

PERANCANGAN MODEL AIR ALIRAN SILANG (CROSS FLOW TURBINE) DENGAN HEAD 2 m DAN DEBIT 0,03 m³/s

Ridwan

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana, Jakarta

Abstrak - Pembangkit listrik tenaga mikrohidro merupakan pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan air sebagai penggerak dan penggerak mula adalah turbin. Sistem pembangkit ini sangat tepat digunakan di pedesaan karena sistem ini mudah dibuat, menghasilkan daya listrik yang cukup besar dan biaya pembuatan yang lebih relatif murah. Atas dasar diatas maka perlu dirancang suatu turbin yang mendukung sistem pembangkit ini, diantaranya adalah Turbin Aliran Silang. Untuk merancang sebuah turbin air agar tidak terjadi kesalahan dalam perancangan (seperti hal-nya biaya pembuatannya) maka dilakukan perancangan prototipenya.

Sebuah prototipe Turbin Aliran Silang dirancang dalam kegiatan tugas akhir ini dengan debit (Q) = 0,03 m³/s, head (H) = 2 m dengan efisiensi 0,80. Spesifikasi teknik utama dari hasil perancangan turbin adalah diameter runner (D) = 0,195 m dengan putaran turbin 281,39 rpm daya keluaran efektif sebesar 470,4 W.

Keywords: Mikrohidro, Turbin, Listrik

1. Pendahuluan

Pada saat sekarang ini, listrik merupakan kebutuhan yang sangat penting dalam segala aktifitas manusia. Upaya pemerintah untuk memenuhi kebutuhan listrik sampai saat ini masih tetap berlangsung. Termasuk melalui beberapa metode pengkonversian energi, misalnya dengan sistem pembangkit listrik tenaga air (PLTA), sistem pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD), sistem pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), dan sistem lainnya. Tetapi masih belum mencukupi kebutuhan listrik yang ada.

Salah satu alternatif yang sudah digunakan adalah penggunaan sistem pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) yang merupakan solusi tepat untuk dikembangkan. Dimana 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%. Dalam usaha mendapatkan pengetahuan yang lebih banyak tentang turbin aliran silang, direncanakan untuk membuat alat uji turbin. Tugas akhir ini dikhususkan merancang turbin yang akan digunakan untuk alat uji tersebut.

2. Tinjauan

Turbin air dikembangkan pada abad 19 dan digunakan secara luas untuk pembangkit tenaga listrik. Turbin air berperan untuk

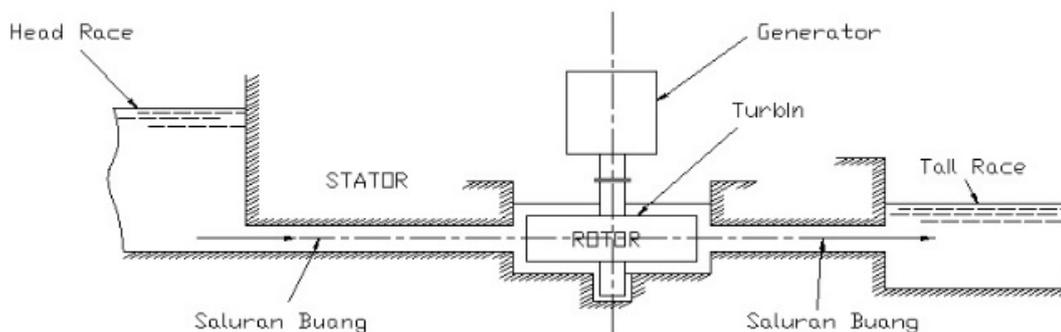
mengubah energi air (energi potensial, tekanan dan energi kinetik) menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros. Putaran poros turbin ini akan diubah oleh generator menjadi tenaga listrik. Sistem pembangkit tenaga yang memanfaatkan tenaga aliran air secara maksimal adalah sistem pembangkit tenaga air. Tetapi karena umumnya sistem pembangkit ini digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik, maka sistem ini disebut sistem Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Sistem ini menggunakan turbin air sebagai alat utama untuk membangkitkan tenaga. Penggerakan turbin ini adalah memanfaatkan tenaga aliran yang didapat daripada aliran air. Yaitu dengan memanfaatkan kecenderungan air yang selalu mengalir ke tempat yang lebih rendah sehingga didapatkan energi potensial air.

