

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
NASKAH SOAL TUGAS AKHIR	iv
HALAMAN PENGESAHAN HASIL UJIAN PENDADARAN	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
INTISARI	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Asumsi dan Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Perancangan	2
1.5. Manfaat Perancangan	3
BAB II LANDASAN TEORI	4
2.1. Prinsip Kerja dan Klasifikasi Turbin Uap	4
2.2. Ekspansi Uap pada Nosel	6
2.3. Transformasi Energi pada Sudu Gerak Tingkat Reaksi	7
2.4. Konstruksi Nosel dan Sudu Pengarah	9
2.5. Konstruksi Rotor dan Bantalan	11
2.6. Rugi-rugi pada Turbin Uap	12

2.7. Efisiensi Turbin Uap	16
---------------------------	----

BAB III PERHITUNGAN TERMODINAMIKA UAP	18
--	-----------

3.1. Data Perancangan	18
3.2. Proses Penurunan Kalor Uap	18
3.3. Penentuan u/c_1 Optimum	20
3.4. Perhitungan Pendahuluan untuk Tingkat Pertama dan Terakhir	33
3.5. Distribusi Penurunan Kalor untuk Tingkat Reaksi	35
3.6. Perhitungan Kalor Terinci pada Tingkat Reaksi	38
3.6.1. Sudu pengarah tingkat kedua	38
3.6.2. Sudu pengarah tingkat ketiga	39
3.6.3. Sudu pengarah tingkat keempat	41
3.6.4. Sudu pengarah tingkat kesebelas	43
3.6.5. Sudu pengarah tingkat kedua belas	46
3.6.6. Sudu pengarah tingkat ketiga belas	48
3.6.7. Sudu gerak tingkat kedua	51
3.6.8. Sudu gerak tingkat ketiga	56
3.6.9. Sudu gerak tingkat kesebelas	61
3.6.10. Sudu gerak tingkat kedua belas	66
3.9. Tingkat Kondensasi	72

BAB IV PERANCANGAN NOSEL	74
---------------------------------	-----------

4.1. Pemilihan Nosel	74
4.2. Penentuan Dimensi Nosel	74

BAB V PERANCANGAN SUDU	77
-------------------------------	-----------

5.1. Perhitungan Sudu Pengarah	77
5.2. Perhitungan Sudu Gerak	79
5.3. Desain Sudu	81
5.3.1. Tegangan tarik pada bagian terlemah akibat gaya sentrifugal	83

5.3.2.	Tegangan lentur akibat tekanan uap	85
5.3.3.	Bahan sudu	87
BAB VI	PERANCANGAN POROS, BANTALAN DAN PISTON	88
	PENYEIMBANG	
6.1.	Perancangan Poros	88
6.1.1.	Torsi pada poros	88
6.1.2.	Diameter poros minimum	89
6.1.3.	Konstruksi poros	90
6.1.4.	Momen lengkung yang terjadi pada poros	93
6.1.5.	Dorongan aksial pada rotor	95
6.1.6.	Tegangan geser yang terjadi pada poros	97
6.1.7.	Defleksi puntir yang terjadi pada poros	98
6.1.8.	Defleksi lengkung pada poros	99
6.1.9.	Putaran kritis poros	102
6.2.	Perancangan Bantalan	104
6.2.1.	Pemilihan jenis bantalan	104
6.2.2.	Perencanaan bantalan luncur radial	104
6.2.3.	Perencanaan bantalan aksial	107
6.3.	Perancangan Piston Penyeimbang	109
BAB VII	RUMAH TURBIN	112
7.1.	Dasar Perancangan	112
7.2.	Pemilihan Bahan Rumah Turbin	112
7.3.	Perhitungan Diameter Dalam dan Tebal Pipa Buang	113
7.4.	Perhitungan Flens dan Baut	114
BAB VIII	SISTEM PENGATURAN	116
8.1.	Pengaturan Suplai Uap	116
8.2.	Sistem Pemutus-hubungan pada Kecepatan Lebih	117

