengan transpor kimia, reaksi kimia, pembakan, penguapan, kondensasi dan kristalisasi. Salah satu keuntungan dari simulasi CFD adalah memungkinkannya untuk melihat informasi lokal pada daerah yang disimulasikan. Dalam hal ini tidak hanya suatu aliran saja yang bisa diamati namun juga temperatur lokal, gerakan partikel, *back mixing* atau *bubbling*. Untuk mendapatakn nilai dari simulasi CFD yang akurat diperlukan pemilihan metode yang tepat. (Bengt Andersson, 2012)

2.7.1 Pre-Processing

Pre-processing terdiri atas *flow problem* yang di *input* oleh operator dan urutan transformasi dari suatu input menjadi bentuk yang cocok untuk diselesaikan oleh *solver*. Aktivitas *pre-processing* meliputi:

- a) Mende*fin*isikan Geometri
- b) Grid generation
- c) Penentuan fenomena fisis yang terjadi
- d) Mendefinisikan property yang disimulasikan

e) Mennginput nilai pada boundary condition

Solusi dari masalah aliran seperti kecepatan, tekanan, dan temperatur dide*fin*iskan pada *nodes* dalam setiap *cell*. Akurasi dari hasil CFD sangat bergantung pada jumlah *cell* dalam *grid*. Pada umumnya semakin besar jumlah *cell* hasil akan menjadi lebih akurat, namun keakuratan dan jumlah *cell* yang makin banyak akan berdampak pada kemapuan dari *hardware* dan waktu hitung *software* yang makin berat. *Mesh* yang optimal biasanya tidak seragam secara sempurna namun lebih *fine* pada *area* yang diamati dan *mesh* yang *coarse* pada *area* yang tidak terlalu banyak perubahan. (Malalasekera, 1995)

2.7.2 Processing

Processing adalah aktivitas penyelesaian masalah oleh software solver CFD. Solver menyelesaiakan masalah secara diskrit untuk tiap elemen menggunakan algoritma pada suatu software. Kualitas dari hasil CFD dipengaruhi oleh metode yang digunakan dalam menjalankan software solver. Finite volume *method* awalnya dikembangkan dari persamaan *finite difference*. dikembangkan dianggap cocok Metode ini dan untuk menyelesaikan persoalan CFD, terdapat beberapa software code solver yang tersedia di pasar: PHOENICS, FLUENT, FLOW3D, dan STAR-CD. (Malalasekera, 1995)

2.7.3 Post Processing

Hasil dari permodelan pada *pre-processing* dan *solver* ditampilkan dalam *post processing* secara visual. Pada *post processing* dapat ditampilkan:

- a) Domain geometry dan grid
- b) Vektor plot
- c) Kontur plot
- d) 2D and 3D surface plot
- e) Particle tracking
- f) Manipulasi gerakan (translasi, rotasi, skala, dll.)
- g) Animasi dari hasil dinamik



Gambar 2.9 Langkah-langkah melakukan simulasi CFD

2.8 Software ANSYS WORKBENCH 18.1

ANSYS Workbench adalah salah satu perangkat lunak berbasiskan metode elemen hingga yang digunakan untuk menganalisis masalah-masalah rekayasa seperti performa struktur, termal, fluida, mapun elektromagnetik. ANSYS Workbench menyediakan fasilitas untuk berinteraksi antar *solver* family ANSYS. ANSYS juga dapat terintegerasi dengan *software* CAE yang diantaranya adalah Catia dan Solidwork. Dalam pembuatan suatu proyek, penggunaan ini *software* ini dengan meng-drag suatu blok komponen ataupun blok sistem yang bisa dikaitkan dan saling terintegerasi. (ANSYS. Inc, 2013)





2.8.1 Software GAMBIT 2.4.6

GAMBIT (Geometry and Mesh Building Intelligent Toolkit) merupakan Software yang dapat digunakan untuk membuat konstruksi geometri dari permodelan CFD serta membuat mesh dari geometri tersebut. Geometri maupun mesh yang dibentuk dapat dibuat dalam kondisi 2 dimensi maupun 3 dimensi. File geometri serta mesh yang telah dibuat dapat di ekspor ke dalam file .msh/.dbs yang nantinya akan disimulasikan oleh aplikasi Fluent. Pembuatan mesh dengan menggunakan GAMBIT memudahkan dalam hal mengkontrol terbentuknya mesh yang lebih terstruktur (Structured mesh). Namun, GAMBIT membutuhkan waktu yang lebih lama dalam penyusunan mesh dan geometri karena selain membutuhkan langkah-langkah yang jauh lebih banyak dalam pembuatan geometri serta GAMBIT merupakan software yang sudah lama tidak dikembangkan lagi ini memiliki tingkat generate mesh yang cukup lama dalam hal pembuatan mesh. (H. K. Versteeg, 1995)

2.8.2 Software FLUENT

FLUENT adalah paket perangkat lunak computational fluid dynamics (CFD) yang digunakan untuk mensimulasikan kasus-kasus aliran fluida. Fluent menggunakan metode finite-volume method untuk menyelesaikan persamaan fluida. Hal tersebut mencakup penggunaan berbagai model fisis seperti incompressible/compressible, inviscid/viscous, laminar/turbulent, dan lain-lain. Software Fluent dapat menunjukkan profil dari temperatur, tekanan, kecepatan, dan properties lainnya dari keseluruhan maupun sebagian mesh yang sebelumnya telah dibuat dalam Software GAMBIT. (H. K. Versteeg, 1995).

FLUENT memiliki struktur data yang efisien dan lebih fleksibel, karena FLUENT ditulis dalam bahasa C. FLUENT juga dapat dijalankan sebagai proses terpisah secara simultan ada klien *desktop workstation* dan *computer server*. Dalam dunia industri, FLUENT sering digunakan untuk mendesain suatu sistem fluida dan untuk mencari sumber atau analisis kegagalan suatu sistem fluida. Penggunaan FLUENT secara umum dalam bidang *Aerospace*, Otomotif, Biomedical, Pertambangan, Petrokimia, Pembangkit tenaga, *Trubomachinery*. (Fluent, Inc., 2006).

2.8.3 Viscous Model

Berdasarkan viskositasnya, aliran dapat dibedakan menjadi aliran viscous dan inviscid. Aliran viscous adalah aliran fluida dimana efek viskositasnya tidak diabaikan sehingga pada aliran tersebut timbul *boundary layer* akibat tegangan geser. Tegangan geser ini mengakibatkan berubahnya profil kecepatan fluida yang mengalir sepanjang *tube*. Pada *Software* CFD, pemodelan aliran *viscous* terbagi menjadi berbagai macam diantaranya:

Viscous Model	Deskripsi		
Spalart-Allmaras	Merupakan model turbulensi satu		
Model	persamaan yang relatif mudah untuk menyelesaikan persamaan fluida untuk viskositas <i>turbulent</i> . Model didesain		
	untuk digunakan pada masalah <i>aerospace</i> yang melibatkan <i>wall</i> -		
	bounded flows dan mampu menunjukkan		
	hasil yang baik untuk <i>boundary layer</i>		
	yang dipengarum olen <i>daverse pressure</i>		
	gradient. Elektii untuk model deligan		
	vang besar dan tidak memerlukan		
	akurasi perhitungan aliran <i>turbulent</i>		
Standar k-ε Model	Merupakan model turbulensi 2		
	persamaan 'lengkap' paling sederhana		
	yang mampu menentukan kecepatan		
	<i>turbulent</i> dan skala panjang secara		
	independen. Model ini dapat digunakan		
	hagting huoyangy dan compressibility		
	Lebih cocok untuk model dengan RE		
	tinggi. Namun, model ini tidak cocok		
	untuk aliran kompleks yang meliputi		
	strong stream curvature dan separasi.		
RNG k-ε Model	Salah satu kelompok dari permodelan k-		
	ε model dimana ada penambahan istilah		
	ε dalam persamaan di dalamnya yang		
	mampu meningkatkan akurasinya untuk		
	periodeian dengan masalan strained flows Selain itu RNG k- ε Model juga		

 Tabel 2. 2 Pemodelan aliran viscous pada software fluent

	cocok untuk model dengan RE rendah
	dan aliran yang memiliki efek swirling.
Realizable k-ɛ Model	<i>k</i> -ε Model ini memenuhi beberapa
	Batasan matematis dari Reynold stress.
	Model realizable secara akurat dapat
	memprediksi laju penyebaran baik planar
	maupun jets melingkar. Realizable k-e
	Model juga baik dalam menyelesaikan
	masalah aliran fluida rotasi, adverse
	pressure gradients yang besar dan
	masalah-masalah resirkulasi.
Standard k-ω Model	Permodelan ini dapat digunakan untuk
	menyelesaikan masalah dengan RE
	rendah, aliran compressible, dan shear
	flow spreading. Permodelan ini juga
	dapat menampilkan transisi aliran
	laminar menuju aliran turbulent.
SST k- ω Model	$k-\omega$ Model ini mampu secara akurat
	mampu meformulasikan daerah dekat
	dengan dinding pada fluida yang
	mengalir. SST k - ω Model ini lebih akurat
	dan dapat diandalkan untuk peristiwa-
	peristiwa seperti: aliran dengan adverse
	pressure gradient, airfoils, transonic
	shock wave, dan lain-lain dibanding
	standard <i>k</i> -ω Model.
Reynold Stress Model	Merupakan model turbulensi yang paling
(RSM)	teliti dalam FLUENT. Model ini
	mendekati persamaan Reynold-averaged
	Navier-Stokes dengan menyelesaikan
	persamaan <i>transport</i> untuk tegangan
	Reynold dengan persamaan laju disipasi.
	Model ini menggunakan persamaan
	transport lebih banyak dibandingkan
	persamaan turbulent lainnya. Model ini

	juga dapat memberikan hasil perhitungan lebih akurat untuk aliran kompleks.
Large Eddy Simulation	Large Eddy Simulation merupakan pendekatan antara RANS dengan DNS. Model ini memerlukan uuran mesh yang lebih kecil dibandingkan kedua model persamaan. Selain itu mode LES juga memerlukan daya komputasi yang lebih besar dan tidak praktis untuk aplikasi teknis secara umum.

