

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iii
NASKAH SOAL TUGAS AKHIR	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
ABSTRACT	vi
INTISARI	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xx
 BAB I PENDAHULUAN.....	 1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	 5
2.1 Prinsip Kerja Turbin Uap	5
2.2 Klasifikasi Turbin Uap.....	5
2.2.1 Jenis turbin menurut prinsip kerjanya	6

2.2.1.1 Turbin Aksi	6
2.2.1.2 Turbin Reaksi	6
2.2.1.3 Perbedaan turbin aksi dan reaksi	8
2.2.2 Jenis turbin menurut jumlah tingkatnya	9
2.2.2.1 Turbin tunggal	9
2.2.2.2 Turbin bertingkat	9
2.2.3 Jenis turbin menurut penurunan tekanan dalam turbin	9
2.2.3.1 <i>Non-Condensing Turbine</i>	9
2.2.3.2 <i>Condensing Turbine</i>	10
2.2.3.3 <i>Extraction Condensing Turbine</i>	10
2.2.3.4 <i>Admission Condensing Turbine</i>	11
2.2.3.5 <i>Extraction Admission Condensing Turbine</i>	12
2.3 Komponen-komponen turbin uap	12
BAB III LANDASAN TEORI.....	21
3.1 Analisis secara termodinamika	21
3.2 Ekspansi uap di dalam nosel	23
3.3 Konstruksi nosel dan sudu pengarah	24
3.4 Konstruksi rotor dan bantalan	25
3.5 Rugi-rugi pada turbin uap	26
3.5.1 Rugi-rugi internal	27
3.5.1.1 Kerugian pada katup pengatur	27
3.5.1.2 Kerugian pada nosel	27
3.5.1.3 Kerugian kecepatan keluar	27
3.5.1.4 Kerugian pada sudu gerak	27
3.5.1.5 Kerugian pada gesekan cakram	28
3.5.1.6 Kerugian akibat ruang bebas	29
3.5.1.7 Kerugian akibat kebasahan uap	29

3.5.1.8 Kerugian pada saluran keluar.....	29
3.5.2 Rugi-rugi eksternal.....	30
3.5.1.1 Kerugian mekanik	30
3.5.1.2 Kerugian akibat kebocoran uap.....	30
3.6 Efisiensi turbin uap	30
BAB IV PERANCANGAN.....	33
4.1 Penentuan spesifikasi turbin yang akan dirancang.....	33
4.2 Perhitungan termodinamika uap	33
4.3 Perancangan nosel.....	34
4.4 Perancangan sudu.....	34
4.5 Perancangan poros	35
4.6 Perancangan bantalan.....	35
4.7 Perancangan rumah turbin.....	36
4.8 Pendesainan turbin	36
4.9 Diagram alir perancangan	36
BAB V HASIL PERANCANGAN DAN PEMBAHASAN.....	38
5.1 Perhitungan secara termodinamika uap	38
5.1.1 Data perancangan	38
5.1.2 Perhitungan penurunan kalor	38
5.1.3 Perhitungan massa aliran uap.....	41
5.1.4 Perhitungan kecepatan uap.....	41
5.1.5 Penentuan u/c_1 optimum	41
5.1.6 Perhitungan untuk tingkat pertama dan terakhir	47
5.1.7 Distribusi penurunan kalor untuk tingkat reaksi	50
5.1.8 Perhitungan kalor pada tingkat reaksi.....	51
5.1.8.1 Sudu pengarah tingkat kedua	51

