

## POMPA AIR MIKRO HIDRO, ALTERNATIF MENGHADAPI KRISIS ENERGI

Isnugroho

Peneliti Utama bidang Hidraulika dan Bangunan Air, Balai Sugai, Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum, Jl. Solo-Kartasura km. 7, Surakarta 57162

e-mail: [isnugroho@gmail.com](mailto:isnugroho@gmail.com)

### ABSTRACT

The world population growth has reached 7 billion needs the natural resources to support its activities. This increase causes the vulnerability of natural resources, thus encouraging using the renewable resources. Water is a renewable natural resource and can be used as an alternative to face the energy crisis. The hydropower plant has been developed, including Micro Hydro Power Plant. Energy water is used to turn a turbine which is then connected to generators. An idea sparked, spin turbines are not only used to turn a generator, but it is also used to turn the water pump in order to obtain the additional benefits besides generating electricity, it can also be used to raise water from one place to a higher place. Several pilot project have been conducted in several places. This system has the double benefit that hydro power plants and water pumps, also produce higher efficiency because the potential energy is converted directly into mechanical energy to turn the water pump.

**Key words:** renewable energy, water pumps, micro-hydro, energy saving

### ABSTRAK

Pertumbuhan penduduk dunia yang sudah mencapai angka 7 milyar membutuhkan Sumber daya alam untuk mendukung aktivitasnya. Peningkatan ini menyebabkan kerawanan terhadap Sumber daya alam yang ada, sehingga mendorong untuk menggunakan Sumber daya yang terbarukan. Air merupakan salah satu Sumber daya alam yang terbarukan dan dapat digunakan sebagai alternatif untuk menghadapi krisis energi. Pembangkit listrik tenaga air sudah lama dikembangkan, di antaranya Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro. Energi air digunakan untuk memutar turbin yang kemudian dihubungkan dengan generator pembangkit listrik. Sebuah gagasan tercetus, putaran turbin tidak hanya digunakan untuk memutar generator, tetapi juga digunakan untuk memutar pompa air sehingga diperoleh manfaat tambahan yaitu selain menghasilkan listrik, dapat juga digunakan untuk menaikkan air dari satu tempat ke tempat yang lebih tinggi. BebeRAPa uji coba telah dilakukan di BebeRAPa tem-pat. Sistem ini selain mempunyai manfaat ganda yaitu pembangkit listrik dan pompa air, menghasilkan efisiensi lebih tinggi karena energi potensial langsung diubah menjadi energi mekanik untuk memutar pompa air.

**Kata-kata kunci:** energi terbarukan, pompa air, mikro hidro, penghematan energi

### PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk dunia sangatlah pesat. Pada bulan November 2011 yang lalu lahirlah bayi sebagai penduduk dunia yang ke 7 milyar. Jumlah penduduk dunia yang sangat banyak ini tentu menyebabkan tekanan terhadap daya dukung dunia terutama Sumberdaya alamnya untuk mendukung aktivitas manusia. Energi adalah salah satu hal yang sangat dibutuhkan untuk mendukung aktivitas manusia. Pada saat ini energi banyak berasal dari Sumber daya alam antara lain: angin, panas bumi, matahari, air, fosil plankton, dan lain-lain. Sumberdaya alam yang tidak terba-rukan seperti bahan bakar minyak yang berasal dari fosil plank-ton tentu mempunyai keterbatasan. Dunia sudah mulai merasakan adanya krisis energi ini. Guna mengatasi hal tersebut muncul be-beRAPa inovasi untuk mengembangkan Sumber daya alam yang terbarukan (*renewable resources*).

Air merupakan salah satu Sumber daya alam yang terba-rukan dan dapat digunakan sebagai alternatif untuk menghadapi krisis energi. Pembangkit listrik tenaga air sudah lama dikembangkan, diantaranya Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro. Air juga merupakan suatu komoditi yang sangat dibutuhkan oleh semua kehidupan, baik flora maupun fauna, apalagi oleh manusia. Ketersediaan air antara satu daerah tidak sama dengan daerah lainnya. Ada suatu daerah yang ketersediaan airnya cukup, namun ada daerah lain yang kekurangan. Disamping itu adapula suatu daerah yang ketersediaan airnya cukup namun letaknya berada di suatu lembah bukit, padahal daerah yang membutuhkan terletak di tempat yang lebih tinggi. BebeRAPa usaha dilakukan untuk membawa air dari tempat rendah menuju ke tempat yang lebih tinggi. Usaha yang paling sederhana yaitu dengan secara rombongan mengambil air tersebut dan membawa dengan memikulnya ke tempat yang membutuhkan. Pemandangan seperti Gambar 1 di bawah ini sangat sering dijumpai di daerah perbukitan yang sulit air.