(ANSYS, Inc, 2012)

2.8.4 Model Turbulensi Dekat Dinding (Near Wall Treatment)

Pada simulasi *FLUENT*, juga terdapat fitur untuk meningkatkan komputasi didekat dinding yaitu dengan mengaktifkan mode *near wall treatment*. Adapun beberapa opsi yang dapat dipilih dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut:

Model	Deskripsi			
Standard Wall	Merupakan opsi default pada ANSYS			
Function	FLUENT. Model ini dapat			
	menyelesaikan berbagai kasus aliran			
	yang dibatasi oleh dinding. Namun,			
	model ini cenderung kurang reliabel jika			
	situasi aliran berubah dari kondisi ideal			
	yang diasumsikan dari perumusan rumus			
	model ini			
Non-Equilibrium	Merupakan pemodelan yang memiliki			
Wall	kemampuan untuk memperhitungkan			
Function	efek gradien tekanan, sehingga			
	direkomendasikan untuk aliran kompleks			
	yang banyak melibatkan separasi,			
	reattachment, dan impingement. Dimana			
	mean flow dan turbulensi mengalami			
	gradien tekanan dan perubahan cepat.			
	Aliran tersebut dapat dilakukan			

Tabel 2. 3 Model turbulensi di dekat dinding

	perbaikan terutama dalam prediksi wall
	shear(koefisien skin-friction) dan
	perpindahan panas (Nusselt atau Stanton)
Enhanced Wall	Merupakan metode pemodelan dekat-
Treatment	dinding yang menggabungkan model
	two-layer dengan fungsi dinding yang
	ditingkatkan. Jika mesh dekat dinding
	cukup baik untuk dapat menyelesaikan
	sublapisan viscous (biasanya dengan
	node dekat-dinding pertama ditempatkan
	pada $y^+=1$). Namun, pembatasan bahwa
	jaring dekat dekat-dinding harus cukup
	halus di mana saja dapat memaksakan
	persyaratan komputasi yang terlalu besar.
	Idealnya-model ini diperutukkan bagi
	yang ingin menggunakan mesh yang
	tidak terlalu halus dekat dinding.
User-Defined Wall	Opsi udf wall function ini hanya tersedia
Function	pada model k-ɛ. Dengan memilih User-
	Defined Wall Function pada Near Wall
	treatment memungkinkan kita untuk
	mengaitkan Law-of-the-wall UDF

(ANSYS, Inc, 2012)

2.9 Penelitian Terdahulu

2.9.1 Penelitian Permodelan Turbulent pada Tube Fin Heat Exchanger

Penelitian berjudul "Numerical Analysis of Tube-Fin Heat Exchanger using Fluent" oleh M. V. Ghori dan R. K. Kirar menganalisa tentang metode simulasi CFD apakah yang lebih cocok digunakan untuk variasi jenis aliran laminar, transisi, dan turbulent. Dalam penelitian ini, hasil simulasi CFD software fluent dibandingkan dengan hasil eksperimen. Indikasi metode yang paling cocok digunakan dengan melihat manakah hasil simulasi yang paling mendekati hasil eksperimen. Simulasi menggunakan 3-D *fin* and *tube geometry* sebagai berikut:



Gambar 2.11 Skema geometri paper penelitian "Numerical Analysis of Tube-Fin Heat Exchanger using Fluent"

Pada penelitian ini, dilakukan variasi kecepatan inlet udara sebesar 0.3 m/s hingga 6.2 m/s dengan bilangan Reynolds 330 hingga 7000.Variasi tersebut merupakan perwakilan dari berbagai jenis aliran, yaitu: laminar, transisi, dan *turbulent*. Variasi permodelan CFD yang akan dibandingkan, antara lain: *Laminar*,

K-Omega SST, dan *Standard K-Epsilon*. Berikut adalah hasil dari perbandingan antara simulasi dan eksperimen:



Gambar 2.12 Hasil perbandingan antara Reynolds dan Colburn J-Factor

Berdasarkan gambar diatas, dapat dilihat manakah hasil simulasi yang paling mendekati hasil eksperimen. Dapat disimpulkan bahwa metode CFD *Laminar* paling cocok digunakan untuk menganalisa *heat transfer* pada kondisi aliran laminar (Re<1300), *K-Omega* paling tepat digunakan untuk menganalisa *heat transfer* pada kondisi aliran transisi (1300<Re<2900), dan *K-Epsilon* bagus dalam memodelkan simulasi pada kondisi aliran turbulen (Re>2900). (Ghori & Kirar, 2012)

2.9.2 Penelitian Perbedaan Material Fin-Tube

Penelitian berjudul "*Thermal Analysis of Pin Fin using Different Materials and Forms*" oleh Laxmikant Chavan dan Niranjan Purane (2015) menganalisa tentang efek dari variasi bertambahnya bilangan Reynolds, bentuk dan material *fin* terhadap nilai efisiensi dan efektifitas *pin fin* secara eksperimental. Material *pin fin* yang digunakan adalah alumunium dan kuningan. Pada penelitian kali ini menggunakan skema seperti pada gambar berikut:



Gambar 2.13 Skema paper penelitian "Thermal Analysis of Pin Fin using Different Materials and Forms".

Berdasarkan hasil eksperimen dan perhitungan yang telah dilakukan pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwasannya *pin fin* dengan nilai koefisien konveksi rata rata yang lebih tinggi akan memiliki efisiensi dan efektifitas *fin* yang lebih tinggi (Chavan & Purane, 2015).

2.9.3 Penelitian *h-local* pada *Tube* Berbentuk Elips

Penelitian "Local Heat Transfer for Fined-Tube Head Exchanger using Oval Tubes" oleh James E. O'Brien, dkk menganalisa tentang nilai koefisien konveksi lokal pada *tubes* secara eksperimental. Berikut adalah skema alat percobaannya :



Gambar 2.14 Set up percobaan pengambilan data h-local

Variasi yang digunakan pada penelitian ini adalah bilangan Reynolds dan bentuk *tube*. Variasi Reynolds yang digunakan antara lain 1375, 1410, 2650, 2800, dan 5200. Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulakn bahwa makin tinggi nilai bilangan Reynolds maka makin banyak daerah berwarna merah (daerah yang memiliki nilai koefisien lokal heat transfer tinggi).



Gambar 2.15 Gambar *h-local* pada *circular tube* dan *elliptical tube* (O'Brien & Sohal, 2000)

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 3 METODOLOGI

3.1 Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini, dilakukan beberapa tahapan dalam menunjang proses analisa secara keseluruhan Proposal Tugas Akhir. Tahap pertama dilakukan identifikasi masalah meliputi proses mencari permasalahan yang dapat dibahas dalam tugas akhir dan hal yang menjadi latar belakang tugas akhir ini dilakukan. Selanjutnya dilakukan studi literatur pada beberapa sumber berupa buku, jurnal ataupun tugas akhir terdahulu yang berakaitan dengan topik penelitian ini. Tahap simulasi diawali dengan pembuatan geometri dari data rancangan yang ada kemudian dilakukan tahap *meshing* pada GAMBIT 2.4.6. Setelah pemodelan geometri dan *meshing* selesai dilakukan simulasi pada FLUENT.

3.2 Flowchart

3.2.1 Flowchart Penelitian







Gambar 3.1 Flowchart penelitian.



Gambar 3.2 *Flowchart* perhitungan koefisien konveksi untuk fin hasil simulasi pada kecepatan 1,34 m/s, 1,55 m/s, dan 1,94 m/s untuk validasi dengan eksperimen.

3.2.2 Flowchart Perhitungan



Gambar 3.3 Flowchart perhitungan efisiensi dan efektifitas fin

3.3 Studi Literatur

Studi literatur merupakan proses pengumpulan literatur yang digunakan sebagai referensi dan dasar teori dalam penyelesaian Proposal Tugas Akhir. Objek yang dibahas adalah perpindahan panas konveksi paksa pada *plain fin and tube* dengan susunan *staggered*. Hal tersebut diharapkan dapat mendukung hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Studi literatur tentang konveksi paksa, perhitungan koefisien perpindahan panas konveksi dan efisiensi, dan efektifitas *fin*, perpindahan panas konveksi aliran internal melalui berkas *fin*, aliran fluida *melalui* plain fin and tube serta simulasi konveksi dilakukan untuk memperdalam pemahaman mengenai permasalahan yang akan diabahas. Studi literatur diperoleh dari *e-book*, jurnal nasional dan intenasional, serta penelitian yang berkaiatan dengan topik permasalahan yang akan diteliti. Salah satu buku yang digunakan adalah *Fundamental of Heat and Mass Transfer 7th edition*, Bergman, Lavine, Incropera, & Dweitt.

