

POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO TURBIN KAPLAN DENGAN VARIASI DEBIT AIR

Didik Sugiyanto^{1a}, Tugimin^{2b}

¹Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta

^aJl. Sunter Permai Raya, Sunter Agung Podomoro Jakarta Utara, 14350

²Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani Tromol Pos 1, Pabelan Kartasura, Jawa Tengah 57102

email: didiksgy@gmail.com, bejost@yahoo.com

ABSTRAKSI

Dalam rancang bangun turbin Kaplan perlu di perhatikan besar kecilnya debit air serta head statis. Tujuannya adalah merancang bangun turbin Kaplan dengan ketinggian 4m dengan debit 0.025 l/s dengan sudu rotor 30° dan sudu stasioner 30°. Selanjutnya hasil rancang bangun turbin Kaplan di uji unjuk kerjanya.

Pengujian turbin Kaplan dilakukan dengan menggunakan empat buah pompa air untuk mendapatkan debit air 17.676 l/s, 26.514 l/s, 35.352 l/s dan ketinggian head statis 4m selanjutnya mengukur putaran turbin setiap pergantian debit air dengan tachometer.

Hasil rancang bangun turbin Kaplan didapatkan diameter luar sudu turbin 0,138m, diameter tengah sudu turbin 0,095m dan diameter tengah sudu turbin 0,057m, sementara itu hasil dari pengujian turbin Kaplan dengan sudu rotor 30° dan sudu stasioner 30° Putaran tertinggi yang dihasilkan oleh Turbin Kaplan ini ada pada debit 35,352 l/s yaitu pada putaran 503 rpm. Putaran terendah yang dihasilkan oleh Turbin Kaplan ini, ada pada debit 17,676 l/s yaitu pada putaran 136 rpm.

Kata kunci: turbin kaplan, sudu, debit

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Peningkatan kebutuhan energi listrik oleh masyarakat dan dunia industri tidak sebanding dengan peningkatan produksi listrik oleh PLN. Data kementerian ESDM tahun 2009 menunjukkan rasio elektrifikasi atau perolehan tenaga listrik secara nasional baru mencapai sekitar 65%.

Pasokan energi pada pusat-pusat pembangkit listrik saat ini masih mengandalkan energi berbasis fosil seperti minyak bumi, gas dan batu bara. Pemerintah melalui kementerian energi dan sumber daya mineral (ESDM) mengarahkan kebijakan pemanfaatan energi baru terbarukan seperti air sungai, angin, biomassa dan surya sebagai sumber energi listrik skala kecil masa depan.

Indonesia merupakan wilayah beriklim tropis dengan curah hujan cukup tinggi serta memiliki topologi bergunung-gunung dengan mata air dan sungai-sungai yang mengalir

sepanjang tahun, . sungai-sungai ini sangat potensial untuk digunakan sebagai sumber energi pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH)

Terutama didaerah yang memiliki banyak terjunan pembangunan PLTMH yang memanfaatkan aliran sungai diyakini dapat mengatasi krisis listrik yang hingga kini belum teratasi

Data kementerian ESDM menunjukkan bahwa potensi tenaga air (hydropower) menempati posisi tertinggi pada pemanfaatan energi baru terbarukan yaitu 4200 MW .air terjun alami ,sungai dan saluran irigasi teknis merupakan potensi yang sebesar 459 MW. Potensi energi sebesar ini jika di dayagunakan sebagai penggerak mula PLTMH tentu akan mempercepat peningkatan pertumbuhan rasio elektrifikasi nasional .Pembangunan dan pengembangan PLTMH di desa-desa yang dilalui sungai masih terbuka luas.

Seperti yang terjadi pada Desa Nogosaren, Kecamatan Getasan, Kabupaten Semarang yang masih mengalami kendala dalam hal kelistrikan, terutama untuk menaikkan air bersih dengan pompa air dari sumber air ke pemukiman.Data yang diperoleh dari daerah tersebut adalah Head statis (H) 4 m debit (Q) 0,025 m³/s

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana desain dan konstruksi Turbin Kaplan dengan Q 0,025 m³/s.H 4m

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana desain dan konstruksi Turbin Kaplan pada ketinggian (H) 4 m dan Q 0,025 m³/s.
2. Pengujian unjuk kerja Turbin Kaplan dg sudu rotor 30° dan sudu stasioner 30° dengan variasi debit air,17,676 l/s, 26,514 l/s dan 35,352 l/s

Pengembangan turbin air sebagai pembangkit listrik akan memberikan kontribusi pada pasokan energi nasional. Air adalah energi terbaharukan sehingga persediaannya melimpah. Energi air juga ramah lingkungan sehingga pemanfaatannya meminimalisir kerusakan lingkungan.

