

**TUGAS AKHIR  
BIDANG KONVERSI ENERGI**

**PERANCANGAN TURBIN AIR ALIRAN SILANG  
(CROSS FLOW TURBINE)**

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menyelesaikan  
Pendidikan Tahap Sarjana*

Oleh :

**EFFENDI YUNALDI**

**01 171 089**



**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK - UNIVERSITAS ANDALAS  
PADANG, 2009**

## ABSTRAK

*Sebuah prototipe Turbin Aliran Silang dengan debit ( $Q$ ) = 0,35 m<sup>3</sup>/s, head ( $H$ ) = 45 m dan diameter runner ( $D$ ) = 0,30 m, dirancang dalam kegiatan Tugas Akhir ini. Perancangan dilakukan dengan asumsi aliran inkompresibel, sudut aliran masuk runner dipilih ( $\alpha_1$ ) = 16° dan efisiensi turbin ( $\eta$ ) = 0,76. Spesifikasi teknik utama dari turbin yang dirancang adalah head ( $H$ ) = 2,5 m, debit ( $Q$ ) = 0,02 m<sup>3</sup>/s dan diameter runner ( $D$ ) = 0,15 m. Sebuah program spreadsheet perancangan turbin juga dibuat dalam Tugas Akhir ini. Program komputer tersebut membutuhkan masukan head dan debit dengan keluaran berupa ukuran komponen utama turbin, ukuran puli dan bantalan.*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dalam beberapa tahun bahan bakar fosil makin susah didapatkan. Jumlah persediaan bahan bakar tersebut di Indonesia makin menipis. Harga bahan bakar fosil di pasar dunia makin mahal.

Diperlukan usaha untuk memanfaatkan sebanyak mungkin sumber energi alternatif. Indonesia memiliki sumber energi alternatif seperti energi surya, angin, air dan panas bumi. Tenaga surya dalam kenyataannya tidak tersedia sepanjang hari karena langit dibanyak wilayah sering mendung dan *intensity* tenaga surya pun relatif rendah yaitu  $500 \text{ W/m}^2$ , sehingga sejauh ini belum ekonomis untuk dimanfaatkan. Sama dengan tenaga surya ketersediaan energi angin juga tidak banyak untuk dimanfaatkan karena kecepatan angin umumnya rendah yaitu sekitar  $5\text{-}7 \text{ m/s}$ , suatu nilai yang cukup jauh dari nilai kecepatan yang tersedia yang dianggap ekonomis yaitu  $11 \text{ m/s}$ .

Energi air sejauh ini adalah alternatif yang menarik. Sumber energi air dalam ukuran kecil dan sedang banyak tersedia. Telah dilakukan banyak pemanfaatan dengan menggunakan turbin aliran silang, namun sejauh ini turbin tersebut bekerja pada tingkat efisiensi rancangan sekitar  $76 \%$  dan dalam operasinya efisiensi turbin jauh lebih rendah yaitu sebesar  $50 \%$ . Dalam usaha mendapatkan pengetahuan yang lebih banyak tentang turbin aliran silang sehingga efisiensi turbin dapat ditingkatkan, direncanakan untuk membuat alat uji turbin. Tugas akhir ini dikhususkan merancang turbin air aliran silang yang akan digunakan untuk alat uji tersebut.

### 1.2 Tujuan Tugas Akhir

Tugas Akhir ini bertujuan :

1. Merancang prototipe turbin aliran silang yang akan digunakan sebagai alat uji di Laboratorium.
2. Membuat program spreasheet perancangan turbin.

### 1.3 Batasan Masalah

Turbine yang akan dibuat prototipe-nya mempunyai data sebagai berikut:

- *Head* (H) = 45 m
- *Debit air* (Q) = 0,35 m<sup>3</sup>/s
- *Diameter runner* (D) = 0,3 m

Sedangkan prototipe dari turbine tersebut mempunyai *head* dan *debit* sebagai berikut :

- *Head* (H) = 2,5 m
- *Debit air* (Q) = 0,02 m<sup>3</sup>/s

### 1.4 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini meliputi beberapa bagian yaitu :

#### ***BAB I Pendahuluan***

Terdapat uraian mengenai latar belakang tugas akhir ini, tujuan tugas akhir, batasan masalah dan sistematika penulisan.