	Turbin Cross Flow	Turbin Prototipe	Satuan
H	20	2	M
Q	0,3	0,03	m ³ /s
N	500	281,39	Rpm
n _s	90,69	90,69	Rpm
P _t	44,7336	0,4704	kWatt
D ₁	0,345	0,195	M

Energi tersebut didapat dengan cara mengalirkan air dari suatu ketinggian dengan laju aliran tertentu melalui suatu saluran yang

biasanya disebut dengan pipa pesat kesuatu unit turbin. Kecepatan dan tekanan air yang terjadi akibat perbedaan ketinggian tersebut digunakan untuk memutar runner (roda turbin atau bagian turbin yang berputar), runner tersebut mempunyai fungsi menerima energi tekan dan kecepatan dari air. Energi yang diterima sudu-sudu, kemudian dirubah menjadi energi mekanis dalam bentuk daya dan putaran pada poros turbin.

2.2 Kontruksi Dasar



Gambar 2.1 Skema : Konstruksi Dasar Turbin Air

(Sumber: Steeter. VL. 1998. Hal 105)

Roda turbin (runner) adalah bagian utama dari turbin air yang berfungsi untuk merubah tenaga potensial dan tenaga kinetis aliran air menjadi tenaga mekanis yang berupa putaran poros. Runner ini terdiri dari bagian hub dimana sejumlah sudu-sudu gerak dipasang pada sekelilingnya. Hub ini dipasang pada poros dengan sebuah pasak memanjang dan mur pengikat. Poros, kopling dan pulley adalah bagian dari rotor turbin air yang berfungsi untuk mentransmisikan daya, sedangkan roda gaya untuk meratakan putaran turbin.

Saluran masuk dan rumah turbin air adalah bagian utama dari stator turbin dimana sudu-sudu antara atau nozzle dan bantalan poros dipasangkan. Pada turbin-turbin reaksi seperti turbin Kaplan dan turbin Francis, saluran masuk atau rumah-rumah berupa ruang pusaran rumah siput (scroll casing) dimana sejumlah sudu-sudu antar yang berfungsi untuk mengatur atau mengarahkan aliran air dipasang. Sedangkan pada turbin aksi, seperti turbin Pelton dan turbin Cross Flow saluran masuk berupa nozzle yang dilengkapi dengan tombak-tombak (spear) atau sudu antar yang berguna untuk mengatur aliran air masuk roda turbin. Pada turbin Propeller, rumah-rumah turbin berupa suatu tabung lurus dua lapis yang antara keduanya dipasang sudu-sudu antar.

Secara garis besar turbin air terdiri dari dua bagian utama, yaitu stator dan rotor. Rotor adalah bagian-bagian dari turbin yang bergerak atau berputar seperti roda turbin, poros, kopling, roda gaya, pulley dan bagian lainnya yang dipasang pada poros atau roda turbin. Stator adalah bagian-bagian dari turbin air yang diam seperti saluran masuk, rumah-rumah, bantalan poros, sudu antar, saluran buang dan lain-lain, seperti yang diperlihatkan pada gambar.

Saluran buang untuk menyalurkan air yang keluar dari roda turbin ke pembuangan (tail race). Pada turbin aksi saluran buang ini berupa ruang terbuka saja. Jadi dalam hal ini air keluar dari roda turbin langsung jatuh ke pembuangan. Namun pada turbin-turbin reaksi saluran buang ini pada umumnya berupa tabung vakum (draft tube). Tabung ini disamping berguna untuk menyalurkan air buangan juga menambah head dari instalasi sehingga meningkatkan effisiensinya.

