

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
INTISARI	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR NOTASI.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	6
2.1. Tinjauan Pustaka.....	6
2.2. Landasan Teori.....	10
2.2.1. Turbin Francis.....	10
2.2.2. Bagian-bagian Turbin Francis	12
2.2.3. Prinsip Kerja Turbin Francis	13
2.2.4. Komponen Penentu Performansi Turbin Francis	15
2.2.4.1. Segitiga Kecepatan.....	15
2.2.4.2. Momentum Sudut (L).....	17

2.2.4.3.	Torsi Turbin (T)	19
2.2.4.4.	Daya Turbin (P_H)	19
2.2.4.5.	Efisiensi Turbin.....	21
2.2.4.6.	Karakteristik Turbin.....	24
2.2.4.7.	Kurva Karakteristik Turbin Francis	28
2.2.4.8.	Pengaruh Bukaannya Sudu Pengarah (<i>Guide Vane</i>).....	31
2.2.5.	Komputasi Dinamika Fluida	33
2.2.5.1.	Pemodelan Geometri dan Pembuatan <i>Mesh</i>	35
2.2.5.2.	<i>Boundary Conditions</i>	40
2.2.5.3.	<i>Domain Interfaces</i>	43
2.2.5.4.	<i>Turbulence Model</i>	47
2.2.5.5.	<i>Post-Processor</i> : Torsi	58
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	59
3.1.	Alat dan Bahan Penelitian.....	59
3.1.1.	Alat Penelitian	59
3.1.2.	Bahan Penelitian	59
3.2.	Tempat Penelitian	59
3.3.	Prosedur Penelitian	60
3.4.	Diagram Alir Penelitian	67
BAB IV	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	68
4.1.	Pembuatan <i>Meshing</i>	69
4.2.	<i>Setup/Pre-Processor</i>	72
4.3.	<i>Results / Post-Processor</i> Numerik.....	78
4.4.	<i>Results / Post-Processor</i> Medan Aliran Fluida.....	107
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	121
5.1.	Kesimpulan	121
5.2.	Saran	122
	DAFTAR PUSTAKA	123
	LAMPIRAN.....	126

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Variasi antara kecepatan putar <i>runner</i> turbin dengan torsi pada <i>head</i> berbeda.....	9
Gambar 2.2.	Komponen pada turbin Francis.....	13
Gambar 2.3.	Aliran fluida air pada turbin Francis.....	14
Gambar 2.4.	Segitiga kecepatan pada <i>runner</i> atau <i>vane</i>	16
Gambar 2.5.	Momentum sudut untuk partikel fluida.....	18
Gambar 2.6.	Daerah penggunaan beberapa jenis turbin.....	27
Gambar 2.7.	Kurva karakteristik untuk kecepatan satuan <i>versus</i> (a) debit, (b) daya dan (c) efisiensi.....	28
Gambar 2.8.	Kurva karakteristik untuk kecepatan putar <i>versus</i> (a) debit, (b) daya dan (c) efisiensi pada berbagai <i>head</i> dan debit konstan.....	29
Gambar 2.9.	Kurva karakteristik untuk kecepatan putar <i>versus</i> (a) daya dan (b) efisiensi pada <i>head</i> konstan.....	29
Gambar 2.10.	Kurva karakteristik untuk <i>relative speed runner versus relative torque</i>	30
Gambar 2.11.	(a) Bukaan sudu pengarah sebesar α' antara 2 sudu pengarah dan (b) sudu pengarah dalam kondisi tertutup.....	31
Gambar 2.12.	Gambaran secara umum pada CFD.....	35
Gambar 2.13.	Komponen <i>mesh</i>	36
Gambar 2.14.	Bentuk elemen pada proses <i>meshing</i>	37
Gambar 2.15.	<i>Mesh orthogonality</i> pada CFX.....	38
Gambar 2.16.	<i>Mesh expansion factor</i> pada CFX.....	38
Gambar 2.17.	<i>Mesh aspect ratio</i> pada CFX.....	39
Gambar 2.18.	Informasi kualitas <i>mesh</i> pada CFX.....	39
Gambar 2.19.	Tipe <i>boundary conditions</i>	40
Gambar 2.20.	<i>Inflow</i> dan <i>outflow</i> pada <i>inlet</i>	41