5.1.8.2 Sudu pengarah tingkat ketiga	52
5.1.8.3 Sudu pengarah tingkat kesebelas	54
5.1.8.4 Sudu gerak tingkat kedua	57
5.1.8.5 Sudu gerak tingkat ketiga	60
5.1.9 Tingkat kondensasi	65
5.2 Perancangan nosel	68
5.2.1 Pemilihan jenis nosel	68
5.2.2 Penentuan dimensi nosel	69
5.3 Perancangan sudu	73
5.3.1 Rancangan sudu aksi	73
5.3.1.1 Perhitungan sudu gerak	73
5.3.2 Rancangan sudu reaksi	75
5.3.2.1 Perhitungan sudu pengarah	75
5.3.2.2 Perhitungan sudu gerak	78
5.3.3 Desain sudu	80
5.3.3.1 Perhitungan luasan penampang sudu	80
5.3.3.2 Tegangan tarik pada bagian terlemah akibat gaya sentrifugal	85
5.3.3.1 Tegangan lentur akibat tekanan uap	89
5.3.4 Bahan sudu	91
5.4 Perancangan Poros	92
5.4.1 Torsi pada poros	92
5.4.2 Diameter poros minimum	93
5.4.3 Konstruksi poros	94
5.4.4 Momen lengkung yang terjadi pada poros	98
5.4.5 Dorongan aksial pada rotor	100
5.4.6 Tegangan geser yang terjadi pada poros	102
5.4.7 Defleksi puntir yang terjadi pada poros	103

5.4.8 Defleksi lengkung pada poros	104
5.4.8 Putaran kritis poros	105
5.5 Perancangan Bantalan	106
5.5.1 Perancangan bantalan luncur radial	106
5.5.2 Perancangan bantalan luncur aksial	110
5.6 Perancangan Rumah Turbin	111
5.5.1 Dasar perancangan	111
5.5.2 Perhitungan flens dan baut	112
BAB VI PENUTUP	115
6.1 Kesimpulan	115
6.2 Saran.....	116
DAFTAR PUSTAKA	118
LAMPIRAN.....	120

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Turbin Aksi	5
Gambar 2.2	Turbin Reaksi	6
Gambar 2.3	Perbedaan Turbin Aksi dan Turbin Reaksi	7
Gambar 2.4	<i>Non-Condensing Turbine</i>	8
Gambar 2.5	<i>Condensing Turbine</i>	9
Gambar 2.6	<i>Extraction Condensing Turbine</i>	10
Gambar 2.7	<i>Admission Condensing Turbine</i>	10
Gambar 2.8	Komponen-komponen pada Turbin Uap.....	11
Gambar 2.9	Rumah turbin.....	12
Gambar 2.10	Rotor turbin	13
Gambar 2.11	<i>Bearing pedestal</i>	13
Gambar 2.12	<i>Journal bearing</i>	14
Gambar 2.13	<i>Radial bearing</i>	14
Gambar 2.14	<i>Thrust bearing</i>	15
Gambar 2.15	<i>Gland packing</i>	15
Gambar 2.16	<i>Labyrinth ring</i>	16
Gambar 2.17	Sudu pengarah.....	16
Gambar 2.18	Sudu gerak.....	17
Gambar 2.19	<i>Control valve (a) dan Stop Valve (b)</i>	18
Gambar 2.20	<i>Main oil pump</i>	18

Gambar 2.21	<i>Reducing Gear</i>	19
Gambar 2.22	<i>Coupling</i>	19
Gambar 3.1	Siklus Rankine	21
Gambar 3.2	Diagram T-s Siklus Rankine	21
Gambar 3.3	Penampang nosel pada sisi yang miring	23
Gambar 3.4	Nosel Turbin Uap	24
Gambar 3.5	Koefisien kecepatan Ψ untuk sudu gerak turbin impuls untuk berbagai panjang l' dan profil sudu.....	27
Gambar 3.6	<i>Clearance</i> pada sudu turbin	28
Gambar 3.7	Efisiensi mekanis turbin	29
Gambar 3.8	Efisiensi relatif efektif turbin	30
Gambar 3.9	Efisiensi generator.....	30
Gambar 3.10	Efisiensi turbin impuls dengan satu tingkat kecepatan sebagai fungsi u/c_1 optimum	31
Gambar 4.1	Diagram alir perancangan	36
Gambar 5.1	Diagram Mollier dasar	39
Gambar 5.2	Segitiga kecepatan untuk nilai $u/c_1 = 0,46$	45
Gambar 5.3	Grafik hubungan efisiensi dengan nilai u/c_1	46
Gambar 5.4	Diagram Mollier untuk penurunan kalor tiap tingkat	49
Gambar 5.5	Segitiga kecepatan untuk tingkat impuls – tingkat ke 8....	67
Gambar 5.6	Segitiga kecepatan untuk tingkat ke 9 – tingkat ke 16.....	68
Gambar 5.7	Segitiga kecepatan untuk tingkat ke 17,18.....	68
Gambar 5.8	Penampang sudu impuls.....	81
Gambar 5.9	Penampang sudu tingkat 2-10	82
Gambar 5.10	Penampang sudu tingkat 11 - 18	84
Gambar 5.11	Segmen akar sudu tingkat 1-10 dan 11-18 dengan ukurannya	86
Gambar 5.12	Konstruksi poros	95