2.3 Kriteria Pemilihan Jenis Turbin Air

Ada beberapa faktor yang mendasari perencanaan dan pemilihan suatu turbin air. Faktor-faktor tersebut yang terutama antara lain adalah:

1. Debit aliran air
2. Head atau tinggi air jatuh
3. Kecepatan spesifik
4. Putaran turbin
5. Putaran pesawat yang digerakkan
6. Posisi poros turbin
7. Biaya pembangunan instalasi

Dari sekian banyak faktor tersebut di atas, yang paling menentukan adalah debit dan head

aliran air. Ukuran atau dimensi turbin air sangat tergantung kepada debit dan head air ini. Debit air yang besar pada head tertentu akan memerlukan turbin air ukuran besar, sedangkan untuk head air yang besar pada debit tertentu, dimensi turbin air cenderung lebih kecil. Dengan demikian debit dan head air

ini secara tidak langsung akan menentukan biaya pembuatan turbin air berikut pembangkitnya, seperti pada gambar:

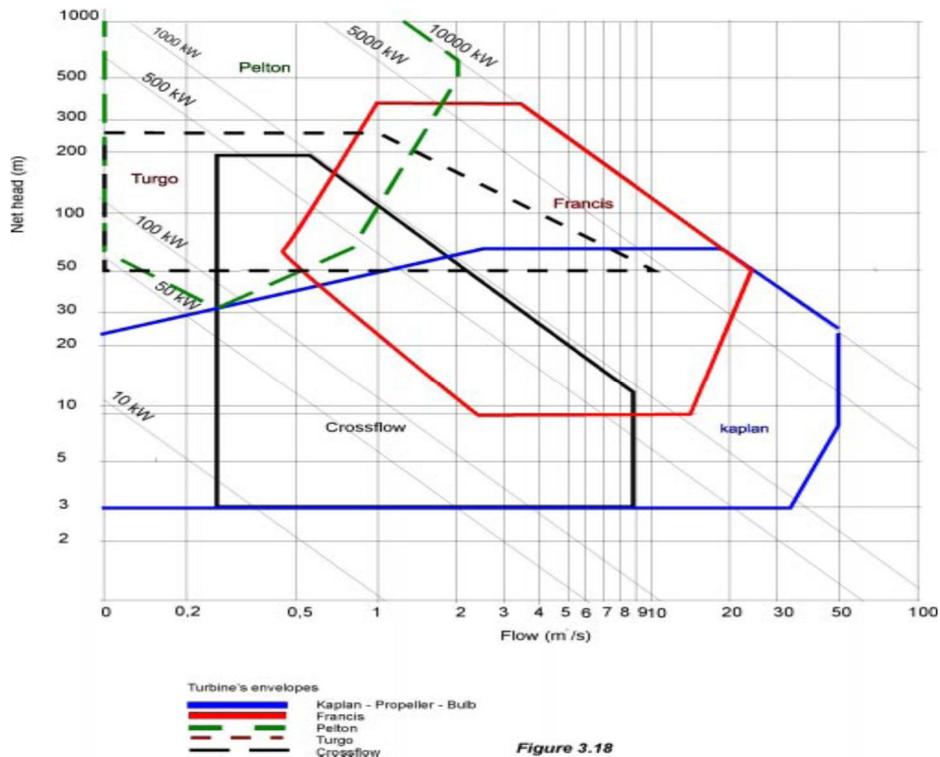


Figure 3.18

Disamping itu debit dan head air ini beserta jumlah putaran pesawat yang digerakkannya akan mempengaruhi juga dalam penentuan putaran turbin sekaligus kecepatannya. Sedangkan kecepatan spesifik itu sendiri akan menentukan pula terhadap jenis turbin yang digunakan. Demikian juga debit dan head air ini akan menentukan juga posisi turbin, yang mana turbin-turbin dengan debit air yang besar biasanya mempunyai poros vertikal.