3.4 Pengumpulan Data

Data yang diperlukan adalah dimensi dari *plain fin and tube*, *velocity inlet*, temperatur *tube wall*, *air* dan *material properties*. Data geometri digunakan untuk permodelan geometri yang selanjutnya akan dilanjukan dengan proses *meshing*, sedangkan geometri *properties* digunakan sebagai *boundary condition* pada FLUENT. Geometri yang digunakan dalam penelitian ini sesuai dengan geometri *plain fin and tube* pada kondensor alat penelitian *Organic Rankine Cycle (ORC)* yang terdapat pada Laboratorium Pendingin Departemen Teknik Mesin FTIRS-ITS.

3.4.1 Data Penelitian

Pada penelitian ini, data-data yang digunakan adalah sebagai berikut :

Program yang digunakan : GAMBIT 2.4.6 dan FLUENT 18.1

Objek Penelitian : Perpindahan panas konveksi paksa pada *plain fin and tube* dengan susunan *staggered*

3.4.2 Data Geometri

Objek yang diteliti pada penelitian ini adalah *plain fin and tube* dengan susunan *staggered*. Penelitian dilakukan untuk mengetahui distribusi temperatur disepanjang *fin* serta distribusi temperatur dan velocity pada *plane* diantara *fin*. Material *tube* adalah *Copper* dan material *fin* dibuat bervariasi *Copper*, *Aluminium, dan Steel*.



Gambar 3.4 Geometri fin and tube susunan staggered

 Tabel 3.1 Keterangan gambar geometri fin and tube susunan

 staggered

514880104				
Panjang inlet	0,025	m	Longitudinal Pitch (SL) 0,0222	m
Panjang Outlet	0,05	m	Transversal Pitch (ST) 0,0118	m
Diameter <i>tube</i> (Do)	0,008	m	Fin Pitch 0,0002	m

3.5 Pemodelan Geometri dan Meshing pada GAMBIT 2.4.6

Setelah mendapatkan data-data yang dibutuhkan, selanjutnya dilakukan pemodelan geometri serta *meshing plain fin and tube* susunan *staggered* menggunakan *software* GAMBIT 2.4.6. Untuk mencapai hasil yang akurat dalam simulasi dapat dilakukan *grid independency test*. Selanjutnya model *plain fin and tube* susunan *staggered* disimulasikan dengan menggunakan *software* FLUENT 18.1. Pemodelan geometri dan meshing dan pende*fin*isian *zones* terdapat 3 langkah yaitu :

3.5.1 Pemodelan Geometri pada GAMBIT 2.4.6

Pemodelan geometri *plain fin and tube* susunan *staggered* dapat dibuat menggunakan *software* GAMBIT 2.4.6. Hasil dari pemodelan geometri dengan *software* GAMBIT 2.4.6 dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Hasil permodelan geometri (a) Tampak depan (b) Tampak bawah (c) Tampak kiri (d) Secara keseluruhan (3D)

3.5.2 Meshing pada pada GAMBIT 2.4.6

Tahapan *meshing* dilakukan setelah pemodelan geometri dibuat menggunakan *software* GAMBIT 2.4.6. Hasilnya dapat dilihat pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 Hasil *meshing* (a) Tampak depan (b) Tampak bawah (c) Tampak kiri (d) Secara keseluruhan (3D)

3.5.2 Define zones (volume dan face) pada pada GAMBIT 2.4.6

Tahapan *define zones* dilakukan setelah meshing dibuat menggunakan *software* GAMBIT 2.4.6.



Gambar 3.7 Define volume zones (a) Inlet udara (b) Outlet udara (c) Udara diantara fin



Gambar 3.8 Define face zones (a) Tube (b) Fin (c) Velocity inlet (d) Outflow (e) Symmetry side (f) Symmetry up (g) Symmetry down

3.6 Analisis Perpindahan Panas pada *Plain Fin and Tube* susunan *Staggered* dengan *Software* FLUENT 18.1

3.6.1 Pemodelan Sistem pada FLUENT 18.1

Menurut batasan masalah Bab I, maka simulasi ini dilakukan dengan asumsi-asumsi sebagai berikut :

- 1. Simulasi dilakukan pada kondisi 3 dimensi.
- 2. Aliran fluida masuk melalui *inlet* dengan kecepatan tertentu.
- 3. Temperatur fluida yang masuk melalui *inlet* 301K.
- 4. Temperatur konstan pada *tube wall* (315 K).
- 5. Aliran fluida (udara) mengalir pada tekanan 1 atm.

- 6. Sistem berjalan dalam keadaan *steady state*.
- 7. Tidak ada energi bangkitan pada sistem.
- 8. Material homogen dan isentropik.
- 9. Contact resistance between fin and tube diabaikan.
- 10. Flat fin berpenampang persegi Panjang dan tube disusun secara staggered
- 11. *Flat fin* yang disusun secara *staggered* diletakkan pada aliran udara segi empat (*rectangular duct*).
- 12. Komputasi dilakukan dengan pendekatan numerik menggunakan *software* ANSYS Fluent 18.1.
- 13. Komputasi tidak melibatkan koefisien gesek dari material.
- 14. Fluida yang mengalir dipengaruhi oleh gravitasi dengan percepatan 9.8 m/s².

3.6.2 Solver

Tipe-tipe *solver* yang digunakan pada penelitian ini adalah seperti pada tabel 3.2 di bawah.

Туре	Pressure Based	
Velocity Formulation	Absolute	
Time	Steady	

Tabel 3.2 Solver FLUENT 18.1

3.6.3 Models

Berdasarkan pada data kasus serta jurnal-jurnal referensi, maka tipe *models* yang digunakan adalah seperti tabel 3.3 dan tabel 3.4, dengan pengaturan *models* sisanya diatur sebagai *default*. Untuk menyelesaikan perpindahan panas maka model energi perlu diaktifkan. Untuk laminar menggunakan model laminar dan transisi menggunakan model Realizable k- ε . Model realizable k- ε memberikan kinerja terbaik dari semua versi model untuk beberapa validasi arus dan aliran separasi yang banyak terjadi.

Energy	On	
Viscous	Model laminar	

Idoel Childen Hollin 1011	model antan transisi
Energy	On
Viscous	Model SST k-w, Enhanced
	Wall Treatment (Thermal
	Effect)

Tabel 3.4 FLUENT 18.1 model untuk transisi

3.6.4 Boundary Conditions

Berdasarkan data-data yang ada, dibuat model pada *software* dengan *boundary conditions* yang diatur seperti pada tabel 3.5. Pada sisi *inlet* data yang dimasukkan merupakan kecepatan aliran fluida sehingga digunakan *velocity inlet*. Pada sisi *outlet* digunakan *outflow* yang menandakan bahwa fluida bebas mengalir keluar tanpa batasan-batasan seperti tekanan, temperature dan *backflow*. Pada *wall tube*, digunakan *wall* dengan data yang dimasukkan merupakan *thermal* dengan *thermal conditions* berupa temperatur.

Inlet	Velocity inlet	1 m/s dan 8 m/s (301 K)
Tube wall	Wall, Thermal (Temperature)	315 K
Fin wall	Wall, Coupled	Copper, Aluminium, Steel
Outlet	Outflow	-

Tabel 3.5 Boudary conditions FLUENT 18.1



Gambar 3.9 Boundary conditions

3.6.5 Solution Methods

Pemilihan solution methods yang tepat akan meningkatkan akurasi hasil simulasi. Solution methods second order dapat menambah akurasi iterasi walaupun memerlukan memori dan daya komputasi yang lebih besar dibandingkan first order. Solution methods yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.6 dan tabel 3.7

Pressure-Velocity	Coupling	SIMPLE
Scheme		
Spatial Discretization		
Gradient		Least Squares Cell Based
Pressure		Second Order
Momentum		Second Order Upwind
Energy		Second Order Upwind

Tabel 3.6 Solution methods FLUENT 18.1 untuk laminar

Tabel 3.7 Solution methods FLUENT 18.1 untuk transisi

Pressure-Velocity Coupling	SIMPLE	
Scheme		
Spatial Discretization		
Gradient	Least Squares Cell Based	
Pressure Momentum	Second Order	
	Second Order Upwind	
Turbulent Kinetic Energy	Second Order Upwind	
Turbulent Dissipation Rate	Second Order Upwind	
Energy	Second Order Upwind	

3.7 Grid Independence Test

Grid independence test merupakan suatu cara yang digunakan untuk mendeskripsikan peningkatan hasil dari simulasi perhitungan dengan memperkecil ukuran *cell* pada *meshing*. Peningkatan jumlah *cell* dikaitkan dengan makin mendekatnya nilai hasil simulasi dengan nilai yang sebenarnya. Metode dalam melakukan grid independence tes adalah dengan memvariasikan

kualitas *mesh* mulai dari tingkat *coarse* sampai ke kualitas *fine*. Batasan dalam melakukan *grid independence* tes adalah dengan mempertimbangkat waktu *running* simulasi terhadap jumlah sel, hal ini disebabkan makin banyaknya jumlah makin banyak pula waktu yang diperlukan untuk mendapatan hasil yang konvergen. *Grid independence test* berhenti ketika peningkatan jumlah sel terhadap hasil sudah tidak terlalu signifikan, sehingga pemilihan jumlah *nodes* dan *cells* bisa dilakukan.