Gambar 5.13	Cakram tipe konis	97
Gambar 5.14	Gaya yang bekerja pada poros	98
Gambar 5.15	Diagram momen lengkung pada poros	100
Gambar 5.16	Kriteria beban untuk koefisien ϕ_v	107
Gambar 5.17	Kriteria beban untuk koefisien ϕ_s	107
Gambar 5.18	Flens dan baut pada turbin.....	107

DAFTAR TABEL

Tabel 5.1	Perhitungan u/c1 optimum	42
Tabel 5.2	Kondisi uap pada tiap tingkat reaksi turbin.....	51
Tabel 5.3	Sudu pengarah	57
Tabel 5.4	Sudu gerak.....	65
Tabel 5.5	Perhitungan termodinamika uap tingkat nosel – 6	66
Tabel 5.6	Perhitungan termodinamika uap tingkat 7 – 13	66
Tabel 5.7	Perhitungan termodinamika uap tingkat 14 – 18	67
Tabel 5.8	Dimensi sudu pengarah	78
Tabel 5.9	Dimensi sudu gerak.....	80
Tabel 5.10	Perhitungan luas penampang sudu impuls	82
Tabel 5.11	Perhitungan luas penampang sudu tingkat 2 - 10.....	83
Tabel 5.12	Perhitungan luas penampang sudu tingkat 11 - 18.....	84
Tabel 5.13	Hasil perhitungan perancangan sudu	91
Tabel 5.14	Faktor koreksi daya yang akan ditransmisikan	92
Tabel 5.15	Faktor koreksi beban kejut	94
Tabel 5.16	Berat poros tiap bagian.....	95
Tabel 5.17	Berat sudu tiap tingkat	96
Tabel 5.18	Momen lengkung pada tiap titik	100
Tabel 5.19	Dorongan aksial pada sudu gerak turbin	101
Tabel 5.20	Dorongan aksial akibat perbedaan momentum uap	102
Tabel 5.21	Defleksi puntir pada tiap titik.....	103
Tabel 5.22	Defleksi lentur pada poros	104
Tabel 5.23	Defleksi poros	105
Tabel 5.24	Data hasil perancangan bantalan radial.....	109
Tabel 5.25	Data hasil perancangan bantalan aksial.....	111

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Diagram Mollier	120
Lampiran 2	Tabel A-4 <i>Saturated Water – Temperature Table</i>	121
Lampiran 3	Tabel A-5 <i>Saturated Water – Pressure Table</i>	123
Lampiran 4	Tabel A-6 <i>Superheated Water</i>	125
Lampiran 5	Ruang bebas pada bantalan luncur	129
Lampiran 6	Nilai desain bantalan radial	129
Lampiran 7	Sifat-sifat bahan bantalan luncur	130
Lampiran 8	Sifat-sifat bahan bantalan luncur aksial	130
Lampiran 9	Tebal lapisan minyak minimum	130
Lampiran 10	Karakteristik Baja Nikel Khrom Molibden JIS G 4103..	131
Lampiran 11	Karakteristik Baja Khrom Molibden JIS G 4105	132
Lampiran 12	Karakteristik Baja Khrom Molibden Tempa JIS G 3221	133

