

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
NASKAH SOAL TUGAS AKHIR	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
INTISARI	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR NOTASI	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tinjauan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penulisan	4
1.5. Manfaat Penulisan	4
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1. Termodinamika Mesin Refrigerasi	5
2.1.1. Hukum Termodinamika I dan II Untuk Mesin Refrigerasi	5
2.1.2. Siklus Carnot yang Dibalik	9
2.2. Siklus Refrigerasi Gas	11
2.2.1. Siklus Carnot yang Dibalik dengan Fluida Kerja Gas	11

2.3. Aplikasi Siklus Gas pada Pesawat Terbang	19
---	----

BAB III ANALISIS COOLING LOAD PADA KOKPIT PESAWAT

F-5 E TIGER II 23

3.1. Kondisi Kokpit Pesawat F-5 E Tiger II	23
3.2. Koefisien Perpindahan Kalor	25
3.3. Perhitungan Cooling Load yang Melalui Badan dan Kanopi Pesawat	27
3.4. Perhitungan Beban karena Radiasi Matahari	34
3.5. Perhitungan Beban Internal	34
3.5.1. Beban Penghuni	34
3.5.2. Beban Peralatan Elektronik	37
3.6. Perhitungan Cooling Load / Heating Load Total	37

BAB IV SISTEM PENGKONDISIAN UDARA UNTUK PESAWAT

F-5 E TIGER II 39

4.1. Proses Ram (Proses 1-2)	41
4.2. Proses Kompresi (Proses 2-3)	47
4.3. Proses Pendinginan (Proses 3-4)	47
4.4. Proses Ekspansi (Proses 4-5)	48
4.5. Proses Refrigerasi (Proses 5-6)	48

BAB V PERANCANGAN HEAT EXCHANGER 50

5.1. Pemilihan Heat Exchanger	50
5.2. Analisis Heat Exchanger	52
5.2.1. The Log Mean Temperature Difference Method (LMTD)	54
5.2.2. Effectiveness – NTU Method	59
5.3. Perancangan Heat Exchanger	62
5.3.1. Kapasitas Heat Exchanger	62
5.3.2. Karakteristik Heat Exchanger	68
5.3.3. Luas Penampang Perpindahan Kalor	71



5.3.5. Bilangan Reynolds	78
5.3.6. Bilangan Stanton (St) dan Koefisien Gesekan (f)	80
5.3.7. Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi	82
5.3.8. Efektivitas Fin	83
5.3.9. Efektivitas Luas Penampang Perpindahan Kalor	86
5.3.10. Koefisien Perpindahan Kalor Keseluruhan	86
5.3.11. Number of Transfer Units (NTU) dan Efektivitas Heat Exchanger (ϵ)	89
5.3.12. Penurunan Tekanan	91
BAB VI PERANCANGAN WATER SEPARATOR	99
6.1. Proses Pencampuran (Mixing Process)	99
6.1.1. Proses Ekspansi	102
6.1.2. Laju Aliran Massa Udara Kering dan Laju Aliran Massa Uap Air pada Masing-Masing Aliran Udara	105
6.1.3. Proses Pencampuran (Mixing Process)	108
6.2. Proses Penurunan Kelembaban dengan Water Separator	111
6.2.1. Laju Aliran Massa Uap Air pada Aliran Udara dari Mixing Chamber	112
6.2.2. Laju Aliran Massa Uap Air pada Aliran Udara yang Direncanakan	113
6.2.3. Debit Aliran Total Sebelum Melewati Coalescer	114
6.2.4. Debit Aliran Total Setelah Melewati Coalescer	115
6.2.5. Pemilihan Coalescer	115
BAB VII PERANCANGAN DUCTING	120
7.1. Plenum	120
7.2. Perancangan Ducting	122
BAB VIII KESIMPULAN	126



8.2. Heat Exchanger	126
8.3. Water Separator	127
8.4. Ducting	128
8.4.1. Plenum	128
8.4.2. Ducting	128
8.5. Alat Bantu	128
DAFTAR PUSTAKA	129
LAMPIRAN	130



DAFTAR NOTASI

A	= luas penampang perpindahan kalor, ft^2
C	= kecepatan suara, ft/s
COP	= <i>coefficient of performance</i>
COP _{HP}	= <i>coefficient of performance</i> pompa kalor
COP _R	= <i>coefficient of performance</i> mesin refrigerasi
C _p	= kalor jenis fluida, $\text{Btu/lb } ^\circ\text{F}$
D	= diameter penampang, ft
D _h	= diameter hidraulik penampang aliran fluida, ft
E	= energi, Btu
G	= laju aliran massa tiap luas penampang perpindahan kalor, lb/hr ft^2
K _c	= koefisien rugi-rugi keluaran fluida
KE	= energi kinetik, Btu
M	= bilangan Mach
NTU	= <i>Number of Transfer Units</i>
Nu	= bilangan Nusselt
P	= tekanan, psi
PE	= energi potensial, Btu
Pr	= bilangan Prandtl
Q	= perpindahan kalor total, Btu
\dot{Q}	= laju perpindahan kalor, Btu/hr
\dot{Q}_e	= laju perpindahan kalor dari peralatan elektronik kokpit, Btu/hr
\dot{Q}_s	= laju perpindahan kalor dari radiasi matahari, Btu/hr
Q _{in}	= laju perpindahan kalor ke dalam sistem, Btu/hr
Q _{out}	= laju perpindahan kalor ke luar sistem, Btu/hr



