

## DAFTAR ISI

<b>PENGESAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI .....</b>	<b>iii</b>
<b>NASKAH SOAL TUGAS AKHIR .....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xvi</b>
<b>INTISARI .....</b>	<b>xvii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xviii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah .....</b>	<b>5</b>
<b>1.3 Asumsi dan Batasan Masalah .....</b>	<b>5</b>
<b>1.4 Tujuan Penelitian .....</b>	<b>5</b>
<b>1.5 Manfaat Penelitian .....</b>	<b>6</b>
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>7</b>
<b>2.1 Perkembangan Sistem Pendinginan Metode Konveksi Paksa Udara .....</b>	<b>7</b>
<b>2.2 Metode Konveksi Paksa Pada Kanal Horizontal .....</b>	<b>11</b>
<b>BAB III LANDASAN TEORI.....</b>	<b>26</b>
<b>3.1 Metode Pendinginan Konveksi Paksa .....</b>	<b>26</b>
3.1.1 Konveksi Paksa pada Aliran Eksternal .....	26
3.1.2 Konveksi Paksa pada Aliran Internal .....	26
<b>3.2 Analisis Fenomena Konveksi Paksa pada Aliran Internal.....</b>	<b>27</b>
3.2.1 Kecepatan dan Temperatur Rata – Rata dalam Aliran Internal ....	27
3.2.2 Aliran Laminar dan Turbulen pada Aliran Internal .....	30
3.2.3 Laju Perpindahan Kalor pada Aliran Internal .....	31

3.2.4	Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi.....	32
3.2.5	Bilangan <i>Nusselt</i> .....	33
3.2.6	Bilangan <i>Prandtl</i> .....	34
<b>3.3</b>	<b><i>Wind Tunnel</i> .....</b>	<b>34</b>
3.3.1	<i>Test Chamber</i> .....	35
3.3.2	<i>Settling Chamber</i> .....	36
3.3.3	<i>Contraction</i> .....	37
3.3.4	<i>Diffuser</i> .....	38
3.3.5	<i>Fan</i> .....	38
<b>BAB IV</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>40</b>
<b>4.1</b>	<b>Alat dan Bahan Perancangan.....</b>	<b>40</b>
<b>4.2</b>	<b>Diagram Alir Penelitian .....</b>	<b>40</b>
<b>4.3</b>	<b>Tata Laksana Penelitian dan Pembuatan .....</b>	<b>42</b>
4.3.1	Tahap Perancangan <i>Test Chamber</i> dan <i>Heater</i> .....	43
4.3.2	Tahap Pemilihan <i>Fan</i> .....	43
4.3.3	Tahap Pembuatan <i>Test Chamber</i> .....	44
4.3.4	Tahap Pembuatan <i>Heating Base</i> dan <i>Insulator</i> .....	44
4.3.5	Tahap Pembuatan <i>Diffuser</i> , <i>Contraction</i> , dan <i>Settling Chamber</i> ..	44
4.3.6	Tahap Pembuatan <i>Honeycomb Screen</i> .....	44
<b>BAB V</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>45</b>
<b>5.1</b>	<b>Perancangan Fasilitas Eksperimen Konveksi Paksa .....</b>	<b>45</b>
5.1.1	Fluida Kerja.....	47
5.1.2	<i>Test Chamber</i> .....	48
5.1.3	<i>Heater</i> dan <i>Insulator</i> .....	52
5.1.4	<i>Contraction</i> .....	54
5.1.5	<i>Diffuser</i> .....	55
5.1.6	<i>Settling Chamber</i> .....	57
5.1.7	Pemilihan <i>Fan</i> .....	58
5.1.8	<i>Fan Mounting</i> .....	61
<b>5.2</b>	<b>Komponen Pendukung Fasilitas Eksperimen Konveksi Paksa .....</b>	<b>61</b>
5.2.1	<i>Hot Wire Anemometer</i> .....	61
5.2.2	Termokopel dan <i>Amplifier</i> .....	62