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

1. Huruf Latin

a_1	= lebar nosel pada sisi keluar (cm)
a_{min}	= lebar nosel pada bagian leher (cm)
A	= ekuivalensi termal kerja (0,009805 kJ/kg.m)
A_r	= kerja yang dilakukan untuk melawan gesekan (kg.m/s)
b_0	= lebar sudu (mm)
c	= kapasitas termal rata-rata minyak (kkal/kg°C)
c_1	= kecepatan aktual uap pada sisi keluar nosel (m/s)
c_{1t}	= kecepatan teoritis uap pada sisi keluar nosel (m/s)
c_{1u}	= kecepatan mutlak radial uap pada sudu gerak (m/s)
c_2	= kecepatan mutlak uap keluar sudu gerak (m/s)
c_{2u}	= kecepatan radial uap pada sudu gerak (m/s)
c_{ad}	= kecepatan uap teoritis tingkat reaksi dikonversikan energi kinetik (m/s)
C_b	= faktor pembebanan lentur
C_b	= tegangan tarik sudu akibat gaya radial (kg)
d	= diameter cakram (m)
d''	= diameter rata-rata sudu gerak
d_s	= diameter poros minimum (mm)
d_p	= diameter poros (mm)
E	= modulus elastisitas baja (kg/mm ²)
f	= koefisien gesekan
f_c	= faktor koreksi daya
f_{min}	= luas penampang minimum (m ²)
f_{max}	= luas penampang maximum (m ²)
f'_{min}	= luas penampang leher nosel (cm ²)
f_s	= luas melingkar aliran uap (m ²)
F_0	= luas penampang akar sudu (mm ²)
g	= percepatan gravitasi (9,81 m/s)

G	= modulus geser (kg/mm^2)
G	= massa alir uap melalui tingkat turbin (kg/s)
G_b	= bobot sudu (kg)
$G_{kebocoran}$	= massa aliran uap yang melalui ruang-ruang labirin (kg/s)
h_0	= penurunan kalor teoritis (kJ/kg)
h_{01}	= penurunan kalor pada sudu pengarah (kkal/kg)
h_{02}	= penurunan kalor pada sudu gerak (kkal/kg)
$h_{01}+h_e^{pr}$	= energi yang dimanfaatkan pada sudu pengarah (kkal/kg)
$h_{02}+h_{w1}$	= energi yang dimanfaatkan pada sudu gerak (kkal/kg)
h_1	= entalpi tekanan uap masuk turbin (bar)
h_{2a}	= entalpi tekanan uap keluar turbin (bar)
h_c	= kerugian akibat kecepatan keluar (kkal/kg)
h_b	= kerugian pada sudu gerak (kkal/kg)
h'_b	= kerugian pada sudu gerak (kkal/kg)
h_e^{pr}	= <i>carry-over loss</i> (kkal/kg)
h_{gb}	= kerugian pada sudu pengarah (kkal/kg)
$h_{ge,a}$	= kerugian akibat gesekan dan ventilasi cakram (kkal/kg)
h_i	= penurunan kalor aktual yang dimanfaatkan (kkal/kg)
$h_{kebasahan}$	= kerugian akibat kebasahan uap (kkal/kg)
$h_{kebocoran}$	= kerugian kebocoran melalui ruang bebas radial (kkal/kg)
h_n	= kerugian akibat gesekan uap di dalam nosel (kkal/kg)
h_u	= penurunan kalor yang dimanfaatkan (kJ/kg)
h_{w1}	= kandungan kalor uap pada sisi masuk sudu gerak (kkal/kg)
i_0	= kandungan kalor uap pada kondisi masuk (kkal/kg)
i_{1t}	= kandungan kalor uap pada kondisi keluar (kkal/kg)
I	= momen inersia poros (mm^4)
J	= momen inersia polar (mm^4)
K_b	= factor koreksi beban lentur
K_t	= factor koerksi beban kejut
l	= panjang nosel pada bagian divergen (cm)