Gambar 3. 10 Titik pengambilan data nilai *velocity* dan temperature untuk *grid independence test* yang terletak pada *plane* diantara *fin*



Gambar 3. 11 Visualisasi kerapatan *mesh* (a) 510.000, (b) 1.700.000, (c) 2.600.000, (d) 3.200.000

	Tuber 610 Grid Independence Test						
No	Mesh (x10 ³)	Velocity (m/s)	Temperature (K)				
1.	510	17,1764	301,366				
2.	1700	15,551	301,678				
3.	2600	17,9973	301,255				
4.	3200	18,3782	301,427				

Tabel 3.8 Grid Independence Test



Gambar 3. 12 Grafik banyak *nodes vs velocity* salah satu titik pada *plane between fin.*



Gambar 3. 13 Grafik banyak *nodes vs temperature* salah satu titik pada *plane between fin.*

3.8 Analisis dan Pengolahan Data Hasil Simulasi

Setelah proses iterasi dan simulasi selesai, dilakukan pengambilan data hasil simulasi. Data hasil simulasi akan diolah dalam bentuk tabel menggunakan *excel* dan grafik didapatkan pada perangkat lunak yang kemudian dianalisis secara kuantitatif maupun kualitatif. Analisis yang dilakukan meliputi pengaruh jenis material *fin* dan variasi kecepatan udara terhadap perpindahan panas konveksi melalui *plain fin and tube*.

3.8.1 Variasi yang Dilakukan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi kecepatan aliran fluida sisi *inlet* dan material *fin* dengan temperatur *tube wall constant* terhadap besarnya perpindahan panas konveksi paksa pada *plain fin and tube* serta mengetahui distribusi *temperature* yang terjadi disepanjang *plain fin* serta distribusi *velocity* dan *temperature* pada *plane* diantara *fin*. Simulasi dilakukan pada software FLUENT 18.1 dengan geometri dan *meshing* yang telah dibuat dengan *software* GAMBIT 2.4.6

berdasarkan kondisi operasi dan mengulanginya dengan menggunakan variasi yang dijelaskan pada tabel 3.9.

Table 5.7 Variasi yang unakukan pada sinidiasi		
No	Velocity	Fin Material
1	1 m/s	Copper
2	8 m/s	
3	1 m/s	Alluminium
4	8 m/s	
5	1 m/s	Steel
6	8 m/s	

Tabel 3.9 Variasi yang dilakukan pada simulasi

Tabel 3. 10 Reynolds variasi kecepatan

Velocity (m/s)	Mass Flow	G	Reynolds	Jcolburn (10^-2)
1	0,96	1,72	304,7	1,93
8	7,65	13,73	2437,6	0,98

Hasil dari variasi yang dilakukan adalah kontur temperatur pada *fin*, kontur temperatur dan kecepatan pada *plane between fin* pada tiap variasi kecepatan aliran fluida masuk dan *fin material*.

3.8.2 Data Hasil Simulasi

Pada penelitian ini, data hasil simulasi yang akan diambil berupa data kuantitatif dan data kualitatif. Data kualitatif berupa kontur temperatur pada *fin* dan *plane between fin*, kontur *velocity*, serta *pathline* pada *plane between fin*. Data kuantitatif berupa temperatur rata rata *fin*, temperature outlet udara dan pada titik titik dibawah diambil data temperatur, *velocity* dan tekanan.



Gambar 3. 14 Titik pengambilan data pada *fin* dan *mid-plane* diantara *fin* untuk *tube* 1, 2, dan 3

Data yang diambil kemudian akan diolah sedemikian rupa sehingga didapatkan nilai efisiensi dan efektifitas *fin*.
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tabel dan Contoh Perhitungan

4.1.1 Tabel Perhitungan (lampiran)

4.1.2 Contoh Perhitungan4.1.2.1 Perhitungan Koefisien Konveksi (Simulasi)

T _{UDARA IN}	301	Κ	Temperatur udara masuk kondenser
Tudara out	314,126	Κ	Temperatur udara keluar kondenser
$q^{\prime\prime}$	176,767	W/m^2	Heat flux <i>fin</i>
$\overline{T_f}$	314,5199	K	Temperatur rata rata <i>fin</i>

Perhitungan koefisien konveksi dilakukan pada data dengan kecepatan udara 1,34 m/s dengan *bulk temperature*

$$\overline{T_{\infty}} = \frac{Tin + Tout}{2}$$
$$\overline{T_{\infty}} = \frac{301 + 3014, 126}{2} \text{ K}$$
$$\overline{T_{\infty}} = 307, 563 \text{ K}$$

Perhitungan nilai koefisien konveksi menggunakan nilai heat flux dan temperatur rata rata *fin*.

$$h = \frac{q''}{(\overline{T_{\infty}} - \overline{T_f})} - \frac{176,761}{(307,563 - 314,5199)} \\ h = 25,40814 \text{ W/m K}$$

4.1.2.2 Perhitungan Efisiensi

T _{UDARA IN}	301	Κ	Temperatur udara masuk kondenser
TUDARA OUT	312,627	K	Temperatur udara keluar kondenser
$\overline{T_f}$	314,5199	Κ	Temperatur rata rata fin

Perhitungan efisiensi pada data dengan kecepatan 1 m/s dengan variasi material *fin Steel* adalah sebagai berikut.

$$T_{\infty} = \frac{Tin + Tout}{2}$$
$$T_{\infty} = \frac{301 + 3014,627}{2} \text{ K}$$
$$T_{\infty} = 306,813 \text{ K}$$

$$\eta_{f} = \frac{q_{fin}}{q_{fin\,max}} = \frac{h A_{f} (\overline{T_{f}} - \overline{T_{\infty}})}{h A_{f} (\overline{T_{b}} - \overline{T_{\infty}})}$$
$$\eta_{f} = \frac{(314,6 - 306,813)K}{(315 - 306,813)K}$$
$$\eta_{f} = 0,7292$$

4.1.2.3 Perhitungan Efektifitas

T _{UDARA IN}	301	Κ	Temperatur udara masuk kondenser
T _{UDARA OUT}	312,627	Κ	Temperatur udara keluar kondenser
Ab	3,649	m^2	Luas efektif tube
Af	68,016	m^2	Luas efektif <i>fin</i>
$\overline{T_f}$	314,5199	Κ	Temperatur rata rata <i>fin</i>
$\overline{\overline{T_b}}$	315	Κ	Temperatur rata rata wall tube

Perhitungan *effectiveness* pada data dengan kecepatan 1 m/s dengan variasi material *fin steel* adalah sebagai berikut.

$$\varepsilon_{f} = \frac{q_{fin}}{q_{without fin}} = \frac{h A_{f} (\overline{T_{f}} - \overline{T_{\infty}})}{h A_{b} (\overline{T_{b}} - \overline{T_{\infty}})}$$

$$\varepsilon_{f} = \frac{68,016 \ m^{2} \ (312,7832 - 306,8135)K}{3,648 \ m^{2} \ (315 - 306,8135)K}$$

$$\varepsilon_{f} = 13,592$$

 $\overline{T_h}$

4.2 Hasil Simulasi

4.2.1 Kontur Temperatur *Fin* dengan Variasi Kecepatan Udara 1 m/s



Gambar 4.1 Kontur temperatur *fin* dengan kecepatan inlet udara 1 m/s untuk (a) *copper fin*, (b) *aluminium fin*, (c) *steel fin*

Dapat dilihat pada gambar 4.1, bahwasannya ada perbedaan kontur temperatur *fin* pada kecepatan udara 1 m/s dengan variasi jenis material *fin*. Pada material *fin steel*, warna merah yang menandakan nilai temperatur tinggi terlihat lebih mendominasi dibeberapa lokasi jika dibandingkan dengan material *fin copper* dan *aluminium*, hal ini menandakan bahwasannya temperatur tidak terdistribusi secara merata sehingga temperatur *fin* pada daerah tertentu masih rendah dan pada daerah yang lain masih sangat tinggi. Kontur temperatur semakin terdistribusi merata seiring dengan kenaikan nilai konduktivitas material *fin*, sehingga pada variasi material *fin copper* warna merah mendominasi hampir diseluruh permukaan.

Konduktivitas merupakan kemampuan suatu material untuk menghantarkan panas. Urutan nilai konduktivitas material *fin* dari yang paling tinggi adalah *copper*, *aluminium* dan *steel*. Semakin tinggi nilai koefisien konduksi, maka material tersebut akan semakin mudah menghantarkan panas dari daerah bertemperatur tinggi menuju ke temperatur yang lebih rendah sehingga distribusi temperatur pada material akan lebih terdistribusi merata.

Hasil simulasi menunjukkan hasil yang sesuai dengan teori yang ada, yaitu kontur temperatur semakin terdistribusi merata seiring dengan kenaikan nilai konduktivitas material *fin*. Material *fin copper* memiliki kontur temperatur *fin* yang paling terdistribusi merata dibandingkan dengan aluminum dan *steel*.

4.2.2 Kontur Temperatur *Fin* dengan Variasi Kecepatan Udara 8 m/s



untuk (a) copper fin, (b) aluminum fin, (c) steel fin

Dapat dilihat pada gambar 4.2, bahwasannya perbedaan kontur temperatur *fin* pada kecepatan udara 8 m/s dengan variasi jenis material *fin* cukup signifikan. Pada material *fin steel*, warna merah yang menandakan nilai temperatur tinggi terlihat lebih mendominasi dibeberapa lokasi jika dibandingkan dengan material *fin copper* dan *aluminium*, hal ini menandakan bahwasannya temperatur tidak terdistribusi secara merata sehingga temperatur *fin* pada daerah tertentu masih rendah dan pada daerah yang lain masih sangat tinggi. Kontur temperatur semakin terdistribusi merata seiring dengan kenaikan nilai konduktivitas material *fin*, sehingga pada variasi material *fin copper* warna merah mendominasi hampir diseluruh permukaan.