5.2.3	<i>Pressure Transducer</i> .....	64
5.2.4	<i>Data Acquisition (DAQ)</i> .....	64
5.2.5	<i>Power Supply</i> .....	65
5.2.6	<i>Dimmer</i> .....	65
5.2.7	<i>Watt Meter</i> .....	66
5.2.8	<i>PWM Generator</i> .....	67
5.2.9	<i>Smoke Generator</i> .....	67
<b>5.3</b>	<b>Pembuatan Fasilitas Eksperimen Konveksi Paksa</b> .....	<b>68</b>
5.3.1	Pembuatan <i>Test Chamber</i> .....	69
5.3.2	Pembuatan Tutup <i>Test Chamber</i> .....	71
5.3.3	Pembuatan <i>Heater Block</i> .....	72
5.3.4	Pembuatan <i>Insulator</i> .....	73
5.3.5	Pembuatan <i>Diffuser</i> .....	75
5.3.6	Pembuatan <i>Contraction</i> .....	77
5.3.7	Pembuatan <i>Settling Chamber</i> .....	80
5.3.8	Pembuatan <i>Honeycomb Screen</i> .....	82
5.3.9	Pembuatan <i>Fan Mounting</i> .....	83
5.3.10	Pembuatan <i>Clamp</i> .....	85
<b>5.4</b>	<b>Perakitan Fasilitas Eksperimen Konveksi Paksa</b> .....	<b>87</b>
5.4.1	Perakitan Komponen Mekanik Fasilitas Eksperimen Konveksi Paksa .....	87
5.4.2	Perakitan Komponen Elektronik dan Instrumentasi Fasilitas Eksperimen Konveksi Paksa .....	92
5.4.3	Hasil Perakitan Fasilitas Eksperimen Konveksi Paksa .....	95
<b>BAB VI</b>	<b>PENUTUP</b> .....	<b>97</b>
<b>6.1</b>	<b>Kesimpulan</b> .....	<b>97</b>
<b>6.2</b>	<b>Saran</b> .....	<b>98</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	.....	<b>99</b>
<b>LAMPIRAN</b>	.....	<b>102</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1	Perubahan Kapasitas Baterai pada Suhu 80°C dan 120°C .....	2
Gambar 1. 2	Grafik Hubungan Kecepatan Frekuensi CPU dengan Persentase Waktu pada suhu > 99°C .....	3
Gambar 1. 3	Hubungan Besarnya Koefisien Perpindahan Kalor dengan Metode Pendinginan yang Digunakan.....	4
Gambar 2. 1	Diagram Pendinginan Baterai dengan Pembalik Arah Aliran Udara .....	7
Gambar 2. 2	Skema Pendinginan Baterai dengan Pembalik Arah Aliran Udara .....	8
Gambar 2. 3	Level Pendinginan pada <i>Data Center</i> .....	9
Gambar 2. 4	Skema Pendinginan <i>Data Center</i> Metode Konveksi Paksa .....	10
Gambar 2. 5	Geometri Fin pada Penelitian Moradikazerouni dkk.....	11
Gambar 2. 6	(a) Skema dan Dimensi dari Fasilitas Percobaan, (b) dan (c) Aliran Udara Seragam, (d) heat sink.....	13
Gambar 2. 7	(a) Skema Perakitan Fasilitas Percobaan (b) Tata Letak Fasilitas Percobaan .....	14
Gambar 2. 8	Skema Papan Substrate dan Aluminium Pemanas .....	15
Gambar 2. 9	Peletakan Papan <i>Substrate</i> .....	16
Gambar 2. 10	Perangkat Eksperimen Konveksi Alami dan Konveksi Paksa .....	17
Gambar 2. 11	Skema Alat Uji Konveksi Paksa dan Radiasi pada Kanal Horizontal .....	18
Gambar 2. 12	Tampak Potongan dari <i>Test Chanel</i> .....	19
Gambar 2. 13	Alat Uji Konveksi Paksa dan Radiasi Kanal Horizontal .....	20
Gambar 2. 14	Skema <i>Wind Tunnel</i> pada Percobaan Konveksi Paksa.....	21
Gambar 2. 15	Distribusi Kecepatan Udara Pada <i>Wind Tunnel</i> dengan Jarak 1,51 m dari <i>Test Triangular Cylinder</i> .....	22
Gambar 2. 16	Bentuk Spesimen Uji dan Letak Sensor .....	23
Gambar 2. 17	Alat Percobaan Perpindahan Kalor pada Media Berpori .....	24