l_1	= tinggi sudu pengarah (mm)
l_2''	= tinggi sudu gerak (m)
l_{min}	= tinggi penampang leher setiap nosel (cm)
M	= momen lengkung terbesar pada poros (kg.mm)
n	= putaran turbin (rpm)
n_{cr}	= putaran kritis (rpm)
N'_i	= daya yang dibangkitkan turbin (kW)
$N_{ge,a}$	= daya yang ditimbulkan akibat gesekan dan ventilasi cakram (kW)
p_0	= tekanan awal uap masuk (bar)
p_2	= tekanan keluar uap (bar)
$p'_i - p_2$	= tekanan uap sebelum dan sesudah sudu gerak (bar)
P_a	= gaya yang terjadi akibat perbedaan tekanan (kg)
P'_a	= gaya yang terjadi akibat perubahan momentum uap (kg)
P_{kr}	= tekanan kritis (bar)
P_μ	= gaya yang searah dengan putaran 9kg)
q_0	= pelumas yang dibutuhkan bantalan (liter/s)
Q_r	= ekuivalensi kalor kerja (kkal/s)
r_1	= jari-jari hub (mm)
r_2	= jari-jari luar cakram (m)
r_{rat}	= jari-jari titik berat terhadap sumbu poros (mm)
SFI	= <i>safety factor</i> karena berat poros
SFI	= <i>safety factor</i> karena pasak, poros bertingkat dan konsentrasi Tegangan
t	= jarak antar sudu (mm)
t_n	= jarak antar nosel (cm)
T	= momen puntir/torsi (kg.mm)
u	= kecepatan keliling (m/s)
v'_o	= volume spesifik uap sebelum masuk (m ³ /kg)
v_{01}	= volume spesifik uap pada sudu pengarah (m ³ /kg)
v_{02}	= volume spesifik uap pada sudu gerak (m ³ /kg)

v_1	= volume spesifik uap pada sisi keluar nosel (m^3/kg)
W_c	= berat cakram (kg)
x_2''	= perbandingan kecepatan uap pada sudu gerak
y_{\max}	= defleksi maksimum poros (mm)
z	= jumlah sudu
z_n	= jumlah nosel yang digunakan

2. Huruf Yunani

α_1	= sudut nosel ($^\circ$)
α_2	= sudut keluar sudu gerak ($^\circ$)
β_1	= sudut relative uap masuk sudu gerak ($^\circ$)
β_2	= sudut relative uap keluar sudu gerak ($^\circ$)
σ	= tegangan tarik pada sudu (kg/mm^2)
σ_B	= kekuatan tarik bahan (kg/m^2)
σ_b	= tegangan lentur akibat tekanan uap (kg/cm^2)
δ	= simpangan maksimum poros (mm/kg)
δr	= lebar ruang bebas (mm)
η_{oi}	= efisiensi internal relative turbin
η_u	= efisiensi kecepatan cakram turbin
φ	= koefisien kecepatan pada nosel (0,91-0,98)
θ	= defleksi puntir ($^\circ/\text{m}$)
ε	= derajat pemasukan parsial
Φ_s	= koefisien tahanan
Φ_v	= koefisien bantalan
ρ	= massa jenis bahan sudu (kg/m^3)
ρ	= jari-jari kelengkungan sudu (mm)
τ_s	= tegangan geser yang terjadi (kg/mm^2)
$\tau_{s \text{ ijin}}$	= tegangan geser yang diijinkan (kg/mm^2)
μ	= viskositas pelumas ($\text{kg.s}/\text{cm}^2$)

ω	= kecepatan sudut (rad/s)
ω_1	= kecepatan relative uap pada sudu gerak (m/s)
ω_2	= kecepatan relative uap keluar pada sudu gerak (m/s)
ω_{2t}	= kecepatan relative teoritis uap (m/s)
ψ	= koefisien kecepatan
ϱ	= derajat reaksi
γ	= massa spesifik uap (kg/m ³)
γ	= berat spesifik minyak pelumas (kg/liter)