Gambar 1. Rombongan ibu-ibu membawa air.  
(Sumber: masipoeng.wordpress.com)

Usaha yang lain dilakukan dengan memompa air dari tempat rendah ke tempat air digunakan yang letaknya lebih tinggi. Energi untuk memompa diperoleh dari berbagai Sumber, antara lain: listrik, bahan bakar minyak, angin, air, dll. Pemompan yang banyak dilakukan adalah dengan menggunakan tenaga listrik maupun bahan bakar minyak. Namun, dengan adanya krisis energi, harga listrik maupun minyak melambung sangat tinggi dan masyarakat tidak kuat memikulnya. Di daerah-daerah terpencil yang tidak ada listrik maupun sulit bahan bakar minyak, sulit menyelenggarakan pemompaan air dengan energi listrik maupun bahan bakar minyak. Apabila daerah tersebut kaya akan angin, maka digunakanlah kincir-kincir angin sebagai Sumber energi pemompaan. Air juga dapat juga dimanfaatkan energikan untuk mengatasi hal ini. Teknologi pompa Hidram yang memanfaatkan energi "water hammer" telah lama dikembangkan untuk memompa air.

Di daerah yang debit air dan topografinya memungkinkan untuk memutar turbin sebagai pembangkit listrik, listrik yang dihasilkan dapat digunakan sebagai energi pemompaan. Namun konsep ini kurang efisien. Rendemen yang timbul akan berlipat, yaitu rendemen pada pembangkitan listrik, transmisi dan proses pemompaan.

Sebuah gagasan timbul untuk memanfaatkan putaran turbin pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro. Pada sistem pembangkit listrik tenaga mikro hidro energi air digunakan untuk memutar turbin yang dihubungkan dengan generator listrik. Pada konsep ini, putaran turbin tidak hanya digunakan untuk memutar generator listrik, tetapi juga digunakan untuk memutar pompa sentrifugal sehingga dapat menghisap air dari tempat rendah dan mendorongnya ke atas ke tempat yang lebih tinggi. Pada daerah yang tidak membutuhkan listrik, putaran turbin hanya digunakan untuk memutar pompa sentrifugal untuk menaikkan air.

## LANDASAN TEORI

Mikrohidro merupakan sebuah istilah yang terdiri dari kata mikro yang berarti kecil dan hidro yang berarti air. Dengan demikian teknologi mikrohidro adalah teknologi untuk mengubah potensi tenaga air yang ada menjadi daya yang dapat digunakan sebagai pembangkit listrik dan/atau pemutar peralatan lainnya antara lain: pompa air, mesin giling padi dll. Teknologi mikrohidro akan bermanfaat dalam menunjang kegiatan sosial ekonomi masyarakat di pedesaan.

Pengembangan mikro-hidro dipandang sebagai pilihan yang tepat untuk penyediaan energi listrik (disebut Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro – PLTMH) untuk daerah terpencil yang sulit dijangkau jaringan listrik dari PLN. PLTMH biasa disebut juga dengan mikrohidro, adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerakannya seperti, saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (head) dan jumlah debit air. Secara teknis, mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu: (i) air (sebagai Sumber energi), (ii) turbin dan (iii) generator.

Mikrohidro mendapatkan energi dari aliran air yang memiliki perbedaan ketinggian tertentu. Pada dasarnya, mikrohidro memanfaatkan energi potensial terjunan air (*head*). Semakin tinggi terjunan air maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik. Tinggi terjunan air dapat diperoleh dengan: (i) mendapatkan letak geografis yang mempunyai tinggi terjunan yang cukup, atau (ii) membendung aliran air sehingga permukaan air menjadi tinggi. Air dialirkan melalui sebuah pipa pesat kedalam rumah pembangkit yang pada umumnya dibangun di bagian tepi sungai untuk menggerakkan turbin atau kincir air mikrohidro. Disebut mikrohidro karena memanfaatkan ketinggian air yang tidak terlalu besar dan menghasilkan daya listrik yang tidak terlalu besar.