Konduktivitas merupakan kemampuan suatu material untuk menghantarkan panas. Urutan nilai konduktivitas material *fin* dari yang paling tinggi adalah *copper*, *aluminium* dan *steel*. Semakin tinggi nilai koefisien konduksi, maka material tersebut akan semakin mudah menghantarkan panas dari daerah bertemperatur tinggi menuju ke temperatur yang lebih rendah sehingga distribusi temperatur pada material akan lebih terdistribusi merata.

Hasil simulasi menunjukkan hasil yang sesuai dengan teori yang ada, yaitu kontur temperatur semakin terdistribusi merata seiring dengan kenaikan nilai konduktivitas material *fin*. Material *fin copper* memiliki kontur temperatur *fin* yang paling terdistribusi merata dibandingkan dengan aluminum dan *steel*.



4.2.3 Perbandingan Kontur Temperatur Fin dengan Variasi Kecepatan Udara 1 m/s dan 8 m/s

Gambar 4.3 Kontur temperatur *fin* dengan kecepatan inlet udara 1 m/s untuk (a) *copper fin*, (b) aluminum *fin*, (c) *steel fin* dan kecepatan inlet udara 8 m/s untuk (d) *copper fin*, (e) aluminum *fin*, (f) *steel fin*

Pada gambar 4.3, terdapat perbedaan kontur temperatur *fin* dengan variasi material *fin* dan variasi kecepatan udara 1 m/s dan 8 m/s. Kontur temperatur *fin* pada variasi kecepatan 8 m/s lebih

dingin jika dibandingkan dengan variasi kecepatan 1 m/s. Hal ini ditandai dengan dominasi warna hijau yang menandakan nilai temperatur rendah, sedangkan pada variasi kecepatan 1 m/s didominasi oleh warna merah yang menandakan nilai temperatur tinggi.

Menurut teori, semakin tinggi nilai kecepatan udara maka semakin tinggi pula nilai koefisien konveksi. Berikut adalah kaitannya

$$R_e = \frac{\rho.\vec{V}.D_h}{\mu}$$
$$N_u = C.R_e^m.P_r^n$$
$$N_u = \frac{h.D_h}{k}$$

Meningkatnya nilai kecepatan akan meningkatkan nilai *Reynolds*. Meningkatnya nilai Reynolds akan memengaruhi nilai Nusselt. Saat *Nusselt Number* tinggi maka koefisien konveksi juga akan tinggi nilainya. Tingginya nilai koefisien konveksi akan mempermudah penghantaran panas dari *fin* menuju ke udara, sehingga temperatur *fin* nantinya akan menjadi lebih dingin.

Hasil simulasi menunjukkan hasil yang sesuai dengan teori yang ada, dimana semakin bertambahnya nilai kecepatan udara maka kontur temperatur *fin* yang dihasilkan menjadi lebih dingin.

4.2.4 Kontur Temperatur Udara pada *Plane* Diantara *Fin* Dengan Variasi Kecepatan Udara 1 m/s



Gambar 4.4 Kontur temperatur udara diantara *fin* dengan kecepatan inlet udara 1 m/s untuk material *fin* (a) *copper*, (b) aluminum dan (c) *steel*

Gambar 4.4 menunjukkan kontur temperatur udara pada *plane* diantara *fin* dengan kecepatan udara 1 m/s dan variasi material *fin*. Dapat dilihat bahwa udara pada variasi material *fin steel* mangalami keterlambatan pemanasan. Hal ini ditandai dengan masih adanya kontur berwarna biru setelah melewati *tube* kedua padahal pada variasi material *fin aluminium* dan *steel* sudah tidak ada. Keterlambatan penanasan ini dikarenakan distribusi temperatur *fin* dengan variasi material *fin steel* tidak terdistribusi merata sehingga di awal *fin* tidak dapat memanaskan udara atau panas tidak dapat berpindah dengan baik. Kontur temperatur udara *fin* dengan variasi material *fin copper* paling didominasi oleh warna merah dibandingkan dengan *aluminium* dan *steel*, hal ini dikarenakan nilai konduktivitas *copper* sangat bagus sehingga distribusi temperatur *fin* merata dan *fin* dapat memindahkan panas ke udara dengan baik.

Berdasarkan teori, semakin tinggi nilai konduktivitas suatu material maka panas akan semakin mudah berpindah. Berikut adalah kaitannya

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h} + \frac{L}{k}}$$

Dimana L adalah panjang *fin*, k adalah koefisien konduktivitas *fin*, h adalah koefisien konveksi dari udara dan A adalah luasan dari *fin*. Sehingga apabila kita menghitung untuk kalor yang berpindah dari *fin* menuju ke udara secara sederhana maka dapat dikalkulasi dengan menggunakan perumusan:

$$q = U A \left(T_f - T_{air} \right)$$

Sehingga dapat dikalkulasikan bahwasnya ketika koefisien konduksi mengingkat maka q juga akan meningkat, sehingga kalor akan jauh lebih mudah dalam berpindah. Sehingga temperatur dapat dengan mudah terdistribusi merata.

Dari penjelasan teori diatas dapat disimpulkan bahwasanya hasil dari simulasi sudah sesuai dengan teori yang ada.

4.2.5 Kontur Temperatur Udara pada Plane Diantara Fin Dengan Variasi Kecepatan Udara 8 m/s



Gambar 4.5 Kontur temperatur udara diantara *fin* dengan kecepatan inlet udara 8 m/s untuk material *fin* (a) *copper*, (b) aluminum dan (c) *Steel*

Gambar 4.5 menunjukkan kontur temperatur udara pada plane diantara fin dengan kecepatan udara 8 m/s dan variasi material fin. Dapat dilihat bahwa udara pada variasi material fin steel mangalami keterlambatan pemanasan. Hal ini ditandai dengan masih adanya kontur berwarna biru setelah melewati tube keempat padahal pada variasi material fin aluminium dan Steel sudah tidak ada. Keterlambatan penanasan ini dikarenakan distribusi temperatur fin dengan variasi material fin steel tidak terdistribusi merata sehingga di awal fin tidak dapat memanaskan udara atau panas tidak dapat berpindah dengan baik. Kontur temperatur udara pada plane diantara fin dengan variasi material fin copper paling didominasi oleh warna merah dibandingkan dengan *aluminium* dan *steel*, hal ini dikarenakan nilai konduktivitas *copper* sangat bagus sehingga distribusi temperatur fin merata dan fin dapat memindahkan panas ke udara dengan baik.

Berdasarkan teori, semakin tinggi nilai konduktivitas suatu material maka panas akan semakin mudah berpindah. Berikut adalah kaitannya

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h} + \frac{L}{k}}$$

Dimana L adalah panjang *fin*, k adalah koefisien konduktivitas *fin*, h adalah koefisien konveksi dari udara dan A adalah luasan dari *fin*. Sehingga apabila kita menghitung untuk kalor yang berpindah dari *fin* menuju ke udara secara sederhana maka dapat dikalkulasi dengan menggunakan perumusan:

$$q = U A \left(T_f - T_{air} \right)$$

Sehingga dapat dikalkulasikan bahwasnya ketika koefisien konduksi mengingkat maka q juga akan meningkat, sehingga kalor akan jauh lebih mudah dalam berpindah. Sehingga temperatur dapat dengan mudah terdistribusi merata.

Dari penjelasan teori diatas dapat disimpulkan bahwasanya hasil dari simulasi sudah sesuai dengan teori yang ada.



4.2.6 Kontur Temperatur Udara pada Plane Diantara Fin Dengan Variasi Kecepatan Udara 1 m/s dan 8 m/s



Gambar 4.6 menunjukkan kontur temperatur udara pada *plane* diantara *fin* kecepatan udara 1 m/s dan 8 m/s dengan variasi material *fin*. Dapat dilihat bahwa udara pada variasi kecepatan 8 m/s memiliki kontur yang lebih didominasi dengan warna hijau yg menunjukkan nilai temperatur cukup rendah jika dibandingkan dengan kontur temperatur pada kecepatan 1 m/s. Warna hijau yang mendominasi dikarenakan pada kondisi *steady* semakin tingginya kecepatan udara maka udara tidak memiliki waktu yang cukup untuk menyerap panas dari *fin*.

Dalam kondisi steady, semakin tinggi kecepatan udara maka waktu yang dibutuhkan untuk melintasi suatu geometri dengan dimensi yang sama akan semakin sedikit. Waktu untuk melintasi geometri yang hanya sebentar, menyebabkan semakin berkurangnya waktu yang cukup untuk menyerap panas *fin* pada titik tertentu.

Hasil dari simulasi sudah sesuai dengan teori yang ada bahwa temperatur pada titik tertentu di *plane* diantara dua *fin* lebih dingin ketika variasi kecepatan meningkat. 4.2.7 Perbandingan Kontur Kecepatan dan Pathline pada Plane Diantara Fin dengan Variasi Kecepatan Udara 1 dan 8 m/s



Gambar 4.7 Kontur kecepatan *plane* diantara dua *fin* dengan (a) kecepatan inlet udara 1 m/s, (b) kecepatan inlet udara 8 m/s dan *pathline* untuk (d) kecepatan inlet udara 1 m/s, (e) kecepatan inlet udara 8 m/s

Gambar 4.7 menunjukkan kontur kecepatan udara dan *pathline* pada *plane* diantara *fin* kecepatan udara 1 m/s dan 8 m/s dengan variasi material *fin*. Dapat dilihat bahwa kontur kecepatan udara pada variasi kecepatan 8 m/s memiliki range nilai yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan kontur kecepatan pada variasi kecepatan 1 m/s. Pada *pathline*, terlihat bahwasannya kontur dengan variasi kecepatan udara 8 m/s memiliki *wake*/pusaran yang lebih luas daerahnya setelah melewati *tube*. Sehinngga dapat dikatakan bahwa 8 m/s lebih turbulen jika dibandingkan dengan 1 m/s.