Ada beberapa faktor yang menentukan dalam pemilihan debit dan head air yang direncanakan untuk suatu pemilihan turbin. Penentuan potensi sumber air dan keadaan tanah atau topografi sekitar lokasi dan kapasitas listrik yang dibutuhkan, serta kemampuan dana yang diperlukan untuk membangun instalasinya. Kita mengenal tinggi air jatuh total (gross head = H) dan tinggi jatuh air efektif (effective head = H_{ef}). Head total ini adalah perbedaan ketinggian antara permukaan antara head race dengan tail race, sedangkan effective head adalah tinggi jatuh air total dikurangi dengan kerugian tinggi tekan akibat gesekan pada pipa pesat dan peralatan lainnya.

Seleksi awal dari jenis turbin yang cocok untuk suatu keperluan paling tepat dilakukan dengan menggunakan Kecepatan spesifik (n_s).

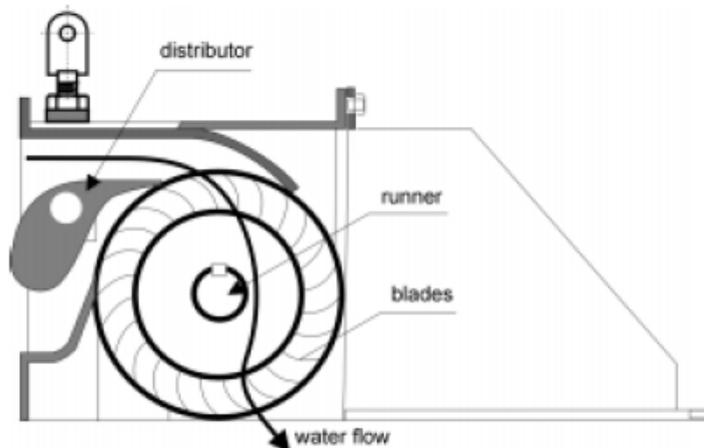
2.4 Konsep Turbin Aliran Silang

Salah satu jenis turbin aksi ini juga dikenal dengan nama Turbin Michell-Banki yang merupakan penemunya. Selain itu juga disebut Turbin Osberger yang merupakan perusahaan yang memproduksi turbin Cross Flow. Turbin Cross Flow dapat dioperasikan pada debit 0,2 m³/s hingga 10 m³/s dan head antara 1 s/d 200 m. Sebagai suatu turbin aliran radial atmosferik, yang berarti bekerja pada tekanan atmosfer, turbin aliran silang menghasilkan daya dengan mengkonversikan energi kecepatan pancaran air. Meninjau karakteristik kecepatan spesifiknya, ia berada di antara turbin Pelton dan turbin Francis aliran campur.

Turbin aliran silang (Cross Flow) terdiri atas dua bagian utama, nosel dan runner. Dua buah piringan sejajar disatukan pada lingkarnya oleh sejumlah sudu membentuk konstruksi yang disebut runner. Nosel berpenampang persegi, mengeluarkan pancaran air ke selebar runner dan masuknya dengan sudut 160

terhadap garis singgung lingkaran luar runner. Bentuk pancaran adalah persegi, lebar dan tidak terlalu tebal. Air masuk ke sudu-sudu pada rim runner, mengalir di atasnya, ke luar,

memintas ruang kosong di antara bagian dalam rim, masuk ke sudu-sudu pada sisi dalam rim dan akhirnya keluar dari runner, seperti terlihat pada gambar di bawah.



