

PEMODELAN TURBIN CROSS-FLOW UNTUK DIAPLIKASIKAN PADA SUMBER AIR DENGAN TINGGI JATUH DAN DEBIT KECIL

Oleh:
Mokhamad Tirono*

ABSTRAK : Telah dilakukan suatu upaya memodifikasi dan rekayasa turbin jenis *cross-flow*. Rekayasa dilakukan dengan merubah jumlah sudut dan hubungannya dengan jumlah putaran, daya turbin, dan efisiensi turbin. Rekayasa juga dilakukan terhadap bentuk saluran yang digunakan yaitu saluran terbuka berbentuk persegi, setengah lingkaran dan trapesium. Penelitian ini dilakukan dengan mengambil beberapa *input* yang disesuaikan dengan kebanyakan yang ada di lapangan. *Input* yang diambil adalah kecepatan alir, tinggi jatuh, kemiringan saluran, lebar penampang saluran, jari-jari saluran, diameter luar turbin, dan lebar turbin. Sementara itu besaran yang dibuat variabel adalah jumlah sudu pada turbin *cross-flow*. Penampang sebagai saluran air dipakai persegi, setengah lingkaran, dan trapesium dan ketiganya dibuat terbuka. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan asumsi lebar penampang 4 m, tinggi jatuh 2 m, jari-jari 2 m, kemiringan $1/\sqrt{3}$, kecepatan aliran 2 m/s, diameter luar turbin 0,75 m, dan lebar turbin 4,3 m, maka turbin dengan jumlah sudu 12 memiliki jumlah putaran, daya turbin, dan efisiensi turbin yang paling besar. Bilamana jumlah sudu diperbanyak, maka jumlah putaran, daya turbin, dan efisiensi turbin semakin kecil. Sementara itu penelitian untuk menentukan jenis penampang saluran didapatkan bahwa jenis saluran dengan penampang trapesium dihasilkan jumlah putaran, daya turbin, dan efisiensi turbin yang paling besar disusul jenis persegi dan setengah lingkaran.

Kata Kunci : Energi air, Turbin cross-flow, Jumlah sudu

PENDAHULUAN

Ketersediaan energi fosil belakangan ini semakin menurun, sehingga harganya cenderung naik. Kenaikan harga energi fosil mempengaruhi harga energi listrik, karena sebagian besar pembangkit listrik yang ada di Indonesia menggunakan energi fosil. Agar energi listrik tidak semakin mahal, maka perlu dilakukan upaya lain untuk mengatasinya. Salah satu upaya yang sudah dilakukan adalah pemakaian energi air sebagai penggerak turbin. Di dalam turbin energi kinetik air dirubah menjadi energi mekanik, di mana air memutar roda turbin (Arismunandar. 1982). Energi puntir yang dihasilkan selanjutnya diubah menjadi energi listrik melalui generator (Luknanto. 2008). Namun demikian selama ini energi air yang digunakan adalah air dengan tinggi jatuh dan debit besar. Sementara itu energi air dengan tinggi jatuh dan debit kecil belum banyak dimanfaatkan, padahal di beberapa wilayah Indonesia punya potensi yang cukup besar untuk dikembangkan pembangkit listrik tenaga air dengan tinggi jatuh dan debit kecil (*microhydro*).

Energi *microhydro* umumnya mengalir pada tinggi jatuh yang cukup kecil. Padahal tinggi jatuh air (*head*) sangat berperan dalam meningkatkan efisiensi turbin (Syukri.

* Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maliki Malang

2006). Kondisi ini membuat bentuk turbin yang dipakai pada tenaga air dengan tinggi jatuh dan debit besar kurang sesuai apabila diaplikasikan pada tinggi jatuh dan debit kecil. Oleh karena itu perlu dilakukan penyesuaian bentuk turbin agar dapat menghasilkan efisiensi yang besar. Kriteria pemilihan jenis turbin diperhitungkan dengan mempertimbangkan parameter-parameter khusus yang mempengaruhi sistem operasi turbin. Faktor-faktor tersebut diantaranya adalah tinggi jatuh air (Head) dan debit yang akan dimanfaatkan untuk operasi turbin. Selain itu juga diperlukan kajian khusus untuk turbin khususnya pada komponen penggerak yaitu runner, yang terdiri dari sudu-sudu yang mengelilinginya. Sudu putar (*Rotary Blade*) mengubah arah dan kecepatan aliran fluida sehingga menimbulkan gaya yang memutar poros (Paryatmo. 2007).