Fluida dengan kecepatan yang lebih tinggi melewati suatu geometri dengan dimensi yang sama akan cenderung lebih memunculkan *wake*/pusaran.

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

Kondisi aliran suatu fluida dapat ditandai dengan menghitung besarnya nilai Reynolds, dimana semakin tinggi kecepatan fluida maka Reynolds juga akan makin besar nilainya. Aliran yang memiliki nilai Reynolds lebih tinggi merupakan aliran yang lebih turbulen.

Dapat ditarik kesimpulan bahwa hasil dari simulasi sesuai dengan teori yang ada, yaitu semakin tinggi kecepatan maka semakin besar *wake*/pusaran yang terjadi

4.2.8 Grafik Perbandingan Temperatur Rata-Rata Fin Terhadap Jenis Material Fin dengan Variasi Kecepatan Udara 1 dan 8 m/s



Gambar 4.8 Grafik perbandingan temperatur rata-rata *fin* terhadap jenis material *fin* dengan variasi kecepatan udara 1 dan 8

m/s

Gambar 4.8 menunjukkan perbandingan temperatur ratarata *fin* terhadap jenis material *fin* dengan variasi kecepatan udara 1 dan 8 m/s. Pada kecepatan 1 m/s temperatur *fin Copper* sebesar 314,7834 K, *aluminium* 314,6121 K, dan *steel* 312,7832. Pada kecepatan 8 m/s, temperatur *fin copper* sebesar 314,1018 K, *aluminium* 313,4905 K, dan *steel* 308,4257. Dapat dilihat bahwasannya pada kecepatan yang sama dan variasi material berbeda, trendline grafik semakin ke kanan turun ditandai dengan nilai temperatur *fin* selaras dengan penurunan nilai konduktivitas material *fin*. Sedangkan pada variasi kecepatan berbeda dan jenis material *fin* yang sama, temperatur rata *rata fin* pada 8 m/s, memiliki nilai yang lebih kecil atau bisa diartikan temperatur *fin*nya lebih dingin. Penurunan temperatur *fin* selaras dengan kenaikan nilai kecepatan udara. Temperatur rata rata *fin* cenderung akan turun selaras dengan penurunan nilai konduktivitas material *fin*.

$q = k A \Delta T$

Semakin rendah nilai konduktivitas material *fin*, maka perpindahan panas yang terjadi dari *tube* ke seluruh permukaan *fin* akan semakin tidak tersebar merata sehingga temperatur rata-rata *fin* memiliki nilai yang lebih rendah. Sedangkan semakin tinggi nilai kecepatan udara maka semakin banyak pula perpindahan panas yang terjadi

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$
$$Nu = f (Re)$$
$$Nu = \frac{h L}{k}$$
$$q = h A \Delta T$$

Semakin naik nilai kecepatan maka Reynolds juga semakin besar yang kemudian nilai Nusselt juga akan naik. Kenaikan nilai Nuselt menyebabkan kenaikan nilai koefisien konveksi. Semakin tingginya nilai koefisien konveksi, maka perpindahan panas dari *fin* menuju ke udara juga akan mengingkat sehingga temperatur rata rata *fin* lebih dingin

Grafik sesuai dengan teori yang ada, yaitu penurunan nilai temperatur rata rata *fin* selaras dengan penurunan nilai konduktivitas material *fin* pada variasi kecepatan yang sama dan penurunan nilai temperatur rata rata *fin* selaras dengan kenaikan nilai kecepatan udara pendingin pada variasi material *fin* yang sama.

4.2.9 Grafik Perbandingan Temperatur Outlet Fin terhadap Jenis Material Fin dengan Variasi Kecepatan Udara 1 dan 8 m/s



Gambar 4.9 Grafik perbandingan temperatur outlet *fin* terhadap jenis material *fin* dengan variasi kecepatan udara 1 dan 8 m/s

Gambar 4.9 menunjukkan perbandingan temperatur outlet *fin* terhadap jenis material *fin* dengan variasi kecepatan udara 1 dan 8 m/s. Pada kecepatan 1 m/s temperatur output dengan variasi material *fin copper* sebesar 314,665 K, *aluminium* 314,296 K, dan *steel* 308,4257. Pada kecepatan 8 m/s, temperatur output dengan variasi material *fin copper* sebesar 310,11 K, *aluminium* 309,682 K, dan *steel* 305,99. Dapat dilihat bahwasannya pada kecepatan yang sama dan variasi material berbeda, trendline grafik semakin ke kanan turun ditandai dengan nilai temperatur outlet yang semakin kecil. Penurunan nilai temperatur outlet selaras dengan penurunan nilai konduktivitas material *fin* yang sama, temperatur outlet pada 8 /s memiliki nilai yang lebih kecil. Penurunan temperatur outlet selaras dengan kenaikan nilai kecepatan udara.

Temperatur outlet cenderung akan turun selaras dengan penurunan nilai konduktivitas material *fin*.

$q = k A \Delta T$

Semakin rendah nilai konduktivitas material *fin*, maka perpindahan panas yang terjadi dari *tube* ke seluruh permukaan *fin* akan semakin tidak tersebar merata sehingga panas yang berpindah dari *fin* ke udara juga berkurang ditandai denganmiliki nilai yang lebih rendah. Dalam kondisi steady, semakin tinggi kecepatan udara maka waktu yang dibutuhkan untuk melintasi suatu geometri dengan dimensi yang sama akan semakin sedikit. Waktu untuk melintasi geometri yang hanya sebentar, menyebabkan semakin berkurangnya waktu yang cukup bagi udara di titik tertentu untuk menyerap panas *fin*. Sehingga temperatur udara outlet akan lebih rendah nilainya. Walaupun nilai outlet temperatur udara pada kecepatan rendah bernilai tinggi, energi yang diperoleh udara akan bernilai kecil jika dibandingkan dengan udara berkecepatan tinggi.

$$\dot{m} = \rho v A f r$$
$$q = \dot{m} C_p (Tin - Tout)$$

Semakin tinggi kecepatan maka akan semakin tinggi nilai mdot. Kenaikan nilai m dot lebih besar nilainya jika dibandingkan dengan penurunan nilai outlet temperatur udara, sehingga nantinya akan tetap diperoleh energi yang lebih besar seiring dengan meningkatnya nilai kecepatan udara

Dapat ditarik kesimpulan bahwa grafik yang ada sudah sesuai dengan teori, yaitu penurunan nilai temperatur outlet selaras dengan penurunan nilai konduktivitas material *fin* pada variasi kecepatan yang sama dan nilai energi yang diperoleh udara meningkat selaras dengan kenaikan nilai kecepatan udara pendingin pada variasi material *fin* yang sama akibat penurunan nilai temperatur yang lebih kecil jika dibandingkan dengan kenaikan nilai kecepatan udara.

4.2.10 Grafik Perbandingan Temperatur Fin Terhadap Titik-Titik Diantara Tube dengan Variasi Jenis Material Fin dan Kecepatan Udara Pada Tube 1, 2, dan 3



Gambar 4.10 Grafik perbandingan temperatur *fin* terhadap titiktitik diantara *tube* pada *tube* 1, 2, dan 3 dengan variasi kecepatan udara inlet 1 m/s (a) material *fin copper* (b) material *fin aluminium* (c) material *fin steel* dan variasi kecepatan udara inlet 8 m/s (a) material *fin copper* (b) material *fin aluminium* (c) material *fin steel*

Gambar 4.10 menunjukkan perbandingan temperatur fin terhadap titik-titik diantara tube dengan variasi jenis material fin dan kecepatan udara pada tube 1, 2, dan 3. Grafik menunjukkan bahwasannya nilai temperatur terendah pada kecepatan 1 m/s material copper antara lain tube 1 sebesar 314,22 K, tube 2 sebesar 314,76 K, dan tube 3 sebesar 314,85 K. Hal ini membuktikan bahwasannya nilai temperatur pada tiap titik akan mengalami kenaikan dari tube 1 hingga tube 3 pada variasi kecepatan dan material yang sama. Ketika kecepatan 1 m/s, temperatur terendah pada tube 1 antara lain copper sebesar 314,22 K, aluminium sebesar 313,6 K, dan steel sebesar K. Dapat dilihat bahwa nilai temperatur pada tiap titik akan mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya nilai konduktivitas. Nilai temperatur terendah pada tube 1 material copper dengan variasi kecepatan 1 m/s sebesar 314,22 K dan kecepatan 8 m/s sebesar 313,1 K. Maka, semakin tingi nilai kecepatan udara akan semakin rendah nilai temperatur pada tiap titik baik *tube* 1, 2, dan 3. Nilai temperatur terendah setiap garis pada grafik terletak pada titik 5, dimana posisinya terletak jauh dari *tube* dan akan semakin meningkat nilainya seiring dengan berkurangnya jarak titik ke tube

Nilai temperatur tiap titik akan mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya nilai konduktivitas material *fin*.

$$q = k A \Delta T$$

Semakin tinggi nilai konduktivitas material *fin*, maka perpindahan panas yang terjadi dari *tube* ke seluruh permukaan *fin* akan semakin tersebar merata. Nilai temperatur juga mengalami kenaikan dari *tube* 1, 2, dan 3, hal ini dikarenakan setiap melewati *tube* maka terjadi perpindahan panas yang mengakibatkan temperatur udara akan naik. Ketika temperatur udara makin naik, maka selisih temperatur *fin* dan udara mengecil sehingga perpindahan panas tidak terjadi sebesar saat temperatur udara masih dingin

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$
$$Nu = f (Re)$$

$$Nu = \frac{h L}{k}$$
$$q = h A \Delta T$$

Selain konduktivitas, koefisien konveksi juga memengaruhi adanya perpindahan panas. Semakin tinggi nilai kecepatan udara maka akan meningkatkan nilai koefisien konveksi, hal ini akan mempermudah perdindahan panas terjadi sehingg tiap titik pada *fin* akan mengalami penurunan nilai temperatur seiring dengan bertambahnya nilai kecepatan udara.