BAB IX PENUTUP	119
DAFTAR PUSTAKA	121
LAMPIRAN	123

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Penampang turbin reaksi	8
Gambar 2.2.	Diagram $i - s$ untuk tingkat reaksi	9
Gambar 2.3.	Penampang nosel pada sisi yang miring	10
Gambar 2.4.	Nosel turbin uap	10
Gambar 2.5.	Koefisien kecepatan ψ untuk sudu gerak turbin impuls sebagai fungsi tinggi sudu gerak	13
Gambar 2.6.	Tingkat tekanan turbin impuls	14
Gambar 2.7.	Efisiensi mekanik turbin	15
Gambar 2.8.	Efisiensi relatif efektif turbin	16
Gambar 2.9.	Efisiensi generator menurut data Elektrosila Works	16
Gambar 3.1.	Diagram Mollier untuk uap, satuan SI	19
Gambar 3.2.	Diagram $i-s$ untuk impuls tingkat-tunggal	21
Gambar 3.3.	Segitiga kecepatan untuk $u/c_1 = 0,36$	23
Gambar 3.4.	Segitiga kecepatan untuk $u/c_1 = 0,37$	26
Gambar 3.5.	Segitiga kecepatan untuk $u/c_1 = 0,38$	29
Gambar 3.6.	Segitiga kecepatan untuk $u/c_1 = 0,39$	31
Gambar 3.7.	Efisiensi turbin impuls tingkat tunggal	33
Gambar 3.8.	Penurunan kalor teoritis untuk tingkat reaksi	37
Gambar 3.9.	Segitiga kecepatan tingkat turbin	73
Gambar 4.1.	Nosel dan tingkat impuls turbin	76
Gambar 5.1.	Penampang sudu gerak tingkat 16	81
Gambar 5.2.	Profil sudu gerak untuk menentukan momen perlawanan terhadap sumbu x-x	81
Gambar 5.3.	Akar sudu gerak tingkat 16	84
Gambar 6.1.	Poros bertingkat	89
Gambar 6.2.	Penampang cakram	92
Gambar 6.3.	Gaya yang bekerja pada poros bertingkat	93
Gambar 6.4.	Diagram momen lengkung pada tiap titik.	95

Gambar 6.5.	Koefisien ϕ_v (kriteria beban)	105
Gambar 6.6.	Koefisien ϕ_s (kriteria tahanan)	106
Gambar 7.1.	Ukuran-ukuran utama flens	114
Gambar 8.1.	Skematik diagram PG-PL Governor	117
Gambar 8.2.	Alat pemutus-hubungan kecepatan lebih	118

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1.	Kondisi uap pada tingkat reaksi	36
Tabel 3.2.	Sudu pengarah	50
Tabel 3.3.	Sudu gerak	71
Tabel 3.4.	Tingkat kondensasi	72
Tabel 5.1.	Dimensi sudu pengarah	78
Tabel 5.2.	Dimensi sudu gerak	80
Tabel 5.3.	Perhitungan luas penampang sudu gerak tingkat 16	82
Tabel 5.4.	Momen inersia sudu gerak tingkat 16	83
Tabel 6.1.	Faktor koreksi daya yang akan ditransmisikan	88
Tabel 6.2.	Berat poros untuk tiap bagian	90
Tabel 6.3.	Berat untuk tiap sudu bagian atas	91
Tabel 6.4.	Momen lengkung pada tiap titik	94
Tabel 6.5.	Dorongan aksial pada sudu gerak turbin	96
Tabel 6.6.	Dorongan aksial akibat perbedaan momentum uap	97
Tabel 6.7.	Defleksi puntir pada masing-masing titik	99
Tabel 6.8.	Defleksi pada masing-masing titik pada poros	101
Tabel 6.9.	Hasil perkalian beban poros dengan defleksi	103
Tabel 6.10.	Kondisi operasi bantalan luncur radial A dan B	107
Tabel 6.11.	Gaya aksial pada kelepak poros	110

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data awal perancangan	124
Lampiran 2. Diagram Mollier	125
Lampiran 3. Tabel A-6 <i>Superheated water</i>	126
Lampiran 4. Koefisien kecepatan sudu gerak turbin impuls	130
Lampiran 5. Efisiensi mekanis turbin	130
Lampiran 6. Efisiensi relatif efektif turbin	130
Lampiran 7. Efisiensi generator menurut data Elektrosila Works	131
Lampiran 8. Besar ruang bebas pada bantalan luncur	131
Lampiran 9. Nilai desain bantalan radial	132
Lampiran 10. Tabel tekanan yang diizinkan untuk bantalan aksial	132
Lampiran 11. Ukuran baut standar ISO	133
Lampiran 12. Perhitungan lengkap untuk tiap tingkat turbin	134
Lampiran 13. Schedule Pipa	136