Pemanfaatan turbin air di daerah tersebut dapat membantu mengem-bangkan potensi daerahnya karena ketersediaan sumber energi alternatif berarti terbukanya kesempatan yang lebih besar untuk memanfaatkan teknologi dalam rangka menunjang kemajuan daerah.

Batasan masalah dalam kegiatan perancangan dan pembuatan turbin air ini adalah:

1. Turbin kaplan
2. Untuk mendapatkan output berupa data putaran turbin dengan berdasarkan variabel pemilihan pada sudut sudu rotor 30° dan sudu stator 30°, dengan variasi debit : 17,676 l/s, 26,514 l/s dan 35,352 l/s

TINJAUAN PUSTAKA

A. Kajian Pustaka

Sahid (2006) menyatakan bahwa perubahan bentuk penampang nosel berpengaruh terhadap unjuk kerja turbin pelton mikro. Nozel berpenampang lingkaran menghasilkan daya dan efisiensi yang paling rendah sebelum mencapai kondisi optimum, untuk input energi aliran yang sama. Nozel penampang segi empat dengan rasio panjang dan lebar, R=1 memiliki karakteristik daya dan efisiensi yang paling baik dibanding penampang yang lain. Daya dan efisiensi maksimum yang bisa dibangkitkan turbin dengan nozel berpenampang

segi empat R = 1 adalah 440,0 watt dan 79,3% meningkat 18,4% dibandingkan dengan nosel berpenampang lingkaran.

B. Dasar Teori

Turbin Kaplan dapat beroperasi pada kecepatan tinggi sehingga ukuran roda turbin lebih kecil dan dapat dikopel langsung dengan generator.

Menurut Bernoulli apabila air dialirkan dalam pipa dari ketinggian tertentu dan selisih ketinggian antara permukaan atas dan bawah adalah z dan tidak terdapat energi yang masuk atau keluar, maka besar energi yang dikandung oleh air tersebut adalah: Dietzel, F (1988).

$$W = m \cdot g \cdot z + m \frac{P}{\rho} + m \frac{c^2}{2} \dots \dots \dots (1)$$

dengan:

W = Energi yang dikandung air (Nm)

m = zat cair (kg)

g = Gravitasi bumi (m/s²)

z = Ketinggian suatu tempat yang dipakai sebagai standar (m)

P = Tekanan (N/m²)

ρ = Massa jenis zat cair (kg/m³)

c = Kecepatan aliran zat cair (m/s)

Pemilihan Jenis Turbin

Jenis turbin yang digunakan sangat tergantung dari besarnya debit air (Q) dan tinggi jatuh air yang tersedia, besarnya harga dari debit dan tinggi jatuh air ini didapat dari hasil survey ke lapangan. Secara teoritis dalam perencanaan pemilihan jenis turbin ditentukan berdasarkan kecepatan spesifik (n_q), karakteristik turbin dan debit serta tinggi jatuh air efektif (H_e).

Pemilihan Jenis Turbin Berdasarkan Kecepatan Spesifik

$$n_q = \frac{n \sqrt{Q}}{H^{0,75}} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana :

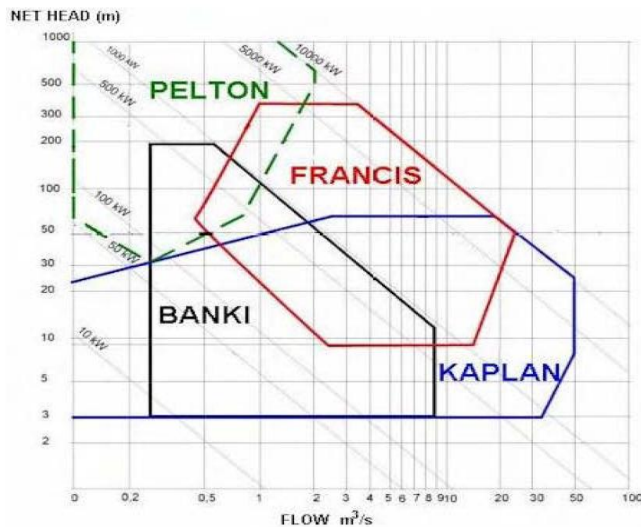
Q = Debit air yang dibutuhkan (m³/s)