PLTMH mempunyai bebeRAPa keuntungan, antara lain:

1. PLTMH cukup murah dibanding dengan pembangkit listrik lainnya.
2. Menggunakan sumber daya yang terbarukan.
3. Memiliki konstruksi yang sederhana dan dapat dioperasikan di daerah terpencil dengan tenaga terampil penduduk daerah setempat dengan sedikit latihan.
4. Ramah lingkungan karena tidak menimbulkan pencemaran maupun suara yang gaduh.
5. Dapat dipadukan dengan program lainnya seperti irigasi dan perikanan. Air yang digunakan untuk memutar turbin dapat digunakan lagi untuk irigasi atau perikanan.
6. Dapat mendorong masyarakat agar dapat menjaga kelestarian hutan sehingga ketersediaan air terjamin.
7. Dapat digunakan sebagai penggerak peralatan lainnya seperti pompa air, penumbuk padi, dan lain-lain. Hal ini akan lebih efisien dan aman karena tidak menggunakan motor berbahan bakar minyak maupun listrik.

## Prinsip kerja PLTMH

Prinsip kerja PLTMH adalah dengan memanfaatkan potensi tenaga aliran air dengan tinggi terjunan (H) dan debit (Q) tertentu, menjadi tenaga penggerak poros turbin yang selanjutnya daya yang dihasilkan oleh putaran poros turbin dapat digunakan menjalankan peralatan lain antara lain: generator, pompa air, penggiling padi, kopi dll.

- Daya hidrolik tenaga air :

$$P_{\text{air}} = \rho g Q H \quad (1)$$

dengan :

$P_{\text{air}}$  = daya hidrolik (Watt)

$\rho$  = keRAPatan masa air = 1000 kg/m<sup>3</sup>

$g$  = percepatan gravitasi = 9.81 m/det<sup>2</sup>

$Q$  = debit (m<sup>3</sup>/det)

$H$  = tinggi jatuh efektif (m)

= beda tma<sub>hulu</sub> dan tma<sub>hilir</sub> ( $H_{\text{statik}}$ ) – ( $\Delta H$ )

$\Delta H$  = kehilangan tinggi (*head loss*)

- Daya turbin yang dihasilkan :

$$P_T = \eta_t P_{\text{air}} \quad (2)$$

dengan:

$P_T$  = daya turbin (Watt)

$\eta_t$  = efisiensi turbin

- Daya listrik yang dihasilkan :

$$P_E = \eta_P P_{\text{air}} \quad (3)$$

dengan:

$P_E$  = daya listrik [Watt]

$\eta$  = efisiensi gabungan turbin dan generator

=  $\eta_T \eta_G$

$\eta_T$  = efisiensi turbin

$\eta_G$  = efisiensi generator

- Daya pompa air :

$$P_P = \rho g Q_P H_P \quad (4)$$

dengan:

$P_P$  = daya pompa air (Watt)

$Q_P$  = debit air yang dihasilkan pompa (m<sup>3</sup>/det)

$H_P$  = tinggi energi pompa =  $H_{\text{statik}} + \Delta H$  (m)

- Daya yang diperlukan untuk menjalankan pompa dapat berupa energi listrik atau lainnya (daya putaran poros turbin):

$$P_{pP} = P_P / \eta_P \quad (5)$$

dengan :

$P_{pP}$  = daya penggerak pompa (Watt)