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

1. Huruf latin

$a_{\min}$	= lebar nosel pada bagian leher (cm)
A_b	= luas panampang sudu (mm^2)
A_r	= Kerja untuk melawa gaya gesek (kg.m/s)
a_1	= lebar nosel pada bagian keluar (cm)
b_o	= lebar sudu (mm)
c	= ruang bebas (mm)
c_{ad}	=kecepatan teoritis jika penurunan kalor dikonversi ke energi kinetik (m/s)
C_b	= gaya sentrifugal pada sudu gerak (kg)
C_d	= koefisien kalor hilang ($\text{kkal/min/cm}^2/^{\circ}\text{C}$)
c_1	= kecepatan absolut (m/s)
c_{1a}	= proyeksi kecepatan absolut uap masuk sudu gerak pada arah aksial (m/s)
c_{1u}	= proyeksi kecepatan absolut uap masuk sudu gerak pada arah radial (m/s)
c_{1t}	= kecepatan absolut teoritis (m/s)
c_2	= kecepatan absolut uap keluar sudu gerak (m/s)
c_{2a}	= proyeksi kecepatan absolut uap keluar sudu gerak pada arah aksial (m/s)
c_{2u}	= proyeksi kecepatan absolut uap keluar sudu gerak pada arah radial (m/s)
d	= diameter cakram (m)
d_d	= diameter rotor tingkat pertama (m)
d_{dz}	= diameter rotor tingkat akhir (m)
d_{pp}	= diameter piston penyeimbang (cm)
d_s	= diameter poros minimum (mm)
d_z	= diameter keliling rata-rata tingkat akhir (m)
E	= modulus elastisitas bahan (kg/mm^2)
f	= koefisien gesek bantalan
F'_a	= gaya akibat perubahan momentum uap (kg)
F_a	= gaya akibat perbedaan tekanan antara kedua permukaan sudu (kg)
f_c	= faktor koreksi daya

- F_i = berat bagian poros i (kg)
- f_{maks} = luas penampang maksimum nosel (m^2)
- f_{min} = luas penampang minimum nosel (m^2)
- F_o = luas penampang akar sudu yang mengalami tegangan tarik (mm^2)
- F_r = resultan terhadap gaya yang terjadi pada sudu gerak (kg)
- f_s = luas celah melingkar antara lurus dengan sekat labirin (m^2)
- F_x = gaya yang dikerjakan sudu dalam arah sumbu x-x (kg)
- F_μ = gaya sudu gerak yang searah dengan putaran (kg)
- G = laju percepatan gravitasi (m/s^2)
- G_b = berat sudu gerak (kg)
- G_o = laju massa aliran uap (kg/s)
- h'_b = rugi-rugi pada sudu gerak (kkal/kg)
- h'_o = penurunan kalor teoritis pada nosel (kkal/kg)
- h_b = rugi-rugi pada sudu gerak (kkal/kg)
- h_e = rugi-rugi kecepatan keluar (kkal/kg)
- h_e^{pr} = rugi-rugi kecepatan keluar (*carry-over loss*) (kkal/kg)
- h_{ez} = rugi-rugi kecepatan keluar pada tingkat akhir (kkal/kg)
- h_{gb} = rugi-rugi pada sudu pengarah (kkal/kg)
- $h_{ge.a}$ = rugi-rugi akibat gesekan dan ventilasi pada cakram (kkal/kg)
- h_{ith} = penurunan kalor teoritis pada tingkat reaksi (kkal/kg)
- $h_{kebasahan}$ = rugi-rugi kebasahan uap (kkal/kg)
- $h_{kebocoran}$ = rugi-rugi kebocoran melalui ruang bebas radial (kkal/kg)
- h_n = rugi-rugi gesekan uap didalam nosel (kkal/kg)
- h_o = penurunan kalor teoritis (kkal/kg)
- h_u = penurunan kalor yang dimanfaatkan pada tingkat tersebut (kkal/kg)
- h_{w1} = kandungan kalor uap pada sisi masuk sudu gerak (kkal/kg)
- h_{01} = penurunan kalor sudu pengarah (kkal/kg)
- h_{02} = penurunan kalor sudu gerak (kkal/kg)
- I = momen inersia poros (mm^4)
- i_o = Entalpi uap masuk turbin (kkal/kg)
- I_{yi} = Momen inersia untuk setiap bilah (mm^4)

i_{1t}	= Entalpi uap keluar turbin (kkal/kg)
J	= momen inersia polar poros (mm^4)
K_b	= faktor beban lentur
K_t	= faktor koreksi beban kejut
l	= tinggi sudu (mm)
l_y	= jarak titik berat sudu terhadap sumbu x-x (mm)
l_z	= tinggi sudu gerak tingkat akhir (m)
l_1	= tinggai sudu pengarah (m)
l''_2	= tinggi sudu gerak (m)
m	= berat pelumas (kg/min)
M_A	= momen lengkung poros pada titik A (kg.mm)
M_B	= momen lengkung poros pada titik B (kg.mm)
M_b	= momen lengkung maksimum (kg.mm)
n	= putaran poros turbin (rpm)
n_{cr}	= putaran kritis turbin (rpm)
$N_{ge.a}$	= Daya yang dibangkitkan oleh gesekan dan ventilasi cakram (kW)
N_e	= daya turbin uap (kW)
N'_i	= daya yang dibangkitkan tingkat turbin tersebut (kW)
P_d	= daya rencana (kW)
p_{kr}	= tekanan kritis (ata)
p_o	= tekanan uap masuk turbin (ata)
p_{o1}	= tekanan uap masuk sudu tingkat reaksi (ata)
p_{o2}	= tekanan uap keluar sudu tingkat reaksi (ata)
p_1	= tekanan uap keluar nosel (ata)
p'_o	= tekanan uap masuk turbin (ata)
Q_d	= kalor yang hilang (kkal/min)
Q_g	= kalor yang ditimbulkan bantalan aksial (kkal/min)
q_o	= pelumas yang dibutuhkan bantalan (liter/s)
Q_r	= Ekivalensi kalor kerja (kkal/s)
Q_t	= penurunan kalor pada bantalan aksial (kkal/min)
R_b	= dorongan aksial pada sudu gerak semua tingkat (kg)