3. Metodologi

Perancangan kali ini adalah perancangan untuk prototipe turbin Cross Flow sebagai alat uji di laboratorium. Turbin prototipe dibuat dengan debit dan head yang lebih rendah, dengan data sebagai berikut:

- Tinggi jatuh air, $H = 2 \text{ m}$
- Debit air, $Q = 0,03 \text{ m}^3/\text{s}$
- Diameter runner, $D_1 = 0,195 \text{ m}$

Berdasarkan data prototipe yang ada dilakukan perencanaan turbin prototipe dengan perhitungan yang meliputi:

- Segi Tiga Kecepatan
- Perencanaan Dinding Runner
- Perencanaan Sudu
- Lengkung Pemasukan
- Titik Berat Sudu
- Perhitungan Gaya Impuls
- Perencanaan Sabuk
- Perencanaan Poros
- Perencanaan Pasak
- Perhitungan Umur Bantalan

4. Hasil Perhitungan Perancangan

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

Tabel Data Perancangan

Besaran	Simbol	Satuan	Nilai
Debit	Q	m^3/s	0,03
Head	H	m	2
Konstanta kecepatan	k	-	0,087
Sudut masuk	α_1	($^\circ$)	16

Koefisien empiris	ϕ	-	0,95
Efisiensi turbin	η	-	0,80
Massa jenis air	ρ_a	Kg/m^3	1000
Gravitasi bumi	g	m/s^2	9,81

Tabel Hasil Perhitungan Diameter Runner

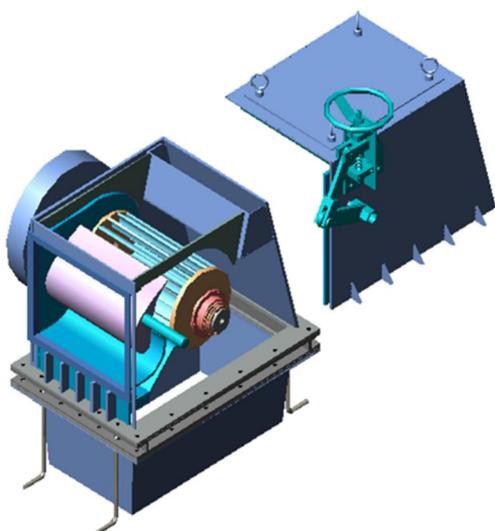
Besaran	Simbol	Satuan	Nilai
Daya turbin	P_t	kW	0,4704
Putaran turbin	N	rpm	281,39
Kecepatan spesifik	n_s	rpm	90,69
Diameter runner	D_1	m	0,195
Jari-jari runner	R_1	m	0,0975

Tabel Hasil Perhitungan Segitiga Kecepatan

Besaran	Simbol	Satuan	Nilai
Kecepatan absolut air masuk turbin	C_1	m/s	5,95
Kecepatan tangensial ujung sudu	U_1	m/s	2,86
Kecepatan relatif air terhadap sudu	W_1	m/s	3,29
Sudut kecepatan nisbi	β_1	($^\circ$)	30
Jari-jari dalam turbin	R_2	m	0,0639
Kecepatan arah radial	W_2	m/s	2,51
Kecepatan arah tangensial	U_2	m/s	1,87

Sudut antara kecepatan arah absolut dengan kecepatan arah tangensial	α_2	(°)	53,31
Kecepatan absolut	C_2	m/s	3,13
Kecepatan absolut aliran masuk tingkat II	C_3	m/s	3,13
Kecepatan arah radial aliran masuk tingkat II	W_3	m/s	2,51
Kecepatan arah tangensial aliran masuk tingkat II	U_3	m/s	1,87
Kecepatan arah tangensial aliran keluar tingkat II	U_4	m/s	2,86
Kecepatan arah radial aliran keluar tingkat II	W_4	m/s	3,29
Kecepatan absolut aliran keluar tingkat II	C_4	m/s	1,64