Gambar 2.21.	<i>Inflow dan outflow pada outlet</i>	42
Gambar 2.22.	<i>General connection : no frame change</i>	43
Gambar 2.23.	<i>Fluid-solid interface dan solid-solid interface</i>	44
Gambar 2.24.	Analisis sudu tunggal dari mesin berputar	45
Gambar 2.25.	<i>General connection : frame change and pitch change</i>	46
Gambar 2.26.	<i>Transport equations untuk k dan ϵ</i>	49
Gambar 2.27.	<i>Standard k-ω model</i>	50
Gambar 2.28.	Bentuk <i>SST k-ω model</i>	50
Gambar 2.29.	<i>Menter's SST k-ω model blended equations</i>	51
Gambar 2.30.	<i>Reynolds stress model</i>	53
Gambar 2.31.	<i>Large eddy simulation model</i>	54
Gambar 2.32.	<i>Detached eddy simulation model</i>	56
Gambar 3.1.	Turbin Francis <i>cylindrical casing</i>	61
Gambar 3.2.	Model geometri <i>isometric</i> dari komponen turbin Francis	63
Gambar 3.3.	<i>Fluid body</i> turbin Francis pada <i>plane XYZ</i>	64
Gambar 3.4.	Variasi <i>fluid body</i> turbin Francis	64
Gambar 3.5.	<i>Flow chart</i> Simulasi Numerik Aliran Fluida Dalam Turbin Francis <i>Cylindrical casing</i> Dengan Komputasi Dinamika Fluida	67
Gambar 4.1.	Kerapatan <i>grid mesh</i> pada jenis <i>mesh : coarse dan fine</i> , serta <i>mesh statistics</i>	71
Gambar 4.2.	Domain rotor dan domain stator	73
Gambar 4.3.	<i>Interfaces</i> antara domain rotor dan domain stator	76
Gambar 4.4.	Perbandingan hasil simulasi GVO 60% antara k- ϵ dan SST	81
Gambar 4.5.	Perbandingan hasil simulasi GVO 60% antara <i>coarse dan fine</i>	82
Gambar 4.6.	Perbandingan <i>error</i> GVO 60% antara k- ϵ dan SST	84
Gambar 4.7.	Perbandingan <i>error</i> GVO 60% antara <i>coarse dan fine</i>	85
Gambar 4.8.	Perbandingan hasil simulasi GVO 50% antara k- ϵ dan SST	88