H = tinggi jatuh air efektif (m)

n = Kecepatan putaran turbin (rpm)

Perbandingan Karakteristik Turbin

Perbandingan karakteristik turbin dapat kita lihat pada grafik head (m) dengan flow (m³/s) di bawah ini.



Keterangan :

Daerah dengan garis biru mempresentasikan Turbin Kaplan

Daerah dengan garis merah mempresentasikan Turbin Francis

Daerah dengan garis hijau mempresentasikan Turbin Pelton

Daerah dengan garis hitam mempresentasikan Turbin Crossflow

Pemilihan Jenis Turbin Berdasarkan Debit dan Head

Debit air merupakan hal yang sangat menentukan dalam perencanaan turbin air, karena daya yang dihasilkan oleh turbin sangat tergantung pada debit air yang tersedia. Menurut persamaan kontinuitas debit air yang mengalir dalam pipa bertekanan dapat ditentukan dengan persamaan:

$$Q = V \cdot A \dots\dots\dots, (3)$$

dimana:

Q = Debit air (m^3/s)

V = Kecepatan aliran air (m/s)

A = Luas penampang pipa

Pemilihan Turbin Berdasarkan Head

Yang dimaksud dengan tinggi jatuh air efektif adalah tinggi jatuh air aktual dikurangi total kerugian energi (*Head losses*) sepanjang saluran. Dalam persamaan 10 dapat dinyatakan :

$$H_s = H_a - \Sigma HI \dots\dots\dots(4)$$

dimana:

H_e = Tinggi jatuh air efektif (m)

H_a = Tinggi jatuh air actual (m)

HI = *Head losses* (m)

Aplikasi penggunaan turbin berdasarkan tinggi head yang didapatkan adalah sebagai berikut ini :

- 1) Turbin Kaplan : $2 < H < 100$ meter
- 2) Turbin Francis : $5 < H < 500$ meter
- 3) Turbin Pelton : $H < 30$ meter
- 4) Turbin Banki : $2 < H < 200$ meter

Kecepatan Spesifik (n_q)

$$n_q = \frac{n\sqrt{Q}}{H^{0.75}} \dots\dots\dots (5)$$

dimana :

n_q = kecepatan spesifik (rpm)

H = tinggi air jatuh (m)

Q = debit aliran (m³/s)

Kecepatan Keliling Turbin (U)

- Kecepatan Keliling Bagian Luar Sudu (u_L)

$$u_L = u_L^* \cdot C_o \dots\dots\dots (6)$$

dimana :

u_L^* = faktor kecepatan keliling bagian luar sudu

$$C_o = \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad (\text{m/s})$$

- Kecepatan Keliling Bagian Leher Poros Sudu (u_N)

$$u_N = u_N^* \cdot c_o \dots\dots\dots (7)$$

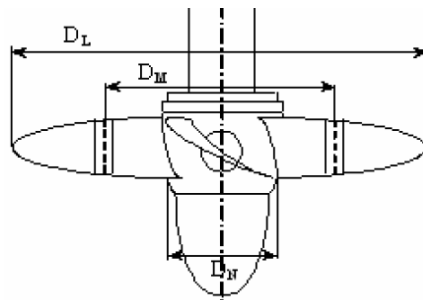
dimana:

u_N^* = faktor kecepatan keliling bagian leher poros sudu

Kecepatan Keliling Bagian Tengah Sudu (u_M)

$$u_M = \frac{u_L - u_N}{2} \dots\dots\dots (8)$$

1. Diameter Turbin (D)



Gambar 1. Sket Turbin Kaplan

Diameter Luar Sudu Turbin (D_L)

$$D_L = \frac{60 \cdot u_L}{\pi \cdot n} \dots\dots\dots (9)$$

dimana :

u_L = kecepatan keliling bagian luar sudu (m/s)

n = kecepatan putar turbin (rpm)