$\eta_P$  = efisiensi pompa

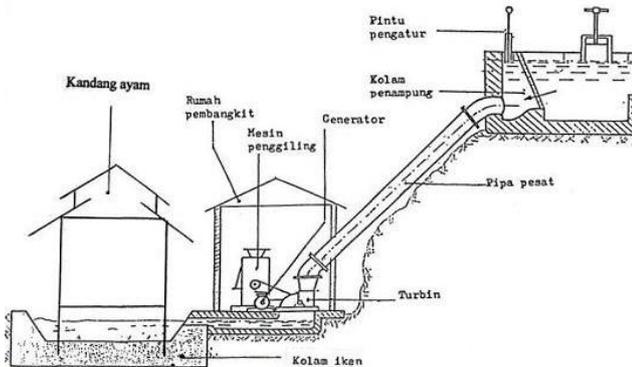
Dengan demikian, apabila pompa air dijalankan dengan motor listrik, maka daya listrik yang diperlukan untuk menjalankan pompa menjadi lebih besar dari daya penggerak pompa tersebut di atas, sebagai akibat adanya kehilangan daya pada motor listrik yang dinyatakan dengan efisiensi motor listrik.

## Bangunan Sipil yang Diperlukan

Bangunan Sipil adalah bangunan-bangunan yang diperlukan untuk mengendalikan aliran air agar dapat diperoleh tinggi terjunan efektif (H) dan debit (Q) yang diperlukan untuk memutar turbin. Bangunan Sipil di jaringan irigasi meliputi : bangunan sadap, pintu air, saringan sampah, saluran pembawa, rumah pembangkit, saluran hilir atau pelepas, bak penampungan air. Seba-

gian besar dari bangunan tersebut pada umumnya sudah ada di jaringan irigasi sehingga dapat dimanfaatkan.

Bangunan hilir atau pelepas tergantung dari jenis turbin yang digunakan. Bila digunakan turbin jenis propeller, diperlukan bak turbin dan *draught tube*, sedangkan untuk turbin *crossflow* (aliran silang), diperlukan bak simulasi dan pipa pesat/penstok. Sketsa bangunan sipil pada sebuah PLTMH dapat dilihat pada Gambar 2 berikut ini.

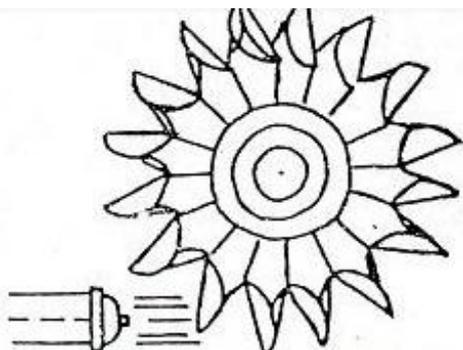


Gambar 2. Sketsa bangunan sipil pada PLTMH (Sumber: aseppadang.wordpress.com)

### Pemilihan Jenis Turbin

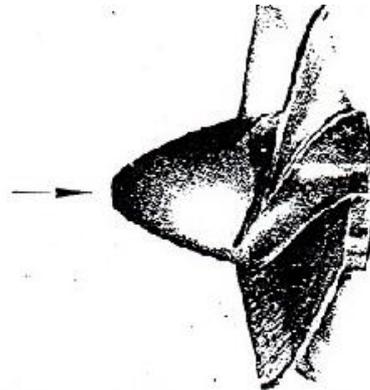
Pemilihan jenis turbin air menjadi hal yang menarik dan menjadi objek penelitian untuk mencari sistim, jenis, bentuk dan ukuran yang tepat dalam usaha mendapatkan efisiensi turbin yang maksimum. Karakteristik dari masing-masing jenis turbin sangat me-ntukan dalam penentuan jenis turbin yang akan digunakan. Jenis turbin dapat diklasifikasikan dalam bebeRAPa kriteria.

1. Berdasarkan Model Aliran Air Masuk *Runner*  
Berdasarkan cara masuknya aliran air ke dalam *runner*, jenis turbin dibedakan menjadi tiga tipe yaitu:
  - a. Turbin aliran tangensial  
Pada tipe ini, air masuk *runner* dengan arah tangensial atau tegak lurus dengan poros *runner* dan mengakibatkan *runner* berputar, contoh: Turbin Pelton dan Turbin *Cross-Flow* (lihat Gambar 3).