#### ***BAB II Tinjauan Pustaka***

Berisi penjelasan mengenai turbine air, konsep dan langkah-langkah perancangan, kriteria pemilihan jenis turbine air, konsep turbine aliran silang (cross flow), poros, bantalan, motor penggerak, karakteristik sistem transmisi dan proses penyambungan (joining).

#### ***BAB III Metodologi***

Bab ini berisi pendahuluan, segi tiga kecepatan, perencanaan *runner* dan perencanaan sudu, lengkung pemasukan, perhitungan gaya *impuls*, perhitungan sabuk, perencanaan poros, perhitungan pasak, dan perhitungan umur bantalan.

#### ***BAB IV Hasil Rancangan***

Berisikan tentang data-data hasil perhitungan dan program spreadsheet perancangan turbine air aliran silang.

## BAB IV HASIL RANCANGAN

### 4.1 Hasil Perhitungan Perancangan Turbin

Spesifikasi teknik prototipe dari turbin air aliran silang hasil perancangan adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data Perancangan

Besaran	Simbol	Satuan	Nilai
Debit	Q	m <sup>3</sup> /s	0,02
Head	H	m	2,5
Konstanta kecepatan	k		0,087
Sudut masuk	$\alpha_1$	( <sup>o</sup> )	16
Koefisien empiris	$\phi$		0,98
Efisiensi turbin	$\eta$		0,76
Massa jenis air	$\rho_a$	Kg/m <sup>3</sup>	1000
Gravitasi bumi	g	m/s <sup>2</sup>	9,81

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Diameter Runner

Besaran	Simbol	Satuan	Nilai
Daya turbin	P <sub>t</sub>	kW	0,373
Putaran turbin	N	rpm	426,735
Kecepatan spesifik	n <sub>s</sub>	rpm	96,64
Diameter runner	D <sub>1</sub>	m	0,15
Jari-jari runner	R <sub>1</sub>	m	0,075

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Segitiga Kecepatan

Besaran	Simbol	Satuan	Nilai
Kecepatan absolut air masuk turbin	C <sub>1</sub>	m/s	6,86
Kecepatan tangensial ujung sudu	U <sub>1</sub>	m/s	3,29
Kecepatan relatif air terhadap sudu	W <sub>1</sub>	m/s	3,80
Sudut kecepatan nisbi	$\beta_1$	( <sup>o</sup> )	30
Jari-jari dalam turbin	R <sub>2</sub>	m	0,0495
Kecepatan arah radial	W <sub>2</sub>	m/s	2,88
Kecepatan arah tangensial	U <sub>2</sub>	m/s	2,18
Sudut antara kecepatan arah absolut dengan kecepatan arah tangensial	$\alpha_2$	( <sup>o</sup> )	52,92
Kecepatan absolut	C <sub>2</sub>	m/s	3,61
Kecepatan absolut aliran masuk tingkat II	C <sub>3</sub>	m/s	3,61
Kecepatan arah radial aliran masuk tingkat II	W <sub>3</sub>	m/s	2,89
Kecepatan arah tangensial aliran masuk tingkat II	U <sub>3</sub>	m/s	2,18
Kecepatan arah tangensial aliran keluar tingkat II	U <sub>4</sub>	m/s	3,29

Kecepatan arah radial aliran keluar tingkat II	$W_4$	m/s	3,80
Kecepatan absolut aliran keluar tingkat II	$C_4$	m/s	1,89

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Perencanaan Dinding Runner

Besaran	Simbol	Satuan	Nilai
Tebal pancaran air	$s_0$	m	0,0128
Jarak pancaran	$y$	m	0,0389
Jarak antara sisi dalam pancaran	$y_1$	m	0,1450
Jarak antara sisi luar pancaran	$y_2$	m	0,0073
Panjang runner	$b_0$	m	0,2267