$R_{kelepak}$	= gaya aksial pada kelepak poros (kg)
R_m	= dorongan aksial pada rotor akibat perbedaan momentum uap (kg)
R_t	= dorongan aksial yang ditahan oleh bantalan aksial (kg)
R_0	= Gaya aksial rotor (kg)
S	= kalor spesifik pelumas (kkal/kg ^o C)
Sf_1	= safety factor untuk kekuatan bahan
Sf_2	= safety factor untuk alur pasak, bertangga, dan kekerasan permukaan
t	= jarak antara sudu pengarah (mm)
T	= Momen puntir turbin (kg.mm)
t_n	= jarak antar nosel (cm)
t_o	= suhu uap masuk turbin (°C)
u	= kecepatan keliling (m/s)
V_{bb}	= Volume bagian akar sudu gerak (mm ³)
V_{mb}	= Volume sudu gerak bagian atas (mm ³)
V_{tb}	= volume sudu gerak (mm ³)
v'_o	= volume spesifik uap sebelum masuk nosel (m ³ /kg)
v_{01}	= volume spesifik sebelum masuk sudu (m ³ /kg)
v_{02}	= volume spesifik meninggalkan sudu gerak (m ³ /kg)
v_1	= volume spesifik sesudah nosel (m ³ /kg)
W_c	= berat cakram (kg)
W_x	= Momen perlawanan sudu terhadap sumbu x-x (mm ³)
x_k	= fraksi kekeringan rata-rata uap (%)
x_o	= tebal lapisan minyak (mm)
x_1	= perbandingan kecepatan pada sudu pengarah
x''_2	= perbandingan kecepatan uap pada sudu gerak
y	= defleksi lengkungan poros (mm)
z	= jumlah sudu pada tingkat tersebut
Z	= viskositas absolut (kg/m-s)
z_b	= jumlah kerah bantalan aksial
z_n	= jumlah nosel
z_s	= celah antara poros dengan sekat labirin (m)

2. Huruf yunani

φ	= koefisien kecepatan nosel
α_1	= sudut kecepatan absolut uap masuk sudu gerak ($^{\circ}$)
γ	= berat jenis (kg/m^3)
ω_1	= kecepatan relatif uap masuk sudu gerak (m/s)
β_1	= sudut kecepatan relatif keluar sudu gerak ($^{\circ}$)
ψ	= koefisien sudu gerak
ω_2	= kecepatan relatif uap keluar sudu gerak (m/s)
β_2	= sudut kecepatan relatif uap keluar sudu gerak ($^{\circ}$)
α_2	= sudut kecepatan absolut keluar sudu gerak ($^{\circ}$)
η_u	= efisiensi kecepatan cakram turbin
η_{oi}	= Efisiensi internal relatif turbin
η_{re}	= efisiensi relatif efektif turbin
η_m	= efisiensi mekanis turbin
ε	= derajat pemasukan uap
q	= derajat reaksi
ω_{2t}	= kecepatan relatif teoritis uap keluar sudu gerak (m/s)
δ_r	= lebar ruang bebas (mm)
ρ	= jari-jari kelengkungan sudu (mm)
σ_t	= Tegangan tarik sudu akibat gaya sentrifugal (kg/mm^2)
σ_b	= tegangan lentur akibat tekanan uap (kg/mm^2)
σ_B	= kekuatan tarik bahan poros (kg/mm^2)
τ_a	= tegangan geser yang diizinkan bahan (kg/mm^2)
τ_s	= tegangan geser poros (kg/mm^2)
θ	= defleksi puntir poros ($^{\circ}/\text{m}$)
ϕ_v	= koefisien beban bantalan
ϕ_s	= koefisien tahanan bantalan
ζ_e	= koefisien kerugian kalor untuk kecepatan keluar pada tingkat akhir