Gambar 2. 18 Rasio Peningkatan Perpindahan Kalor terhadap Jenis Aliran dan Media Berpori yang Digunakan .....	24
Gambar 3. 1 Lapis Batas Aliran Eksternal pada Sebuah Pelat .....	26
Gambar 3. 2 Distribusi Kecepatan pada Aliran Internal .....	27
Gambar 3. 3 Profil Kecepatan Fluida di Dalam Pipa (a) Aktual (b) Diidealkan ..	28
Gambar 3. 4 Profil Temperatur pada Aliran di Dalam Tabung .....	29
Gambar 3. 5 Proses Perpindahan Kalor pada Aliran Internal .....	31
Gambar 3. 6 Perpindahan Kalor Melalui Sebuah Fluida .....	33
Gambar 3. 7 <i>Settling Chamber</i> dengan <i>Lapisan Honeycomb</i> .....	36
Gambar 4. 1 Diagram Alir Perancangan dan Pembuatan Fasilitas Eksperimen Konveksi Paksa .....	42
Gambar 5. 1 Diagram Skematik Benda Uji pada Kanal Horizontal .....	45
Gambar 5. 2 Diagram Skematik Penelitian Fasilitas Eksperimen Konveksi Paksa pada Kanal Horizontal.....	47
Gambar 5. 3 Dimensi <i>Test Chamber</i> .....	48
Gambar 5. 4 Bentuk 3 Dimensi <i>Test Chamber</i> .....	49
Gambar 5. 5 <i>Cartridge Heater</i> .....	52
Gambar 5. 6 Dimensi <i>Heater Block</i> .....	53
Gambar 5. 7 Dimensi <i>Insulator</i> .....	54
Gambar 5. 8 Dimensi <i>Contraction</i> .....	55
Gambar 5. 9 Dimensi <i>Diffuser</i> .....	56
Gambar 5. 10 Dimensi <i>Settling Chamber</i> .....	57
Gambar 5. 11 Dimensi <i>Honeycomb</i> .....	58
Gambar 5. 12 Grafik Tekanan dan Debit <i>Fan</i> .....	60
Gambar 5. 13 <i>Fan</i> Delta THD1248HE .....	60
Gambar 5. 14 Dimensi <i>Fan Mounting</i> .....	61
Gambar 5. 15 <i>Hot Wire Anemometer</i> .....	62
Gambar 5. 16 Termokopel tipe K Diameter 1 mm dan M6 .....	63
Gambar 5. 17 <i>Amplifier</i> AD8495 .....	63
Gambar 5. 18 <i>Pressure Transducer</i> Wika A-10 .....	64
Gambar 5. 19 DAQ NI USB 6008 .....	65