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Perencanaan Sudu

Besaran	Simbol	Satuan	Nilai
Jarak penghubung aliran masuk dengan keluar pada tingkat II	$c$	m	0,108
Sudut (lihat gambar 2.16)	$\epsilon$	( $^\circ$ )	23,256
Sudut (lihat gambar 2.16)	$\xi$	( $^\circ$ )	36,744
Sudut (lihat gambar 2.16)	$\varphi$	( $^\circ$ )	13,488
Jarak antara titik masuk dengan titik keluar	$d$	m	0,0146
Sudut kelengkungan sudu	$\delta$	( $^\circ$ )	73,488
Jari-jari kelengkungan sudu	$r_b$	m	0,0244
Jari-jari lingkaran pitch	$r_p$	m	0,0552
Jarak antar sudu	$t$	m	0,0257
Jumlah sudu	$z$		18,046
Kecepatan aliran	$v$	m/s	4,9982
Lebar lingkaran sudu	$a$	m	0,0251
Tebal air keluar dari sudu tingkat I	$S_2$	m	0,0017
Tebal air masuk pada sudu tingkat I	$S_1$	m	0,0013
Panjang busur pemasukan	$L$	m	0,0176
Luas pemasukan aliran	$A$	m <sup>2</sup>	0,004001

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Lengkung Pemasukan

$360^\circ = 2\pi$		$r_\phi = e^{0,287\phi(\text{rad})}$	$r_\phi \cdot R_1$
$[\circ]$	$\phi$	$[\text{rad}]$	$R_\phi$
0	0	1,000	0,075
5	0,087	1,025	0,077
10	0,175	1,052	0,079
15	0,262	1,078	0,081
20	0,349	1,105	0,083
25	0,436	1,133	0,085
30	0,524	1,162	0,087

35	0,611	1,192	0,089
40	0,690	1,219	0,091
45	0,785	1,253	0,094
50	0,873	1,285	0,096
55	0,960	1,317	0,099
60	1,047	1,351	0,101
65	1,134	1,385	0,104
70	1,222	1,420	0,107
75	1,309	1,456	0,109
80	1,396	1,493	0,112
85	1,484	1,531	0,115
90	1,571	1,570	0,118

Tabel 4.7 Spesifikasi Poros

Besaran	Simbol	Satuan	Nilai
Daya yang ditransmisikan,	$P_t$	0,373	kW
Putaran turbin,	$N_t$	426,735	rpm
Faktor koreksi poros,	$f_{cs}$	1,2	
Daya rencana	$P_{ds}$	0,4473	kW
Momen puntir	$T_p$	10016,208	Nmm
Bahan poros Baja karbon ST-37 dengan kekuatan tarik,	$\sigma_p$	370	N/mm <sup>2</sup>
Faktor keamanan karena pengaruh bahan,	$S_{f1}$	6	
Faktor keamanan karena konsentrasi tegangan, pengaruh kekasaran,	$S_{f2}$	2	
Faktor koreksi untuk momen puntir,	$K_M$	2	
	$K_T$	1,5	
Teg. geser yang diizinkan	$\tau_a$	30,833	N/mm <sup>2</sup>
Diameter poros	$d_s$	25	mm
Faktor konsentrasi tegangan	$\alpha$	2,36	
Tegangan geser maksimum	$\tau_{max}$	20,229	N/mm <sup>2</sup>
Panjang poros	$l$	427	mm
Modulus geser	$G$	81400	N/mm <sup>2</sup>
Defleksi puntiran	$\phi$	0,001786	(o)

Tabel 4.8 Spesifikasi Pasak

Besaran	Simbol	Satuan	Nilai
Lebar pasak	$b_p$	mm	6,25
Panjang pasak	$l_p$	mm	18,75
Kedalaman alur	$t_t$	mm	4
Gaya yang bekerja pada pasak	$F_p$	N	1044
Teg. normal pada pasak	$\sigma_p$	N/mm <sup>2</sup>	13,92

Teg. geser pada pasak	$\tau_p$	N/mm <sup>2</sup>	8,909
Teg. geser maksimum pasak	$\tau_{p-max}$	N/mm <sup>2</sup>	11,305
Teg. normal bahan pasak	$\sigma_{tp}$	N/mm <sup>2</sup>	470,88
Faktor keamanan pada pasak	$S_{f1}$		6
Faktor beban pada pasak	$S_{f2}$		1,5
Teg. geser yang diizinkan	$\tau_{ku}$	N/mm <sup>2</sup>	52,32