RH	= kelembaban relatif
Rh	= jari-jari hidraulik penampang aliran fluida, ft
St	= bilangan Stanton
T	= temperatur, °F
T _c	= temperatur ruangan kokpit (kabin), °F
T _{db}	= temperatur bola kering, °F
T _{dp}	= temperatur titik embun, °F
T _{in}	= temperatur masuk sistem, °F
T _{out}	= temperatur keluar sistem, °F
T _s	= temperatur lingkungan, °F
T _{wb}	= temperatur bola basah, °F
U	= koefisien perpindahan kalor, Btu/hr ft ² °F
V	= kecepatan pesawat, ft ² /s
\dot{V}	= debit aliran fluida, ft ³ /s
\dot{V}_t	= debit aliran fluida, ft ³ /s
W	= kerja, Btu
W _{net}	= kerja netto, Btu
a	= tebal plat heat exchanger, ft
b	= jarak antar plate heat exchanger, ft
c	= rasio kapasitas kalor heat exchanger
f	= koefisien gesekan
h	= koefisien perpindahan kalor konveksi, Btu/hr ft ² °F
h	= entalpi spesifik, Btu/lb
k	= koefisien perpindahan kalor konduksi, Btu/hr ft ² °F
ke	= energi kinetik spesifik, Btu/lb
m	= laju aliran massa fluida, lb/s
m _a	= laju aliran massa udara kering, lb/s



p_e	= energi potensial spesifik, Btu/lb
q	= perpindahan kalor spesifik, Btu/lb
u	= energi dalam spesifik, Btu/lb
v	= volume spesifik, ft ³ /lb
w	= kerja spesifik, Btu/lb
w_c	= kerja kompresor tiap satuan massa, Btu/lb
w_e	= kerja ekspander tiap satuan massa, Btu/lb
x	= tebal dinding, ft

Simbol :

α	= perbandingan antara luas penampang perpindahan kalor dengan volume heat exchanger, ft ² /ft ³
β	= luas area perpindahan kalor tiap satuan volume, ft ² /ft ³
δ	= tebal fin, ft
ε	= efektivitas heat exchanger
η_c	= efisiensi pendinginan
η_f	= efektivitas fin
η_H	= efisiensi pemanasan
η_o	= efektivitas luas penampang perpindahan kalor
η_R	= efisiensi ram
η_{th}	= efisiensi thermal
μ	= viskositas dinamis aliran fluida, lb/ft s
σ	= perbandingan antara luas penampang perpindahan kalor total dengan luas penampang perpindahan kalor frontal
τ	= transmisivitas matahari yang melalui area transparan
ν	= viskositas kinematis aliran fluida, ft ² /s
ρ	= massa jenis fluida, lb/ft ³
ω	= rasio kelembaban udara

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Cara kerja mesin kalor	7
Gambar 2.2.	Cara kerja mesin refrigerasi	8
Gambar 2.3.	Siklus Carnot yang dibalik	10
Gambar 2.4.	Diagram T-s untuk Siklus Carnot yang dibalik dengan gas sebagai fluida kerja	12
Gambar 2.5.	Diagram P-v untuk Siklus Carnot yang dibalik dengan gas sebagai fluida kerja	12
Gambar 2.6.	Perbandingan antara Siklus Carnot yang dibalik dengan Siklus Brayton yang dibalik	16
Gambar 2.7.	Siklus gas yang sebenarnya	18
Gambar 2.8.	Siklus refrigerasi sederhana untuk pesawat terbang	19
Gambar 2.9.	Grafik perbandingan antara DART dengan Bilangan Mach	22
Gambar 3.1.	Flowchart perhitungan cooling load pada badan dan kanopi pesawat	28
Gambar 3.2.	Grafik hubungan antara temperatur bola kering udara kabin dengan kalor yang hilang karena radiasi dan konveksi tubuh manusia (kalor sensibel)	35
Gambar 3.3.	Grafik hubungan antara temperatur bola kering udara kabin dengan kalor yang hilang karena penguapan tubuh manusia (kalor laten)	35
Gambar 3.4.	Dimensi Kokpit Pesawat F-5 E Tiger II	38
Gambar 4.1.	Sistem refrigerasi udara sederhana	39
Gambar 4.2.	Sistem pengkondisian udara Pesawat F-5 E Tiger II	40
Gambar 4.3.	Diagram T-s untuk sistem refrigerasi udara sederhana	41
Gambar 4.4.	Gambar penampang difuser supersonik	42