Gambar 4.9.	Perbandingan hasil simulasi GVO 50% antara <i>coarse</i> dan <i>fine</i>	90
Gambar 4.10.	Perbandingan <i>error</i> GVO 50% antara k- ϵ dan SST	92
Gambar 4.11.	Perbandingan <i>error</i> GVO 50% antara <i>coarse</i> dan <i>fine</i>	93
Gambar 4.12.	Hasil simulasi GVO 50% variasi putaran 2500 rpm – 0 rpm	94
Gambar 4.13.	<i>Error</i> GVO 50%, tanpa profil, <i>coarse</i> , k- ϵ variasi putaran 2500 rpm – 250 rpm	95
Gambar 4.14.	Perbandingan hasil simulasi GVO 50% dengan GVO 60%, tanpa profil, <i>coarse</i> , k- ϵ variasi putaran 1217 rpm – 852 rpm	98
Gambar 4.15.	Perbandingan <i>error</i> GVO 50% dengan GVO 60%, tanpa profil, <i>coarse</i> , k- ϵ variasi putaran 1217 rpm – 852 rpm	99
Gambar 4.16.	Perbandingan hasil simulasi 0,0455 m ³ s ⁻¹ dengan 0,0480 m ³ s ⁻¹ , tanpa profil, <i>coarse</i> , k- ϵ variasi putaran 1217 rpm – 852 rpm	100
Gambar 4.17.	Perbandingan <i>error</i> 0,0455 m ³ s ⁻¹ dengan 0,0480 m ³ s ⁻¹ , tanpa profil, <i>coarse</i> , k- ϵ variasi putaran 1217 rpm – 852 rpm	101
Gambar 4.18.	Perbandingan hasil simulasi GVO 60% tanpa profil vs profil	105
Gambar 4.19.	<i>Contour</i> kecepatan GVO 60%, tanpa profil, <i>coarse</i> , k- ϵ	107
Gambar 4.20.	<i>Contour</i> kecepatan GVO 50%, tanpa profil, <i>coarse</i> , k- ϵ	109
Gambar 4.21.	<i>Contour</i> tekanan GVO 60%, tanpa profil, <i>coarse</i> , k- ϵ	110
Gambar 4.22.	<i>Contour</i> tekanan GVO 50%, tanpa profil, <i>coarse</i> , k- ϵ	111
Gambar 4.23.	Perbandingan <i>contour</i> tekanan dan <i>vector</i> kecepatan antara GVO 60% dan GVO 50%, tanpa profil, <i>coarse</i> , k- ϵ	113
Gambar 4.24.	Perbandingan <i>vector</i> kecepatan tanpa profil vs profil A,B	116

Gambar 4.25.	Perbandingan <i>vector</i> kecepatan tanpa profil vs profil A.....	117
Gambar 4.26.	Perbandingan <i>surface streamline</i> antara <i>cylindrical casing</i> dan <i>spiral casing</i> (augustson, 2013).....	118
Gambar A.	<i>Contour</i> kecepatan GVO 60%, tanpa profil, <i>coarse</i> , k- ϵ , draft tube	136
Gambar B.	<i>Contour</i> tekanan GVO 60%, tanpa profil, <i>coarse</i> , k- ϵ , draft tube	136
Gambar C.	<i>Contour</i> kecepatan GVO 50%, tanpa profil, <i>coarse</i> , k- ϵ , draft tube	137
Gambar D.	<i>Contour</i> tekanan GVO 50%, tanpa profil, <i>coarse</i> , k- ϵ , draft tube	137

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1.	Data penelitian eksperimen turbin Francis <i>cylindrical casing</i>	68
Tabel 4.2.	Jumlah <i>grid mesh all domain</i>	70
Tabel 4.3.	Hasil simulasi GVO 60%, tanpa profil, <i>coarse</i> , k- ϵ	78
Tabel 4.4.	Hasil simulasi GVO 60%, tanpa profil, <i>coarse</i> , SST	79
Tabel 4.5.	Hasil simulasi GVO 60%, tanpa profil, <i>fine</i> , k- ϵ	79
Tabel 4.6.	Validasi hasil simulasi GVO 60%, tanpa profil, <i>coarse</i> , k- ϵ	83
Tabel 4.7.	Validasi hasil simulasi GVO 60%, tanpa profil, <i>coarse</i> , SST.....	83
Tabel 4.8.	Validasi hasil simulasi GVO 60%, tanpa profil, <i>fine</i> , k- ϵ	84
Tabel 4.9.	Hasil simulasi GVO 50%, tanpa profil, <i>coarse</i> , k- ϵ	86
Tabel 4.10.	Hasil simulasi GVO 50%, tanpa profil, <i>coarse</i> , SST	87
Tabel 4.11.	Hasil simulasi GVO 50%, tanpa profil, <i>fine</i> , k- ϵ	87
Tabel 4.12.	Validasi hasil simulasi GVO 50%, tanpa profil, <i>coarse</i> , k- ϵ (I).....	91
Tabel 4.13.	Validasi hasil simulasi GVO 50%, tanpa profil, <i>coarse</i> , SST.....	91
Tabel 4.14.	Validasi hasil simulasi GVO 50%, tanpa profil, <i>fine</i> , k- ϵ	92
Tabel 4.15.	Validasi hasil simulasi GVO 50%, tanpa profil, <i>coarse</i> , k- ϵ (II).....	95
Tabel 4.16.	Hasil simulasi GVO 50%, tanpa profil, <i>coarse</i> , k- ϵ variasi putaran 1217 rpm – 852 rpm.....	97
Tabel 4.17.	Validasi hasil simulasi GVO 50%, tanpa profil, <i>coarse</i> , k- ϵ variasi putaran 1217 rpm - 852 rpm.....	98
Tabel 4.18.	Hasil simulasi GVO 60%, profil A, <i>coarse</i> , k- ϵ	103
Tabel 4.19.	Hasil simulasi GVO 60%, profil B, <i>coarse</i> , k- ϵ	104