Diameter Leher Poros Sudu Turbin (DN)

$$D_N = \frac{60 \cdot u_N}{\pi \cdot n} \dots\dots\dots (10)$$

dimana :

u_N = kecepatan keliling bagian leher poros (m/s)

n = kecepatan putar turbin (rpm)

Diameter Tengah Sudu Turbin (DM)

$$D_M = \frac{D_L \cdot D_N}{2} \dots\dots\dots (11)$$

dimana :

D_L = diameter leher poros sudu turbin (m)

D_N = diameter leher poros sudu turbin (m)

2. Segitiga Kecepatan

Kecepatan Aliran (V_{air})

$$V_{air} = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots (12)$$

dimana :

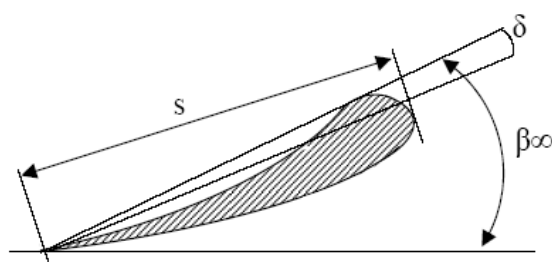
Q = debit aliran (m³/s)

A = luas penampang (mm)

$$A = \frac{D_L^2 - D_N^2}{4} \cdot \pi$$

Profil Sudu

Pada profil sudu mempunyai kemiringan δ yang kecil, sudut kemiringan δ adalah sudut yang dibentuk oleh aliran W_∞ dengan kemiringan β_∞ dan diantara β_1 dan β_2 terdapat suatu lengkungan kecil



Gambar 2. Sket Profil Sudu

dimana:

δ = sudut kemiringan

$$= \frac{\zeta_a - 4 \cdot Y_{max}/S}{0,092} \dots\dots\dots (13)$$

Y_{max} = tebal profil

$$= \left(\frac{s \cdot \zeta_a}{4} \right) - (0,092 \cdot \delta)$$

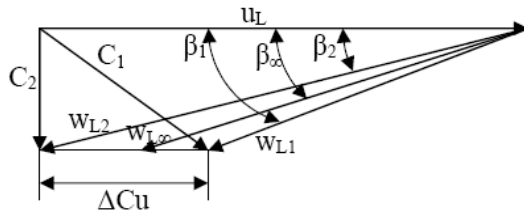
s = panjang profil

ζ_a = tahanan profil

$$\zeta_a \frac{s}{t} = 2 \frac{\Delta Cu}{w_\infty}$$

$\zeta_a \cdot s/t$ dikenal sebagai faktor pembebanan, harga s/t (panjang tali busur/ pembagian sudut) dipilih sampai dengan harga 1,4. Dengan demikian ζ_a dapat dihitung.

- Profil sudu bagian luar



Gambar 3. Segitiga kecepatan bagian luar

Koefisien gaya angkat/ tahanan profil [ζ_a]

$$\zeta_a \frac{s}{t} = 2 \frac{\Delta Cu}{w_\infty} \dots\dots\dots (14)$$

Dimana s/t diambil harga 1,2

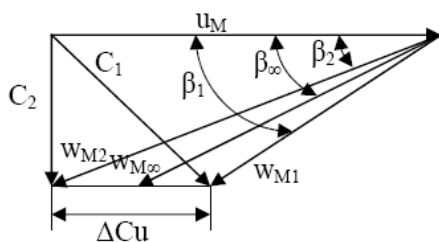
Dari grafik pemasangan sudut dan tahanan profil diperoleh δ

$$t = \frac{D_L \cdot \pi}{z} \dots\dots\dots (15)$$

Tebal profil [Y_{\max}]

$$Y_{\max} = \left(\frac{s \cdot \zeta_a}{4} \right) - (0,092 \cdot \delta) \dots\dots\dots (16)$$