Sudu pada turbin diperlukan untuk menangkap jatuhnya air, sehingga membuat runner berputar. Pada posisi ketinggian air jatuh yang rendah, maka panjang sudu harus dikurangi. Hal ini dilakukan agar transfer energi potensial air menuju turbin menjadi optimum. Selain panjang sudu perlu diperhitungkan lagi adalah jumlah sudu, dimana dengan jumlah sudu yang banyak akan membuat penangkapan air jatuh kurang optimum dan sebaliknya jika kurang, maka banyak air yang tidak tertangkap. Oleh karena itu agar mendapatkan hasil output yang maksimal seperti yang diinginkan, namun biaya yang dikeluarkan dapat ditekan, maka terlebih dahulu dilakukan dengan simulasi. Bentuk turbin yang dipilih pada simulasi ini adalah turbin *cross-flow*. Daya guna kincir air dari jenis yang paling unggul sekalipun hanya mencapai 70% sedang efisiensi turbin *Cross-Flow* mencapai 82% (Haimperl, L.A., 1960).

Sementara itu bentuk saluran air dipilih saluran terbuka dengan bentuk penampang persegi, setengah lingkaran, dan trapesium. Simulasi diarahkan pada pemilihan jumlah sudu dan pengaruhnya terhadap putaran, daya, dan efisiensi turbin. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah mencari jumlah sudu yang sesuai agar memperoleh jumlah putaran, daya listrik, dan efisiensi turbin yang optimum.

METODE PENELITIAN

A. Alat Penelitian

Beberapa peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah :

- a. Seperangkat Personal Computer (PC) tipe Pentium Dual-Core CPU 1,46 GHz dan sistem operasi Microsoft Windows XP Professional untuk membuat program dan penulisan laporan.
- b. Perangkat lunak (*Software*) yang digunakan untuk pembuatan program simulasi desain turbin *cross-flow* untuk penampang aliran saluran terbuka bentuk persegi, setengah lingkaran dan trapesium adalah Matlab versi 7.0

B. Variabel Masukan dan Keluaran

Penelitian ini diawali dengan mengetahui kecepatan aliran V dan head H . Umumnya beberapa sungai kecil yang punya potensi untuk dikembangkan sebagai

pembangkit listrik *microhydro* mempunyai $V = 2$ m/s. dan $H = 1,5$ m. Luas penampang saluran terbuka persegi dengan lebar B dan kedalaman h (Anggrahini, 1966) adalah

$$A = Bh.$$

Luas penampang saluran terbuka bentuk setengah lingkaran dengan jari-jari r adalah

$$A = \frac{\pi r^2}{2}.$$

Luas penampang trapesium dengan sudut kemiringan z , lebar B , dan kedalaman h adalah

$$A = (B + zh)h$$

Energi potensial air E_p yang jatuh dari ketinggian h adalah

$$E_p = mgh$$

Dimana m adalah massa air dan g adalah percepatan gravitasi. Massa air didefinisikan sebagai perkalian antara debit air Q dengan massa jenis air ρ sehingga

$$m = Q \rho$$

Dengan demikian daya yang dimiliki air P_w dapat dirumuskan sebagai

$$P_w = \rho Q g h$$

Daya yang dihasilkan turbin P_t dapat dirumuskan (Dietzel, 1996) sebagai

$$P_t = Q \rho g H \eta_t$$

Dimana η_t adalah randemen turbin. Rendemen turbin merupakan kerugian yang dialami oleh turbin dalam melakukan konversi energi kinetik air menjadi energi mekanik yang berupa putaran poros. Dengan demikian, maka efisiensi turbin dapat dirumuskan sebagai

$$\eta_t = \frac{P_t}{P_w} \times 100\%$$

Jumlah putaran pada runner (n). Dapat ditentukan dengan rumus

$$Z = \frac{\pi D_o}{t}$$

Dimana $D_o^2 = \frac{4Q}{U \cdot B / D_o \cdot \pi / 4}$

$$U = \frac{\pi D_o n}{60}$$

Maka nilai putaran pada runner (n) dapat ditentukan

$$D_o^2 = \frac{4Q}{\frac{\pi D_o n B \pi}{60 D_o 4}}$$

$$D_o = \left(\frac{960 Q}{B \pi^2 n} \right)^{1/2}$$

$$Z = \frac{\pi D_o}{t}$$

$$Z t = \left(\frac{960 Q}{B n} \right)^{1/2}$$

$$(Z t)^2 = \left(\frac{960 Q}{B n} \right)$$

Jadi nilai n dapat diketahui dengan rumus:

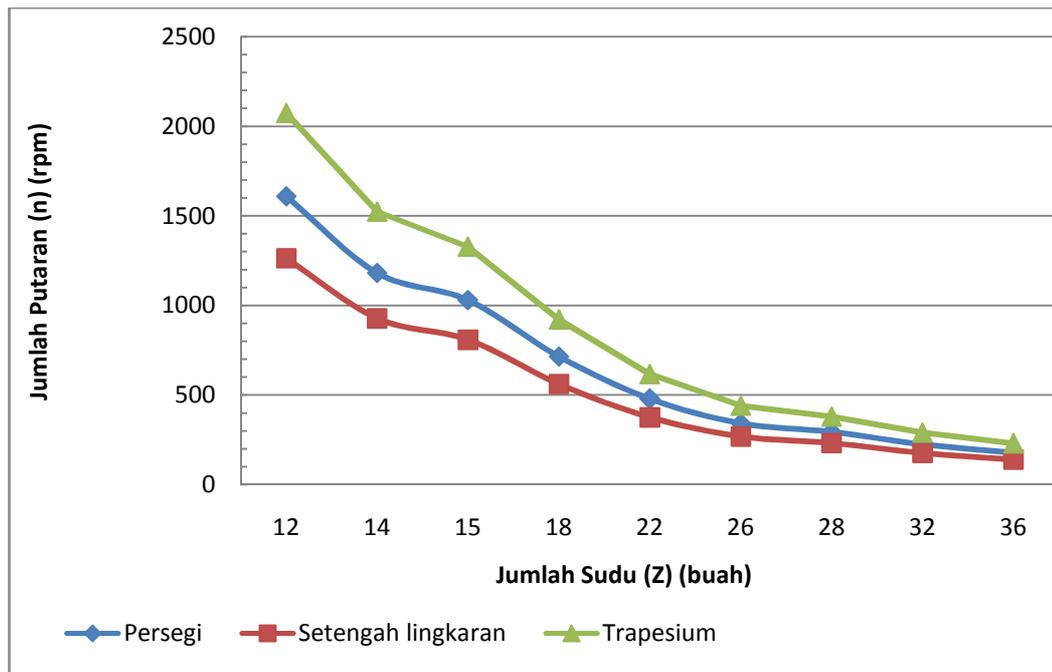
$$n = \left(\frac{960 Q}{B Z^2 t^2} \right)$$

C. Pengambilan Data

1. Menentukan nilai untuk masing-masing penampang aliran saluran terbuka, di mana variable inputnya antara yaitu: B = lebar h = tinggi jatuh r = jari-jari z = kemiringan, sehingga mendapatkan nilai A .
2. Menghitung nilai Q untuk masing-masing penampang.
3. Menghitung nilai daya air (P_w) untuk masing-masing penampang
4. Menentukan nilai turbin, yaitu:
 - a. Telah diasumsikan masukan sebagai variabel tetap yaitu nilai $D_o = 0,75$ m, $V = 2$ m/s, $B = 4,3$ m, $\tau = 20$ Nm Memberikan masukan $Z = 12$, di mana Z = jumlah sudu.
 - b. Dari semua masukan variabel di atas dapat diperoleh nilai jumlah putaran (n).
5. Menghitung besar daya turbin (P_t)
6. Membandingkan daya turbin (P_t) dengan daya air (P_w) untuk memperoleh nilai efisiensi turbin (η_t).
7. Dilakukan langkah yang sama dengan mengulang langkah ke-3 sampai ke-6 untuk masing-masing penampang dengan merubah variabel Z dengan masukan data 14, 15, 18, 22, 26, 28, 32 dan 36 buah sudu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi turbin *cross-flow* untuk penampang aliran saluran terbuka bentuk persegi, setengah lingkaran dan trapesium ini diproses melalui halaman GUI. Simulasi dilakukan untuk mencari hubungan variasi jumlah sudu terhadap jumlah putaran, daya dan efisiensi. Asumsi variabel masukan pada turbin yang dipakai adalah diameter luar turbin (D_o)= 0,75 m, lebar turbin (B)= 4,3 m, dan jumlah sudu (Z)= 12 buah. Asumsi saluran air yang dipakai adalah saluran terbuka dengan bentuk penampang persegi, setengah lingkaran dan trapesium. Ukuran saluran diasumsikan lebar penampang (B)= 4 m, tinggi jatuh (h)= 2 m, jari-jari (r) = 2 m, kemiringan (z) = $1/\sqrt{3}$, kecepatan Aliran (V)= 2 m/s. Simulasi dilakukan dengan mengubah masukan z (jumlah sudu) yaitu berturut-turut 12, 14, 15, 18, 22, 26, 28, 32 dan 36 buah. Hasil simulasi tersebut terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Grafik hubungan variasi jumlah sudu terhadap jumlah putaran