Tabel 4.9 Spesifikasi Sabuk

Besaran	Simbol	Satuan	Nilai
Daya yang ditransmisikan,	$P_1$	kW	0,373
Putaran turbin,	$N_1$	rpm	426,735
Putaran generator (diasumsikan / direncanakan),	$N_2$	rpm	1000
Faktor koreksi sabuk,	$f_{cs}$		1,2
Daya rencana	$P_{ds}$	kW	0,447
Momen rencana turbin	$T_{s1}$	Nm	1021,02
Momen rencana generator	$T_{s2}$	Nm	435,705
<b>Sabuk Datar (Flat Belt)</b>			
Besaran	Simbol	Satuan	Nilai
Kecepatan sabuk	$v$	m/s	5
tebal sabuk	$t_{sb}$	mm	5
Tegangan bahan sabuk	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	45
Diameter puli kecil	$d_p$	m	0,0955
Diameter puli besar	$D_p$	m	0,2216
Gaya keliling	$F$	N	74,556
Jarak sumbu minimum poros	$H$	m	2,317
Sudut yang dibentangi oleh sabuk pada puli kecil	$\gamma$	rad	3,0855
Koefisien gesekan	$f$		0,28
	$\mu$		2,3725
Tegangan sabuk	$\sigma_u$	N/mm <sup>2</sup>	2,0015
Lebar sabuk	$b_{sb}$	mm	7,4496
Panjang sabuk	$l_{sb}$	m	5,1340
<b>Sabuk-V (V-Belt)</b>			
Besaran	Simbol	Satuan	Nilai
Menentukan reduksi	$i$		2,3433
Diameter puli besar	$D_p$	mm	222,6204
Kecepatan linear sabuk	$v_{sb}$	m/s	4,9716
Jarak sumbu poros	$c$	mm	333,930
Panjang keliling sabuk	$l_{sb}$	mm	1178,719
Jarak sumbu poros sebenarnya	$C$	mm	328,553
Sudut kontak	$\theta$	( <sup>o</sup> )	158,215
Jumlah sabuk	$n$		0,7386



## DAFTAR PUSTAKA

- /1/ Alex Arte, Ueli Meier, SKAT, *Seri Memanfaatkan Tenaga Air dalam Skala Kecil Buku 2, Pedoman Rekayasa Tenaga Air*, Jakarta, 1991.
- /2/ C. A. Mockmore Professor of Civil Engineering and Fred Merryfield Professor of Civil Engineering, *Engineering The Banki Water Turbine*, Experiment Station Oregon State System of Higher Education Oregon State College Corvallis Buletin Series No. 25, 1949.
- /3/ Dietzel, Fritz, Dakso Sriyono, *Turbin Pompa dan Kompresor*, Erlangga, Jakarta, 1993.
- /4/ Dr Ingeniero de Minas, *Layman's Handbook on How to Develop a Small Hydro Site (Second Edition)*, European, 1998.
- /5/ DTI, Hydropak, *Concept Design and Analysis of a Packaged Cross Flow Turbine*, Europa, 2004.
- /6/ European Small Hydropower Association ESHA, *Guide on How to Develop a Small Hydropower Plant*, Thematic Network on Small hydropower (TNSHP), 2004.
- /7/ MHPG Series Harnessing Water Power on a Small Scale, *Cross Flow Turbine Design and Equipment Engineering*, Volume 3, SKAT, Swiss, 1993.
- /8/ Niemann G, *Elemen Mesin, Edisi II, Jilid 1*, Erlangga, Jakarta, 1999.
- /9/ Popov, E.P, terjemahan Astamar Z, *Mekanika Teknik, Edisi kedua*, Erlangga, Jakarta, 1991.
- /10/ Rochim, Taufik, *Teori dan teknologi Proses Pemesinan, Lab. Teknik Produksi Pemesinan*, Jurusan Teknik Mesin, ITB, Bandung, 1993
- /11/ Scfriko, Maiyoni. No.BP : 98 171 017. *Penyusunan Komputasi Perancangan Turbin Cross Flow Menggunakan Bahasa Pemrograman Matlab V6.5*. Tugas Akhir Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Andalas Padang, 2004.
- /12/ Sularso, *Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin Edisi Ke-6*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 1987
- /13/ Spotts, M.F., *Design of Machine Element Sixth Edition*