Gambar 5. 20 <i>Power Supply</i> .....	65
Gambar 5. 21 <i>Dimmer 4000 W</i> .....	66
Gambar 5. 22 <i>AC Watt Meter</i> .....	66
Gambar 5. 23 <i>PWM Generator</i> .....	67
Gambar 5. 24 <i>Smoke Generator</i> .....	67
Gambar 5. 25 Diagram Proses Pembuatan Fasilitas Eksperimen Konveksi Paksa.....	68
Gambar 5. 26 Material <i>Test Chamber</i> .....	69
Gambar 5. 27 Diagram Alir Pembuatan <i>Test Chamber</i> .....	69
Gambar 5. 28 <i>Test Chamber</i> .....	70
Gambar 5. 29 Material Tutup <i>Test Chamber</i> .....	71
Gambar 5. 30 Diagram Alir Pembuatan Tutup <i>Test Chamber</i> .....	71
Gambar 5. 31 Tutup <i>Test Chamber</i> .....	72
Gambar 5. 32 Material <i>Heater Block</i> .....	73
Gambar 5. 33 Diagram Alir Pembuatan <i>Heater Block</i> .....	73
Gambar 5. 34 Material <i>Insulator</i> .....	74
Gambar 5. 35 Diagram Alir Pembuatan <i>Insulator</i> .....	74
Gambar 5. 36 <i>Heater Block</i> dan <i>Insulator</i> .....	75
Gambar 5. 37 Material <i>Diffuser</i> .....	75
Gambar 5. 38 Diagram Alir Pembuatan <i>Diffuser</i> .....	76
Gambar 5. 39 <i>Diffuser</i> .....	77
Gambar 5. 40 Material <i>Contraction</i> .....	78
Gambar 5. 41 Diagram Alir Pembuatan <i>Contraction</i> .....	78
Gambar 5. 42 <i>Contraction</i> .....	80
Gambar 5. 43 Material <i>Settling Chamber</i> .....	80
Gambar 5. 44 Diagram Alir Pembuatan <i>Settling Chamber</i> .....	81
Gambar 5. 45 <i>Settling Chamber</i> .....	82
Gambar 5. 46 <i>Honeycomb Screen</i> .....	83
Gambar 5. 47 Material <i>Fan Mounting</i> .....	83
Gambar 5. 48 Diagram Alir Pembuatan <i>Fan Mounting</i> .....	84
Gambar 5. 49 <i>Fan Mounting</i> .....	85

Gambar 5. 50 Material <i>Clamp</i> .....	85
Gambar 5. 51 Diagram Alir Pembuatan <i>Clamp</i> .....	86
Gambar 5. 52 <i>Clamp</i> .....	86
Gambar 5. 53 <i>Test Chamber</i> yang Sudah Dirakit .....	88
Gambar 5. 54 <i>Setling Chamber</i> yang Sudah Dirakit.....	89
Gambar 5. 55 Perakitan Komponen Utama .....	90
Gambar 5. 56 (a) Pemasangan <i>Fan</i> ke <i>Mounting</i> (b) Pemasangan <i>Fan</i> .....	
<i>Mounting</i> ke <i>Diffuser</i> .....	90
Gambar 5. 57 Pemasangan <i>Heater</i> dan <i>Sensor</i> (a) Tampak Samping (b)	
Tampak Atas.....	92
Gambar 5. 58 Rangkaian Elektronik.....	94
Gambar 5. 59 Tampilan Program Labview .....	95
Gambar 5. 60 Fasilitas Eksperimen Konveksi Paksa Udara pada Kanal	
Horizontal .....	96

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Perbandingan Bilangan <i>Nusselts</i> pada Konveksi dan Radiasi .....	20
Tabel 5. 1	Properti Termofisika Udara pada Kondisi 1 Atm dan Temperatur 25°C .....	48
Tabel 5. 2	Nilai Koefisien Perpindahan Kalor dan Daya Pemanas dengan Kecepatan Udara yang Berbeda .....	51
Tabel 5. 3	Nilai <i>Pressure Drop</i> pada Setiap Komponen .....	59
Tabel 5. 4	Ukuran Setiap Komponen Utama Fasilitas Eksperimen .....	87
Tabel 5. 5	Spesifikasi Komponen Elektronik dan Instrumentasi .....	92



## DAFTAR LAMPIRAN

Tabel L. 1 Perhitungan Nilai Koefisien Perpindahan Kalor Secara Teoretis dengan Kecepatan Udara yang Berbeda.....	102
Tabel L. 2 Tipikal Nilai Koefisien Perpindahan Kalor pada Tipe Konveksi yang Berbeda .....	103
Tabel L. 3 Karakteristik Udara pada Tekanan 1 atm .....	104
Tabel L. 4 Katalog Pemilihan Fan .....	105
Tabel L. 5 Karakteristik Fan THD1248HE .....	106
Gambar L. 1 Gambar Teknik Fan THD1248HE.....	107
Gambar L. 2 Gambar Teknik Fasilitas Eksperimen Konveksi Paksa pada Kanal Horizontal .....	108