Dari hasil perhitungan dengan data yang diberikan untuk membandingkan antara model dengan prototipe dengan $Q = 0,03 \text{ m}^3/\text{s}$ dan $H = 2 \text{ m}$, maka didapatkan diameter runner sebesar $0,195 \text{ m}$ dan kecepatan spesifik sebesar $90,69$, atas dasar kecepatan spesifik ini maka sesuai dengan nilai kecepatan spesifik untuk turbin Cross Flow (dengan $N_s = 40 - 180$). Dalam penentuan pipa untuk sudu, dipilih pipa baja yang ada dipasaran, jadi tebal yang didapatkan dari perhitungan disesuaikan dengan tebal pipa yang ada dipasaran, demikian juga halnya dengan panjang sabuk hasil dari perhitungan disesuaikan dengan panjang sabuk yang ada dipasaran.



Sedangkan untuk penentuan poros digunakan bahan baja ST 37. Dimana diameter poros didapatkan dari hasil perhitungan sebesar 25 mm dengan panjang poros

didapatkan dari perancangan gambar sebesar 427 mm . Sedangkan untuk bahan pasak dipilih bahan yang memiliki kekuatan tarik yang kurang dari kekuatan tarik poros, sehingga pasak akan lebih dahulu rusak dari pada poros atau naf. Ini disebabkan harga pasak lebih murah dan mudah menggantinya.

Untuk penentuan umur bantalan didapatkan umur bantalan A selama $49,95$ tahun dan umur bantalan B selama $2230,39$ tahun. Dari perbedaan umur bantalan A dan B dapat diketahui bahwa gaya yang bekerja pada masing-masing bantalan tidaklah sama.

6. Kesimpulan

Dengan dibuatnya turbin prototipe dari turbin Cross Flow sebagai alat uji labor maka diharapkan akan mempermudah dalam perancangan dan pembuatan turbin Cross Flow yang sebenarnya untuk mendapatkan aliran listrik yang tentunya dengan perawatan yang relatif mudah dan murah. Dalam kegiatan Tugas Akhir ini berdasarkan hasil perhitungan dan perancangan dimensi turbin prototipe dari turbin Cross Flow maka dapat disimpulkan:

1. Pada perancangan prototipe dari turbin Cross Flow ini direncanakan ditempatkan pada kondisi debit air $0,03 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan tinggi air jatuh sebesar 2 m dan putaran turbin direncanakan 500 rpm . Dengan diameter runner $0,195 \text{ m}$ dan efisiensi turbin sebesar $0,80$. Dengan menghasilkan potensi tenaga air turbin yang dapat membangkitkan energi listrik dengan daya efektif sebesar $470,4 \text{ W}$.
2. Sudu yang digunakan adalah dari pipa baja dengan jumlah sudu dan jari-jari sudu masing-masing 18 buah dan 32 mm .
3. Poros yang digunakan untuk menggerakkan runner tersebut digunakan poros baja ST 37 dengan diameter poros 25 mm dan panjang poros 427 mm . Dan pasak yang digunakan Ball Single-row 200 dengan lebar, tinggi, dan panjang pasak adalah masing-masing 6 mm , 4 mm , dan 20 mm .
4. Sabuk yang digunakan adalah sabuk V tipe B, dengan panjang sabuk $1408,95 \text{ mm}$.
5. Bantalan yang digunakan adalah bantalan peluru dengan umur bantalan A selama $49,95$ tahun dan umur bantalan B selama $2230,39$.

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. Sefriko, 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
14. The British Hydropower Association, A Guide to UK Mini-Hydro Developments, Version 1.2, 2005.
15. Zuhail, Dasar Tenaga Listrik, Penerbit ITB, Bandung, 1991
16. <http://home.carolina.rr.com/microhydro>
17. <http://www.hydropower-dams.com/atlas/industry.html>
18. <http://europa.eu.int/en/comm/dg17/hydro/layman2.pdf>
19. <http://lingolex.com/bilc/engine.html>
20. http://en.wikipedia.org/wiki/Kaplan_turbine
21. www.itpower.co.u