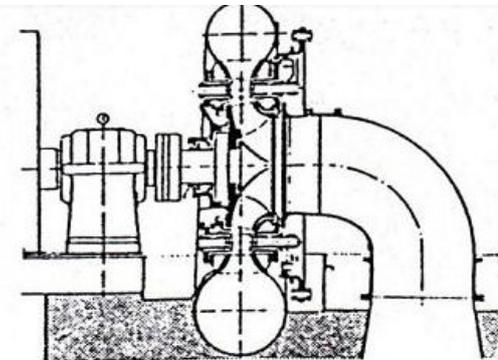
Gambar 3. Turbin aliran tangensial (Sumber: Haimer L.A., 1960)

- b. Turbin Aliran Aksial  
Pada turbin ini, aliran air masuk maupun keluar *runner* sejajar dengan poros *runner*, contoh: Kalpan



Gambar 4. Turbin aliran aksial (Sumber: Haimer L.A., 1960)

- c. Turbin Aliran Aksial – Radial  
Pada turbin ini, air masuk ke dalam *runner* secara radial dan keluar *runner* secara aksial sejajar dengan poros. Contoh: Turbin Francis (lihat Gambar 5).



Gambar 5. Turbin aliran aksial-radial (Sumber: Haimer L.A., 1960)

2. Berdasarkan Perubahan Kerja Momentum Fluida  
Berdasarkan perubahan kerja momentum kerjanya, turbin dapat dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu:
  - a. Turbin Impuls  
Pada turbin ini, semua energi potensial diubah menjadi energi kinetik sebelum air masuk/ menyentuh sudu-sudu *runner* oleh alat pengubah yang disebut *nozel*. Contoh : Turbin Pelton dan Turbin *Cross-Flow*.
  - b. Turbin  
Pada turbin ini, seluruh energi potensial dari air diubah menjadi energi kinetis pada saat air melewati lengkungan sudu-sudu pengarah, dengan demikian putaran *runner* disebabkan oleh perubahan momentum oleh air. Contoh: Turbin Francis, Turbin Kaplan dan Turbin *Propeller*.
3. Berdasarkan Kecepatan Spesifik ( $n_s$ )  
Kecepatan spesifik dari suatu turbin ialah kecepatan putaran *runner* yang dapat dihasilkan daya efektif 1 HP untuk setiap tinggi terjunan 1 meter atau dapat ditulis:

$$n_s = n \cdot N_e^{1/2} / H_{efs}^{5/4} \quad (6)$$

dengan:

- $n_s$  = kecepatan spesifik turbin
- $n$  = kecepatan putaran turbin (*rpm*)
- $H_{efs}$  = tinggi terjun efektif (m)
- $N_e$  = daya turbin efektif (*HP*)

Nilai kecepatan spesifik dapat digunakan untuk menentukan tipe turbin. Tabel berikut menjelaskan batasan kecepatan spesifik untuk beberapa turbin konvensional.

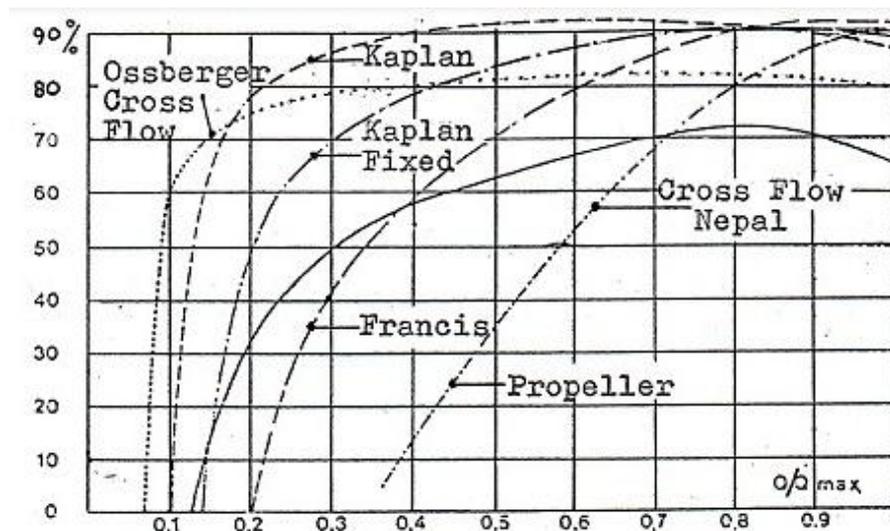
Tabel 1. Kecepatan spesifik turbin konvensional