- Profil sudu bagian tengah



Gambar 4. Segitiga kecepatan bagian tengah

Koefisien gaya angkat/ tahanan profil [ζ_a]

$$\zeta_a \frac{s}{t} = 2 \cdot \frac{\Delta Cu}{w_\infty} \dots\dots\dots (17)$$

dimana s/t diambil harga 1,2

Dari grafik pemasangan sudut dan tahanan profil diperoleh δ

Panjang profil [s]

$$s/t = 1,2$$

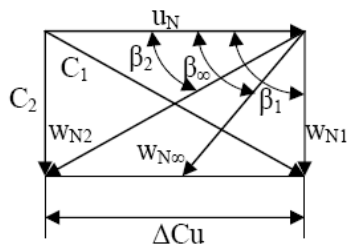
dimana:

$$t = \frac{D_M \cdot \pi}{z} \dots \dots \dots (18)$$

Tebal profil [Y_{\max}]

$$Y_{\max} = \left(\frac{s \cdot \zeta}{4} \right) - (0,092 \cdot \delta)$$

Profil sudu bagian leher poros



Gambar 5. Segitiga kecepatan bagian leher poros

Koefisien gaya angkat/ tahanan profil [ζ_a]

$$\zeta_a \cdot \frac{s}{t} = 2 \cdot \frac{\Delta C_u}{w_\infty} \dots \dots \dots (19)$$

dimana s/t diambil harga 1,2

Dari grafik pemasangan sudut dan tahanan profil diperoleh δ

Panjang profil [s]

$$s/t = 1,2$$

dimana:

$$t = \frac{D_N \cdot \pi}{z}$$

Tebal profil [Y_{\max}]

$$Y_{\max} = \left(\frac{s \cdot \zeta}{4} \right) - (0,092 \cdot \delta)$$

Daya Turbin [P_T]

$$P_T = M_t \cdot \omega \dots \dots \dots (20)$$

dimana:

M_t = momen putar

$$= F_t \cdot r$$

F_t = gaya tangensial

$$= D_M \cdot \pi \cdot B \cdot V \cdot \rho (W_{u2} - W_{u1})$$

r = jari-jari leher poros suhu

ω = kecepatan sudut

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$$

$$B = \frac{(D_t - D_N)}{2}$$

Gaya Aksial [W]

$$W = \left(\frac{\rho}{2} \right) \cdot (w_2^2 - w_1^2) \cdot D \cdot \pi \cdot B \dots\dots(21)$$

dimana:

W = gaya aksial [N]

ρ = rapat air [1000 kg/m³]

w₂ = kecepatan relatif aliran terhadap sudu jalan [m/s]

w₁ = kecepatan relatif aliran terhadap sudu pengarah [m/s]

D = diameter tengah sudu [m]

B = jumlah lebar seluruh sudu [m]

Efisiensi [η_t]

$$\eta_t = \frac{P_d}{H \cdot Q \cdot \rho \cdot g} \dots\dots\dots(22)$$

dimana:

η_T = efisiensi turbin [%]

P_d = daya yang transmisikan turbin [kW]

H = tinggi air jatuh [m]

Q = debit aliran [m³/s]

g = percepatan gravitasi [m/s²]

ρ = kerapatan air [kg/m³]

METODOLOGI PENELITIAN

A. Diagram Alir Penelitian



Gambar 6. Diagram Alir Penelitian

B. Bahan dan Alat

1. Bahan dan alat dalam penelitian

Alat yang di gunakan selama penelitian adalah sebagai berikut :

- a. Hydrometer
- b. Theodolith

2. Bahan dan alat dalam Pengujian

- a. *Tachometer*
- b. *Stopwatch*

C. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pastikan tidak ada kebocoran dalam instalasi percobaan
2. Pastikan air dalam kolam penampung air penuh
3. Pompa dalam keadaan terpasang dan siap untuk menaikkan air dari kolam pnampung air kebak turbin melalui pipa
4. Hidupkan pompa air

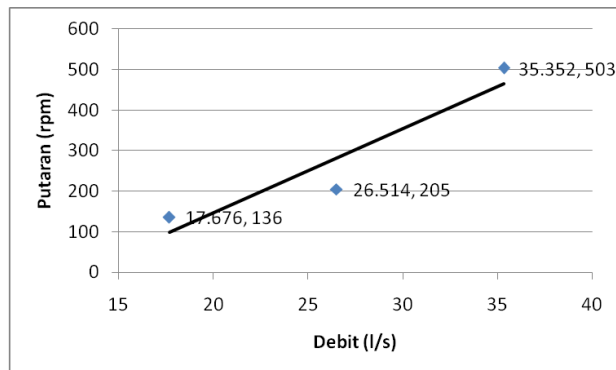
5. Pada saat pompa 1 di hidupkan,yaitu pada debit 8,838 l/s,turbin tidak berputar sehingga ditambah debit air dengan mnghidupkan pompa 2,3 dan pompa 4.
6. Ukur putaran turbin setiap pergantian debit air dengan tachometer