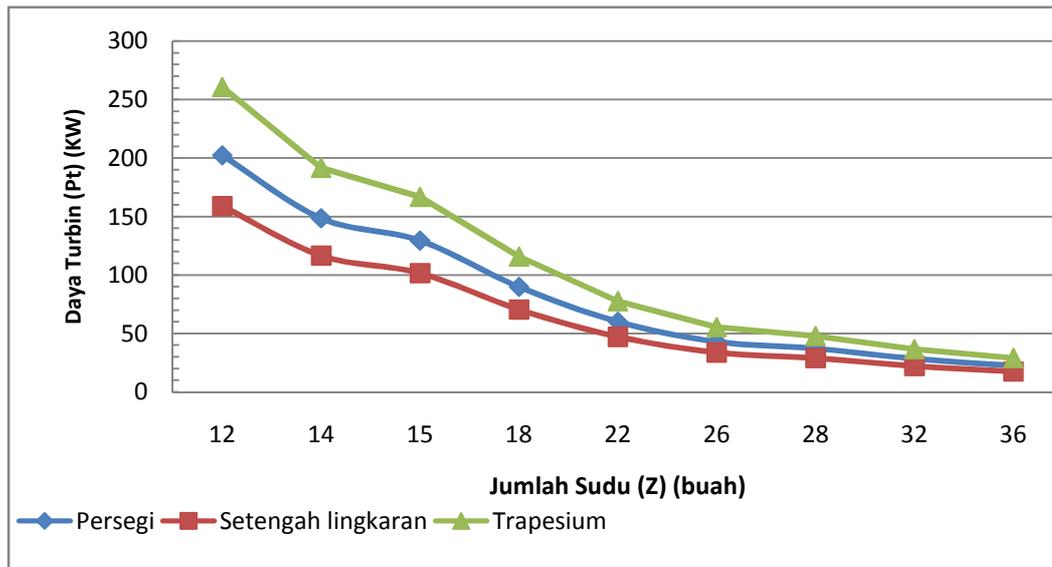
Data pada gambar 1 menunjukkan bahwa jumlah putaran akan optimum bilamana jumlah sudunya 12. Pada jumlah sudu 12 penampang saluran persegi terjadi sebanyak 1609 rpm, penampang setengah lingkaran 1264 rpm, dan penampang trapesium 2074 rpm. Dengan demikian bentuk trapesium terjadi putaran yang lebih banyak dibanding tipe persegi maupun tipe lingkaran. Sementara itu jumlah putaran untuk penampang persegi lebih banyak dibandingkan dengan tipe lingkaran. Data juga menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah sudu, maka jumlah putaran semakin menurun dan untuk jumlah sudu 36 jumlah putaran penampang persegi, setengah lingkaran, dan trapesium berturut-turut 178, 140, dan 230 rpm.

Menggunakan asumsi bersaran yang sama dengan hubungan jumlah sudu terhadap jumlah putaran, hubungan jumlah sudu terhadap daya turbin didapat data seperti pada Tabel 2. Data menunjukkan bahwa jumlah sudu 12 menghasilkan daya turbin yang paling besar yaitu untuk penampang persegi, setengah lingkaran, dan trapesium berturut-turut didapat daya turbin 202,307; 158,891, dan 260,672 kW. Semakin banyak jumlah sudu daya turbin yang dihasilkan semakin rendah dan pada jumlah sudu 36 untuk penampang persegi, setengah lingkaran, dan trapesium berturut-turut didapatkan 22,4785, 17,6546, dan 28,9636 kW. Ungkapan secara grafik hubungan jumlah sudu dengan daya turbin terlihat pada Gambar 2.