Gambar 5.2. Aliran fluida pada heat exchanger	53
Gambar 5.3. Perpindahan kalor pada heat exchanger	53
Gambar 5.4. Heat exchanger aliran searah (paralel flow)	56
Gambar 5.5. Grafik temperatur fluida heat exchanger dengan aliran searah (paralel flow)	56
Gambar 5.6. Heat exchanger aliran berlawanan arah (counter flow)	56
Gambar 5.7. Grafik temperatur fluida heat exchanger dengan aliran berlawanan arah (counter flow)	57
Gambar 5.8. Heat exchanger aliran silang (cross flow)	58
Gambar 5.9. Faktor koreksi untuk heat exchanger aliran silang (cross flow) dengan kedua fluida tercampur (mixed)	58
Gambar 5.10. Faktor koreksi untuk heat exchanger aliran silang (cross flow) dengan kedua fluida tidak tercampur (unmixed)	58
Gambar 5.11. Flowchart program perhitungan heat exchanger	63
Gambar 5.12. Flowchart program perhitungan heat exchanger (lanjutan)	64
Gambar 5.13. Flowchart program perhitungan heat exchanger (lanjutan)	65
Gambar 5.14. Aliran udara dari engine (bleed air) dan udara ram (ram air) pada heat exchanger	67
Gambar 5.15. Karakteristik heat exchanger	67
Gambar 5.16. Heat exchanger tipe plain plate fin 11.11	68
Gambar 5.17. Heat exchanger tipe strip plate fin 3/32- 12.22	69
Gambar 5.18. Ukuran rangka heat exchanger	69
Gambar 5.19. Penampang aliran berbentuk lingkaran	72
Gambar 5.20. Penampang aliran berbentuk persegi	73
Gambar 5.21. Penampang aliran berbentuk persegi panjang	74
Gambar 5.22. Penampang aliran udara dari engine (bleed air)	74
Gambar 5.23. Penampang aliran udara dari engine (ram air)	75
Gambar 5.24. Grafik ml terhadap efektivitas fin	84
Gambar 5.25. Perpindahan kalor antara udara dari engine (bleed air) dengan udara ram (ram air)	87



Gambar 6.1.	Proses pencampuran antara dua aliran fluida	100
Gambar 6.2.	Psychrometric chart dari proses pencampuran	100
Gambar 6.3.	Proses pencampuran pada sistem pengkondisian udara Pesawat F-5 E Tiger II	101
Gambar 6.4.	Water Separator	111
Gambar 6.5.	Ukuran Water Separator	116
Gambar 7.1.	Aliran udara yang melalui filter pada plenum	120
Gambar 7.2.	Dry media filter	120
Gambar 7.3.	Penampang filter	121
Gambar 7.4.	Skema Ducting	122



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Tabel variasi harga COP terhadap rasio kompresi siklus udara	18
Tabel 3.1. Cooling load pada badan pesawat pada ketinggian 10.000 ft - 40.000 ft	32
Tabel 3.2. Cooling load pada kanopi pesawat pada ketinggian 10.000 ft - 40.000 ft	33
Tabel 3.3. Tabel perhitungan heating load total	38
Tabel 4.1. Tabel hasil perhitungan temperatur dan tekanan udara ram pada ketinggian pesawat 10.000 ft – 40.000 ft	46
Tabel 5.1. Tabel hasil perhitungan heat exchanger (udara dari engine pesawat)	95
Tabel 5.2. Tabel hasil perhitungan heat exchanger (udara ram)	96
Tabel 5.3. Tabel hasil perhitungan heat exchanger (lanjutan)	97
Tabel 5.4. Tabel hasil perhitungan heat exchanger (lanjutan)	98
Tabel 7.1. Tabel hasil perhitungan ducting	125



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Program Perhitungan Cooling Load / Heating Load	132
Lampiran 2	Cooling Load untuk Kokpit Pesawat F-5 E Tiger II	137
Lampiran 3	Cooling Load untuk Kanopi Pesawat F-5 E Tiger II	156
Lampiran 4	Program Perhitungan <i>Ramming Process</i>	173
Lampiran 5	Hasil Perhitungan <i>Ramming Process</i>	176
Lampiran 6	Program Perancangan Heat Exchanger	187
Lampiran 7	Hasil Perancangan Heat Exchanger	213
Lampiran 8	Layout Saluran Udara Kabin Pada Pesawat F-5 E Tiger II	306
Lampiran 9	Air Conditioning Unit Pada Pesawat F-5 E Tiger II	307
Lampiran 10	Sistem Pengkondisian Udara Pada Pesawat F-5 E Tiger II	308