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengujian putaran turbin kaplan pada sudu rotor 30° dan sudu stator 30° dengan variasi debit aliran air maka diperoleh sebagaimana terdapat pada tabel dan grafik dibawah ini:

Tabel 3. Data putaran hasil pengujian sudu rotor 30° dan sudu stator 30°

Sudu Rotor	Sudu Stator	Debit	Putaran (rpm)
30°	30°	17.676	136
		26.514	205
		35.352	503



Gambar 7. Grafik hubungan putaran dengan debit pada sudu rotor 30° dan sudu stator 30°

Pada gambar 7 diatas dapat dilihat bahwa penambahan debit air akan mengakibatkan perubahan putaran pada sudu rotor turbin, hal ini terjadi karena jumlah debit air yang bertambah mengakibatkan banyaknya air yang keluar dari sudu stator menuju pipa keluar semakin cepat karena massa air yang semakin besar dari penambahan debit aliran air tersebut dan tinggi jatuh air dari pipa keluar turbin yang menuju kebawah juga berpengaruh pada perubahan putaran pada sudu rotor. Dari hasil pengujian sudu rotor 30° dan stator 30° dengan variasi pengukuran debit aliran air 17,676 l/s – 35,532 l/s dihasilkan putaran turbin dengan putaran tertinggi 503 rpm dan putaran terendah pada putaran 136 rpm.

PENUTUP

Kesimpulan

1. Dari hasil perancangan Turbin Kaplan dihasilkan diameter luar sudu turbin turbin 0,138 m, diameter tengah sudu turbin 0,095 m diameter leher poros sudu turbin 0,057m, tinggi turbin 154 cm , jumlah sudu 5, sudut sudu rotor 30° dan sudu stator 30°

2. Putaran tertinggi yang dihasilkan oleh Turbin Kaplan ini ada pada debit 35,352 l/s pada putaran 503 rpm. Putaran terendah yang dihasilkan oleh Turbin Kaplan ini, ada pada debit 17,676 pada putaran 136 rpm.
3. Debit air yang diperoleh dari lapangan ($0,025 \text{ m}^3/\text{s}$) tidak dapat memutar turbin.

Saran

1. Sebelum melakukan pengoprasian turbin air, sebaiknya melakukan kalibrasi alat ukur sehingga tidak terjadi kesalahan dalam pengukuran
2. Dikarenakan penelitian ini hanya mencari putaran rotor maka perlu dilanjutkan dengan menggunakan generator untuk melihat berapa watt listrik yang dihasilkan turbin ini, sehingga dapat diketahui torsi dan daya yang dihasilkan

DAFTAR PUSTAKA

- Alfi Novaris, 2010. *Modifikasi Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Air Dengan Menggunakan Turbin Pelton (Tugas Akhir)*, UNDIP, Semarang.
- Arismunandar, Wiranto., 1997, *Penggerak Mula Turbin*, ITB Bandung.
- Dandekar, M. M., Sharma K.N., 1991, *Pembangkit Listrik Tenaga Air*, UI Press, Jakarta.
- Dietzel, Fritz, 1996, *Turbin, Pompa dan Kompresor*, Erlangga, Jakarta.
- Kadir, A., 1979, *Mesin Arus Searah*, Percetakan Aka.
- Patty, I.F., 1995, *Tenaga Air*, Erlangga, Jakarta.
- Sahid, dkk, 2006. *Pengaruh Nozel Berpenampang Segi Empat Terhadap Unjuk Kerja Turbin Pelton Mikro Untuk Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro*, Forum Teknik POLINES, Semarang.
- Sularso dan Suga, Kiyokatsu, 1995, *Dasar-dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Vasandani, V.P., 1984, *Hidraulika Machines Theory and Design*, Khanna Publishers, Delhi.
- White, Frank M; Like Wilarjo, 1986, *Mekanika Zahir*, Erlangga, Jakarta.