Table 2. Data hubungan variasi jumlah sudu terhadap daya turbin

o	Jumlah Sudu (Z) (buah)	Daya turbin (Pt) (KW)		
		Persegi	Setengah	Trapesi
	12	202.307	158.891	260.672
	14	148.634	116.737	191.514

	15	129.476	101.69	166.83
	18	89.9141	70.6184	115.854
	22	60.1905	47.2735	77.5554
	26	43.0949	33.8467	55.5278
	28	37.1584	29.1841	47.8786
	32	28.4494	22.3441	36.657
	36	22.4785	17.6546	28.9636



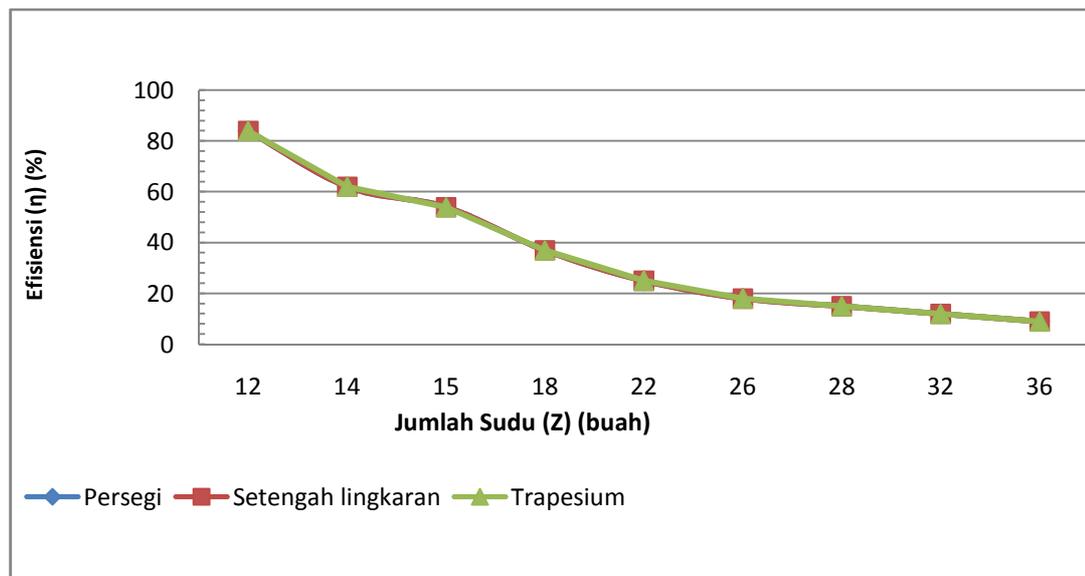
Gambar 2. Grafik hubungan jumlah sudu terhadap daya turbin

Menggunakan asumsi bersaran yang sama dengan hubungan jumlah sudu terhadap jumlah putaran, hubungan jumlah sudu terhadap efisiensi turbin didapat data seperti pada Tabel 3. Data menunjukkan bahwa jumlah sudu 12 menghasilkan efisiensi turbin yang paling besar yaitu untuk penampang persegi, setengah lingkaran, dan trapesium berturut-turut didapat efisiensi daya turbin 84, 84, dan 84 %. Semakin banyak jumlah sudu, maka efisiensi turbin yang dihasilkan semakin rendah dan pada jumlah sudu 36 untuk penampang persegi, setengah lingkaran, dan trapesium berturut-turut didapatkan 9, 9 dan 9%. Ungkapan secara grafik hubungan jumlah sudu dengan daya turbin terlihat pada Gambar 3.

Table 3. Data hubungan variasi jumlah sudu terhadap efisiensi

o	Jumlah Sudu (Z) (buah)	Efisiensi (η) (%)		
		Persegi	Setengah lingkaran	Trapesium
	12	84	84	84
	14	62	62	62
	15	54	54	54