Dapat ditarik kesimpulan bahwa grafik yang ada sudah sesuai dengan teori, yaitu kenaikan nilai temperatur selaras dengan kenaikan nilai kondutivitas material *fin*, penurunan kecepatan udara, dan *tube* ke-n yang telah dilalui

4.2.11 Grafik Perbandingan Kecepatan Pada Plane Diantara Fin Terhadap Titik-Titik Diantara Tube Variasi Jenis Material Fin pada Kecepatan Udara 1 m/s dan 8 m/s



Gambar 4.11 Grafik perbandingan kecepatan pada *plane* diantara *fin* terhadap titik-titik diantara *tube* pada *tube* 1, 2, dan 3 dengan

(a) kecepatan udara 1 m/s, (b) kecepatan udara 8 m/s.

Gambar 4.11 menunjukkan perbandingan kecepatan pada *plane* diantara *fin* terhadap titik-titik diantara *tube* pada *tube* 1, 2, dan 3 dengan variasi kecepatan udara 1 dan 8 m/s. Berdasarkan grafik, baik pada variasi kecepatan udara 1 m/s dan 8 m/s dapat dilihat bahwa nilai kecepatan tiap titik makin bertambah dari *tube*

1 ke *tube* 3, kecuali pada titik 5 karena kecepatan terendah selalu terletak pada titik ke 5. Dapat dilihat bahwa nilai kecepatan titik ke 5 pada *tube* 3 sebesar 1,5 m/s untuk kecepatan udara 1 m/s dan 7 m/s untuk kecepatan udara 8 m.s. Jika dibandingkan, nilai kecepatan pada titik dan *tube* ke-n yang sama meningkat seiring dengan naiknya kecepatan udara

Nilai kecepatan dari *tube* 1 menuju ke *tube* berikutnya cenderung akan bertambah pada tiap titiknya hal ini dikarenakan adanya efek turbulensi akibat *wake* yang terbentuk setelah udara melewati *tube*. Titik ke 5 yang terletak tepat diantara 2 *tube* merupakan titik yang langsung terkena efek dari *wake* yang terjadi dibelakang *tube*. Maka seharusnya nilai kecepatan di titik 5 terendah pada *tube* 3.

Grafik sesuai dengan teori dimana terjadi pengurangan kecepatan terutama pada titik 5, penambahan kecepatan pada titik lain seiring dengan makin banyaknya *tube* yang dilewati akibat dari adanya *wake* yang terjadi dibelakang *tube*.

4.2.12 Grafik Perbandingan Nilai *Efficiency Fin* Terhadap Variasi Jenis Material *Fin* Pada Kecepatan Udara Inlet 1 m/s dan 8 m/s



Gambar 4.12 Grafik perbandingan nilai *efficiency fin* terhadap variasi jenis material *fin* pada kecepatan udara inlet 1 m/s dan 8

m/s

Gambar 4.12 perbandingan nilai *Efficiency fin* terhadap variasi jenis material *fin* pada kecepatan udara inlet 1 m/s dan 8 m/s. Pada kecepatan 1 m/s nilai *efficiency fin* dengan variasi material *fin copper* sebesar 0,969779, *aluminium* 0,947237, dan *steel* 0,729207. Pada kecepatan 8 m/s, nilai *efficiency fin* dengan variasi material *fin copper* sebesar 0,981646, *aluminium* 0,980344, dan *steel* 0,96917. Dapat dilihat bahwasannya pada material yang sama, nilai *efficiency fin* dengan kecepatan 8 m/s lebih tinggi jika dibandingkan dengan *Efficiency fin* dengan kecepatan 8 m/s. Pada kecepatan yang sama, nilai *efficiency fin* tertinggi adalah *copper* dan yang paling rendah *steel*, namun pada kecepatan 8 m/s beda nilainya tidak terlalu signifikan. Nilai *efficiency fin* berkurang seiring dengan menurunnya nilai konduktivitas material *fin*

Efisiensi *fin* akan bertambah seiring dengan naiknya konduktivitas jenis material *fin*

$$\eta_f = \frac{q_{fin}}{q_{fin\,max}} = \frac{h A_f (\overline{T_f} - \overline{T_{\infty}})}{h A_f (\overline{T_b} - \overline{T_{\infty}})}$$

Makin tinggi nilai konduktivitas material *fin*, maka nilai temperatur *fin* rata-rata juga akan meningkat karena panas dari *tube* ke *fin* akan lebih tersebar merata sehingga nantinya menyebabkan nilai efisiensi *fin* akan naik. *Efficiency fin* bertambah seiring dengan naiknya variasi kecepatan udara. Naiknya kecepatan udara menyebabkan selisih nilai antara temperatur *fin* rata-rata dengan temperature rata rata udara meningkat sehingga nilai *efficiency* juga akan meningkat.

Dapat ditarik kesimpulan bahwa grafik yang ada sudah sesuai dengan teori, yaitu *efficiency* akan meningkat seiring dengan kenaikan kecepatan udara dan nilai konduktivitas material *fin*

4.2.13 Grafik Perbandingan Nilai *Effectiveness Fin* Terhadap Variasi Jenis Material *Fin* Pada Kecepatan Udara Inlet 1 m/s dan 8 m/s





Gambar 4.13 perbandingan nilai *effectiveness fin* terhadap variasi jenis material *fin* pada kecepatan udara inlet 1 m/s dan 8 m/s. Pada kecepatan 1 m/s nilai *effectiveness fin* dengan variasi material *fin copper* sebesar 18,076, *aluminium* 17,656, dan *steel* 13,59244. Pada kecepatan 8 m/s, nilai *effectiveness fin* dengan variasi material *fin copper* sebesar 18,297, *aluminium* 18,27364, dan *steel* 18,06536. Dapat dilihat bahwasannya pada material yang sama, nilai *effectiveness fin* dengan kecepatan 8 m/s lebih tinggi jika dibandingkan dengan *effectiveness fin* dengan kecepatan 8 m/s. Pada kecepatan yang sama, nilai *Efficiency fin* tertinggi adalah *copper* dan yang paling rendah *steel*, namun pada kecepatan 8 m/s selisih nilainya tidak terlalu signifikan. Nilai *effectiveness fin* berkurang seiring dengan menurunnya nilai konduktivitas material *fin*

Effectiveness fin akan bertambah seiring dengan naiknya konduktivitas jenis material *fin*, berikut dalah perumusannya :

$$\eta_f = \frac{q_{fin}}{q_{fin\,max}} = \frac{h A_f (\overline{T_f} - \overline{T_{\infty}})}{h A_b (\overline{T_b} - \overline{T_{\infty}})}$$

Makin tinggi nilai konduktivitas material *fin*, maka nilai temperatur *fin* rata-rata juga akan meningkat karena panas dari *tube* ke *fin* akan lebih tersebar merata sehingga nantinya menyebabkan nilai *effectiveness fin* akan naik. *Effectiveness fin* bertambah seiring dengan naiknya variasi kecepatan udara. Naiknya kecepatan udara menyebabkan selisih nilai antara temperatur *fin* rata-rata dengan temperature rata rata udara meningkat sehingga nilai *effectiveness* juga akan meningkat.

Dapat ditarik kesimpulan bahwa grafik yang ada sudah sesuai dengan teori, yaitu *effectiveness* akan meningkat seiring dengan kenaikan kecepatan udara dan nilai konduktivitas material *fin*

4.2.14 Grafik Perbandingan Nilai Koefisien Konveksi Rata-Rata Eksperimen dan Simulasi dengan Jenis Material *Fin Aluminium* pada Kecepatan Udara 1 dan 8 m/s





Gambar 4.14 menunjukkan perbandingan nilai koefisien konveksi rata-rata eksperimen dan simulasi dengan jenis material *fin aluminium* pada kecepatan udara 1 m/s dan 8 m/s. Berdasarkan eksperimen didapatkan nilai koefisien konveksi sebesar 22,2388 $\frac{W}{m^2 K}$ pada kecepatan 1,34 m/s, 26,382 $\frac{W}{m^2 K}$ pada kecepatan 1,55 m/s, dan 30,90182 $\frac{W}{m^2 K}$ pada kecepatan 1,92 m/s. Hasil simulasi didapatkan nilai koefisien konveksi sebesar 25,40814 $\frac{W}{m^2 K}$ pada kecepatan 1,34 m/s, 29,88243 $\frac{W}{m^2 K}$ pada kecepatan 1,55 m/s, dan 37,6341 $\frac{W}{m^2 K}$ pada kecepatan 1,92 m/s. Nilai koefisien konveksi

meningkat seiring dengan bertambahnya nilai kecepatan udara. Nilai koefisien konveksi hasil simulasi lebih tinggi dibandingkan dengan hasil eksperimen, namun selisih nilainya tidak banyak.