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Gambar Teknik Turbin Francis	126
Lampiran 2.	Gambar Teknik <i>Section Turbine</i>	127
Lampiran 3.	Gambar Teknik <i>Cylindrical casing Fluid Domain</i>	128
Lampiran 4.	Gambar Teknik <i>Guide Vane</i>	129
Lampiran 5.	Gambar Teknik <i>Runner</i>	130
Lampiran 6.	Gambar Teknik <i>Rotation Region Fluid Domain</i>	131
Lampiran 7.	Gambar Teknik <i>Shaft</i>	132
Lampiran 8.	Gambar Teknik Profil A.....	133
Lampiran 9.	Gambar Teknik Profil B.....	134
Lampiran 10.	Gambar Teknik <i>Draft Tube</i>	135
Lampiran 11.	Gambar Medan Aliran Fluida pada Turbin Francis <i>Cylindrical casing</i> dilengkapi <i>Draft Tube</i> , GVO 60%	136
Lampiran 12.	Gambar Medan Aliran Fluida pada Turbin Francis <i>Cylindrical casing</i> dilengkapi <i>Draft Tube</i> , GVO 50%	137

DAFTAR NOTASI

v_{u1}	=	<i>whirl velocity runner</i> pada bagian <i>inlet</i>
v_{u2}	=	<i>whirl velocity runner</i> pada bagian <i>outlet</i>
C_d	=	koefisien debit
D_s	=	diameter spesifik (<i>m</i>)
N_s	=	kecepatan spesifik
N_u	=	kecepatan satuan
P_h	=	daya aktual yang dihasilkan dari turbin (<i>watt</i>)
P_a	=	daya yang tersedia pada air (<i>watt</i>)
P_{bh}	=	daya yang berada pada poros turbin (<i>watt</i>)
P_s	=	daya pada poros (<i>watt</i>)
P_u	=	daya satuan
Q_a	=	debit aktual yang mengenai sudu dari <i>runner</i> (m^3/s)
Q_u	=	debit satuan
r_1	=	jarak radial dari sumbu rotasi atau jari-jari pada titik 1 (<i>m</i>)
r_2	=	jarak radial dari sumbu rotasi atau jari-jari pada titik 2 (<i>m</i>)
u_1	=	kecepatan keliling <i>runner</i> pada bagian <i>inlet</i> ($\frac{\pi DN}{60}$)
u_2	=	kecepatan keliling <i>runner</i> pada bagian <i>outlet</i> ($\frac{\pi DN}{60}$)
v_1	=	kecepatan absolut fluida air terhadap <i>runner</i> pada bagian <i>inlet</i>
v_2	=	kecepatan absolut fluida air terhadap <i>runner</i> pada bagian <i>outlet</i>
v_u	=	komponen kecepatan dari partikel fluida pada arah normal dengan sudut 90° terhadap jari-jari (m/s)
w_1	=	kecepatan relatif fluida air terhadap <i>runner</i> pada bagian <i>inlet</i>
w_2	=	kecepatan relatif fluida air terhadap <i>runner</i> pada bagian <i>outlet</i>
α_1	=	sudut antara kecepatan absolut air terhadap kecepatan keliling pada bagian <i>inlet runner</i>
α_2	=	sudut antara kecepatan absolut air terhadap kecepatan keliling pada bagian <i>outlet runner</i>
β_1	=	sudut antara kecepatan relatif air terhadap kecepatan keliling pada bagian <i>inlet runner</i>
β_2	=	sudut antara kecepatan relatif air terhadap kecepatan keliling pada bagian <i>outlet runner</i>
η_h	=	efisiensi hidrolik
η_m	=	efisiensi mekanik
η_o	=	efisiensi keseluruhan
η_v	=	efisiensi volumetrik
ΔL	=	perubahan momentum sudut untuk partikel fluida (<i>Nms</i>)
ΔQ	=	debit yang mengarah pada saluran keluaran turbin dan tidak melewati <i>runner</i> (m^3/s)
D	=	diameter karakteristik turbin (<i>m</i>)
H	=	<i>head</i> (<i>m</i>)