	18	37	37	37
	22	25	25	25
	26	18	18	18
	28	15	15	15
	32	12	12	12
	36	9	9	9



Gambar 3. Grafik hubungan jumlah sudu terhadap efisiensi turbin

Berdasarkan data-data sebagaimana terlihat pada tabel 1, 2, dan 3 menunjukkan bahwa penggunaan saluran terbuka berbentuk trapesium menghasilkan jumlah putaran dan daya turbin yang paling besar dibandingkan dengan dua penampang lainnya. Tingginya jumlah putaran dan daya turbin yang terjadi pada penampang trapesium terjadi, karena debit air yang dipergunakan untuk memutar turbin lebih besar. Dimana dengan menggunakan persamaan $Q = A \times V$ dengan Q debit air, A luar penampang saluran, dan V kecepatan aliran, maka debit yang melewati penampang trapesium yang sampai turbin lebih besar. Penampang yang paling efisien dalam hal ini adalah setengah dari segi enam (Raju. 1986). Data juga menunjukkan bahwa pada jumlah sudu 12 jumlah putaran turbin, daya turbin, dan efisiensi turbin yang lebih besar. Hal ini terjadi, karena dengan agak renggangnya sudu, maka tenaga tekan air terhadap turbin akan lebih besar, khususnya pada jenis turbin *cross-flow*.

KESIMPULAN DAN SARAN

Hubungan variasi jumlah sudu terhadap putaran, daya dan efisiensi desain turbin *cross-flow* untuk penampang aliran saluran terbuka bentuk persegi, setengah lingkaran dan trapesium didapatkan nilai putaran, daya air dan daya turbin yang paling tinggi pada penampang bentuk trapesium. Pada jumlah sudu 12 jumlah putaran, daya turbin dan

Created with

efisiensi turbin berturut-turut didapatkan 2074 rpm, 260.672 kW, dan 84 %. Sementara itu hubungan jumlah sudu terhadap jumlah putaran, daya turbin, dan efisiensi turbin didapatkan bahwa semakin sedikit jumlah sudu, maka akan diperoleh jumlah putaran, daya turbin, dan efisiensi turbin yang semakin besar. Namun demikian dari hasil optimum bilamana diperkecil, maka akan menjadi menurun.

Sebagai saran dari peneliti adalah perlu dilakukan penelitian untuk beberapa jenis turbin yang lain dalam rangka untuk diaplikasikan pada *microhydro*. Selain itu perlu ada penelitian yang memetakan dengan jelas tentang potensi-potensi daerah yang dapat dikembangkan sebagai pembangkit listrik tenaga *microhydro*..

DAFTAR PUSTAKA

- Anggrahini. 1966. *Hidrolika Saluran Terbuka*. CV Citra Media
- Arismunandar, Wiranto. 1982. *Penggerak Mula Turbin*. Bandung: penerbit ITB
- Bachtiar, Asep Neris. 1988. *Perencanaan Turbin Air Penggerak Generator Listrik Pedesaan*. Tugas Akhir
- Bernat, Syukri. 2006. *Dasar-Dasar Merencana Turbin Air*. Makasar: Bintang Lamumpatue
- Chow, VT . 1959. *Open Channel Hydraulic*”, Mc Graw Hill Book Company, New York
- Haimerl, L.A. 1960. *The Cross Flow Turbine*. Jerman Barat
- Lal, Jagdish. 1975. *Hydraulic Machine*. New Delhi : Metropolitan Book Co Private Ltd
- Luknanto, D. 2008. *Diktat Kuliah Bangunan Tenaga Air*. Surabaya: ITS
- Masduki. 1984. *Diktat Turbin Air*. Fakultas Teknik Unibraw. Malang
- Mudjito, Nanang. 1995. *Bangunan Tenaga Air*. Malang: Penerbit IKIP Malang
- Nafis, Subhan. 2008. *Skripsi Pemilihan Tipe Turbin pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)*.
- Paryatmo, W. 2007. *Turbin Air, Jilid I*. Yogyakarta: Graha Ilmu
- Power Co. Nadi. Republic of Fiji Island: 14-25 November 2005.
- Raju, Ranga. 1986. *Aliran Melalui Saluran Terbuka*. Jakarta: Erlangga
- Rifai, Bakhtiar. 2007. *Skripsi Redesain Turbi Cross-Flow Pada Pembangkit Listrik Mikrohidro dengan $Q = 0,0086 \text{ m}^3/\text{s}$* . Malang: Universitas Muhammadiyah Malang
- Sutarno. 1973. *Sistim Listrik Mikro Hidro Untuk Kelistrikan Desa*. Yogyakarta : UGM Yogyakarta

Triadmojo, Bambang. 1996. *Hidrolika I*. Yogyakarta: Beta Offset

Workshop on Renewable Energi. *Designing Micro-Hydro*. Tokyo Electric