Semakin tinggi nilai kecepatan udara maka akan semakin tinggi pula nilai koefisien konveksinya

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$
$$Nu = f (Re)$$
$$Nu = \frac{h L}{k}$$
$$q = h A \Delta T$$

Semakin tinggi nilai kecepatan udara maka Relynolds akan meningkat. Nilai Reynolds memengaruhi nilai Nusselt. Ketika nilai Nusselt tinggi, maka nilai koefisien konveksi pun akan meningkat.

Dapat ditarik kesimpulan bahwa grafik yang ada sudah sesuai dengan teori, yaitu penurunan nilai temperatur outlet selaras dengan penurunan nilai konduktivitas material *fin* pada variasi kecepatan yang sama dan penurunan nilai temperatur outlet selaras dengan kenaikan nilai kecepatan udara pendingin pada variasi material *fin* yang sama.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- 1. Pada kecepatan yang sama, kontur temperatur fin semakin didominasi oleh warna merah (sebagai indikasi nilai seiring dengan temperatur tinggi) kenaikan nilai konduktivitas. Urutan kontur temperatur *fin* dari yang paling didominasi warna merah adalah fin dengan material copper, aluminium, dan steel. Pada material fin yang sama, kontur temperatur fin semakin didominasi oleh warna hijau (sebagai indikasi nilai temperatur rendah) seiring dengan kenaikan nilai kecepatan. Kontur temperatur fin pada kecepatan 8 m/s lebih didominasi oleh warna hijau jika dibandingkan dengan kontur temperatur pada kecepatan 1 m/s
- 2. Kontur temperatur pada plane diantara fin semakin didominasi oleh warna merah (sebagai indikasi nilai tinggi) seiring dengan kenaikan temperatur nilai konduktivitas fin. Urutan kontur temperature plane dari yang paling didominasi warna merah adalah plane diantara fin copper, aluminium, dan steel. Pada material fin yang sama, kontur temperatur *plane* semakin didominasi oleh warna hijau (sebagai indikasi nilai temperatur rendah) seiring dengan kenaikan nilai kecepatan. Kontur temperatur *fin* pada kecepatan 8 m/s lebih didominasi oleh warna hijau jika dibandingkan dengan kontur temperatur pada kecepatan 1 m/s. Pada pathline terlihat bahwa area terbentuknya wake dibelakang tube bertambah seiring dengan kenaikan kecepatan udara.
- 3. Pada kecepatan 1 m/s *Efficiency fin* denngan variasi jenis material *fin copper* sebesar 0,969779, *aluminium* 0,947237, dan *steel* 0,729207. Pada kecepatan 8 m/s, nilai

efficiency fin dengan variasi material fin copper sebesar 0,981646, aluminium 0,980344, dan steel 0,96917. Pada kecepatan 1 m/s nilai effectiveness fin dengan variasi material fin copper sebesar 18,076, aluminium 17,656, dan steel 13,59244. Pada kecepatan 8 m/s, nilai Effectiveness fin dengan variasi material fin copper sebesar 18,297, aluminium 18,27364, dan steel 18,06536. Effectiveness dan efficiency akan meningkat seiring dengan kenaikan kecepatan udara dan nilai konduktivitas material fin.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian kedepannya, antara lain

- 1. Pada penelitian ini temperatur *tube* diasumsikan konstan dan ketebalan *tube* diabaikan, perlu diperhatikan untuk simulasi kedepannya agar menambahkan faktor material *tube*, ketebalan *tube* dan nilai koefisien konveksi fluida yang mengalir didalan *tube*.
- 2. Alangkah baiknya jika kedepannya pada setiap variasi dilakukan simulasi dengan berbagai jenis model turbulensi fluent untuk dibandingkan dengan eksperimen manakah metode yang paling mendekati.
- 3. Analisa temperatur dan kecepatan sudah dilakukan pada titik-titik antar *tube cross* dengan arah aliran, namun belum dilakukan pada titik-titik antar *tube* searah dengan arah aliran
- 4. Dapat dilakukan analisa koefisien konveksi lokal pada titik-titik antar *tube cross* dan atau searah dengan arah aliran dengan variasi geometri dan kecepatan

DAFTAR ACUAN

- Andarsgon, E, Andarszon, R., Hakansaon, L. Martanzen, M., Sudiya. R., & Wacham, E. (2012) Computational Fuid Dynamics for Engineers. Cambridge: Cambridge.
- AINSYS. Inc. (2013) Workbench User's Guide. Cannonzburg: ANSYS. Inc.
- Bajan, A. & Krauz, A. D. (2002). *Heat Transfer Handbook*. New Jersey: John Wiley & Sons. Inc.
- Cengel, Y. A. & Ghajar, A. 1. (2015). *Heat and Mass Transfer*. New York: Mc Graw Hill.
- Chavan, L & Purane, N. (2015) *Thermal Analysis of Pin Fin using Different Material and Forms*. International Journal of Science and Research (USR), 4.
- Douvartides, S. & Karmalis. 1. (2016). Working Fluid Selection for the Organic Rankine Cycle (ORC) Exhaust Heat Racovery of an Intenal Combustion Engine Power Plant **IOP Publishing**, 17.
- Fluent, Inc (2006). Fluent User's Guide. Lebanon: Fluent Inc
- Ghori, M V. & Kirar R. K. (2012). Numerical Analysis of Tube-Fin Haat Exchanger using Fluent. **ISSN**, 8.
- Incropera, F. P, Dewitt, D. P., Bergman, T. L & Lavine, A. S. (2011). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer Sixth Edition*. Jefferson City: John Wiley & Sons.
- Macchi, E. &Astolfi, M. (2017). *Organic Rankine Cycle (ORC) Power Systems*. Cambridge: Woodhead.

- Matos, R. S., Laursen, T. A Vargaz, J. V. & Bejan, A (2003). Optimaly Staggered Fined Circular and Eiptic Tubes in Forced Convection. Sciance, 8.
- Moran. M. J. Shapiro, H. N, Boettner D. D, & Bailey, M. E, (2011). *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*. Westford: John Wiley & Sons, Inc.
- Nassab, G. S., Bahrami, A., & Moosavi, R. (2011). *Entropy Generation in Convection Over an Inclined*. **International Journal Sciance and Technology Education Research**, 10.
- Singh. S., Sorensen, K, & Condra, T. (2015). *Multiphysics Numerical Modeling of a Fin and Tube Heat Exchanger*. **Researchgate**, 9.
- Versteeg, H. K., & Malalasekera. W. (2007). *An introduction to Computational Fluid Dynamics*. Glasgow: Pearson.

LAMPIRAN

TABEL PERHITUNGAN EFISIENSI DAN EFEKTIVITAS

	Nf		363	fins		
	Tf		0,95	m		
	tf		0,0002		m	
	Lf		0,10825	m		
	Pf		0,0018	m		
D		0.000				
	Do		0,008	m		
Nt		182	tubes			
Nt (1)		38		tubes		
	Tt		0,00013		m	
	Lt		0,87		m	



Ab (m2)	Af (m2)	Af/Ab	
3,649	68,016	18,64004	

		Tin (K)	Tout (K)	T outflow (K)	Tf (K)	EFISIENSI	EFEKTIVITAS
	Copper	301	314,665	314,48	314,78	0,9698	18,077
1 m/s	Aluminium	301	314,296	314,096	314,61	0,9472	17,657
	Steel	301	312,63	312,16	312,78	0,7292	13,592
	Copper	301	310,11	309,22	314,10	0,9816	18,298
8 m/s	Aluminium	301	309,682	308,81	313,49	0,9803	18,274
	Steel	301	305,99	305,29	308,43	0,9692	18,065

TABEL PERHITUNGAN VALIDASI

KECEPATAN (m/s)	Tout	T outflow (K)	Tf (K)	HEAT FLUX (W/m2)	Tin (K)	Koefisien Konveksi (W/m2 K)	
	(K)					Simulasi	Eksperimen
1,34	314	313,756	314,520	-176,761	301,000	25,408	22,239
1,55	313,806	313,372	314,471	-211,196	301,000	29,882	26,382
1,92	313,18	312,664	314,348	-273,155	301,000	37,634	30,902
BIOGRAFI PENULIS



Nur Alfa Fadhilaturrohmah lahir di Gresik pada tanggal 5 Oktober 1998. Penulis merupakan anak tunggal. Penulis memulai belajar di SD Muhammadiyah 1 Kebomas, SMPN 1 Gresik, SMAN 1 Gresik, hingga ke jenjang sarjana di Departemen Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2020 dengan NRP 021116410000002.

Penulis mengambil Bidang Studi Konversi Energi di Laboratorium Rekayasa Thermal. Penulis aktif berkegiatan dalam

bidang akademik diantaranya menjadi asisten praktikum mata kuliah Perpindahan Panas dan Mekanika Fluida, menjadi grader mata kuliah Elemen Mesin II dan Analisa Numerik. Selain itu, penulis juga menjadi guru privat beberapa siswa SD untuk pelajaran science, math, english, dan bahasa indonesia.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif berorganisasi Penulis menjadi staff Divisi Hubungan Luar LBMM ITS 2017-2018 dan Kabiro Eksternal Divisi Hubungan Luar LBMM ITS 2018-2019. Penulis juga aktif dalam kepanitian event-event yang ada di LBMM dan Departemen Teknik Mesin ITS, seperti *Mechanical City* (2017), *Engine tune Up* (2017 dan 2019), *Mechanical Skill Competition* (2018), Kursus Dasar-Dasar Otomotif dan Service Road To Campus (2017, 2018, dan 2019), serta masih banyak lagi. Penulis dapat dihubungi melalui email nuralfafadhlaturrohmah@gmail.com. "ALWAYS BE THE BEST VERSION OF YOURSELF"