L	=	momentum sudut untuk partikel fluida (Nms)
N	=	kecepatan putar pada bagian <i>runner</i> (rpm)
Q	=	debit air (m^3/s)
T	=	torsi pada poros (Nm)
g	=	percepatan gravitasi (m/s^2)
m	=	massa dari partikel fluida (kg)
p	=	momentum dari partikel fluida ($kg\ m/s$)
r	=	jarak radial dari sumbu rotasi atau jari-jari (m)
v	=	kecepatan dari partikel fluida (m/s)
ρ	=	densitas air (kg/m^3)
k	=	<i>turbulence kinetic energy per unit massa</i> (L^2T^{-2})
U	=	vektor kecepatan (LT^{-1})
u	=	<i>fluctuating velocity component in turbulent flow</i> (LT^{-1})
μ	=	<i>molecular (dynamic) viscosity</i> ($ML^{-1}T^{-1}$)
μ_t	=	<i>turbulent viscosity</i> ($ML^{-1}T^{-1}$)
σ_k	=	<i>turbulence model constant for the k equation</i> (1)
P_k	=	<i>shear production of turbulence</i> ($ML^{-1}T^{-3}$)
ε	=	<i>turbulence dissipation rate</i> (L^2T^{-3})
P_{kb}	=	<i>influence of the buoyancy forces</i>
$P_{\varepsilon b}$	=	<i>influence of the buoyancy forces</i>
$P_{\omega b}$	=	<i>influence of the buoyancy forces</i>
σ_ε	=	<i>k – ε turbulence model constant</i> (1,3)
$C_{\varepsilon 1}$	=	<i>k – ε turbulence model constant</i> (1,44)
$C_{\varepsilon 2}$	=	<i>k – ε turbulence model constant</i> (1,92)
β	=	<i>subscript to indicate that the quantity applies to phase β</i>
β'	=	<i>coefficient of thermal expansion (for the Boussinesq approximation)</i>
ω	=	<i>turbulent frequency</i>
σ_ω	=	<i>k – ω turbulence model constant</i> (2)
α	=	<i>subscript to indicate that the quantity applies to phase α</i>
Φ	=	<i>additional variable (non-reacting scalar)</i> (ML^{-3})
F	=	<i>blending function</i>
y	=	<i>distance to the nearest wall</i>
ν	=	<i>kinematic viscosity</i>
C_S	=	<i>reynolds stress model constant</i> (0,22)
P_{ij}	=	<i>shear turbulence production terms</i>
$P_{ij,b}$	=	<i>buoyancy turbulence production terms</i>
Φ_{ij}	=	<i>pressure-strain tensor</i>
δ	=	<i>identity matrix or Kronecker Delta function</i>
L_t	=	<i>turbulent length</i>
Δ	=	<i>local grid spacing</i>
C_{DES}	=	<i>detached eddy simulation model constant</i> (0,61)