No.	Jenis Turbin	Kecepatan Spesifik
1.	Pelton dan kincir air	10 – 35
2.	Francis	60 – 300
3.	<i>Cross flow</i>	70 – 80
4.	Kaplan dan <i>propeller</i>	300 - 1000

4. Berdasarkan Tinggi Terjun dan Debit Aliran  
Tinggi terjun dan debit aliran juga menentukan jenis turbin yang cocok untuk digunakan, yaitu:
- Terjunan yang rendah (<40 meter) dengan debit air yang besar, maka Turbin Kaplan atau *propeller* cocok untuk digunakan pada kondisi seperti ini.
  - Terjunan sedang antara 30 sampai 200 meter dan debit relatif cukup, maka untuk kondisi seperti ini lebih cocok gunakanlah Turbin Francis atau *Cross-Flow*.
  - Terjunan yang tinggi di atas 200 meter dengan debit sedang, turbin impuls jenis Pelton lebih cocok.

Berdasarkan karakteristik turbin di atas, maka turbin *cross-flow* lebih cocok digunakan untuk PLTMH. *Turbin Cross-Flow* adalah salah satu turbin air dari jenis turbin aksi (*impulse turbine*). Prinsip kerja turbin ini mula-mula ditemukan oleh seorang insinyur Australia yang bernama A.G.M. Michell (1903). Kemudian turbin ini dikembangkan dan dipatenkan di Jerman Barat oleh Prof. Donat Banki sehingga turbin ini diberi nama Turbin Banki kadang disebut juga Turbin Michell-Ossberger atau turbin Banki-Michell (Haimerl, L.A., 1960).

Pemakaian jenis Turbin *Cross-Flow* lebih efisien dibanding dengan penggunaan kincir air maupun jenis turbin mikrohidro lainnya. Dibandingkan dengan kincir air, turbin ini dapat menghemat biaya pembuatan sampai 50 %. Penghematan ini dapat dicapai karena ukuran Turbin *Cross-Flow* lebih kecil dan lebih kompak dibanding kincir air. Demikian juga daya guna atau efisiensi rata-rata turbin ini lebih tinggi dari pada daya guna kincir air. Hasil pengujian laboratorium yang dilakukan oleh pabrik turbin Ossberger Jerman Barat yang menyimpulkan bahwa daya guna kincir air dari jenis yang paling unggul sekalipun hanya mencapai 70 % sedang efisiensi turbin *Cross-Flow* mencapai 82 % ( Haimerl, L.A., 1960 ). Tingginya efisiensi Turbin *Cross-Flow* ini akibat pemanfaatan energi air pada turbin ini dilakukan dua kali, yang pertama energi tumbukan air pada sudu-sudu pada saat air mulai masuk, dan yang kedua adalah daya dorong air pada sudu-sudu saat air akan meninggalkan *runner*. Kurva di bawah ini akan lebih menjelaskan tentang perbandingan efisiensi dari beberapa turbin konvensional.



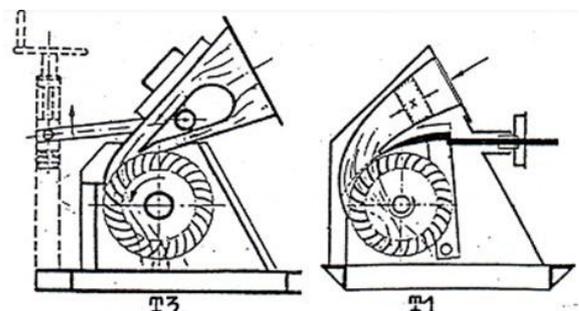
Gambar 6. Efisiensi turbin *cross-flow* dibandingkan dengan turbin-turbin lainnya (Sumber: Haimer L.A., 1960)

Dari grafik tampak bahwa efisiensi turbin *cross-flow* dari Ossberger cukup stabil dan tinggi. Contoh: Untuk Turbin *Cross Flow* dengan  $Q/Q_{\max} = 1$  menunjukkan efisiensi yang cukup tinggi sekitar 80%, demikian juga pada perubahan debit sampai dengan  $Q/Q_{\max} = 0,2$  menunjukkan harga efisiensi yang relatif tetap.

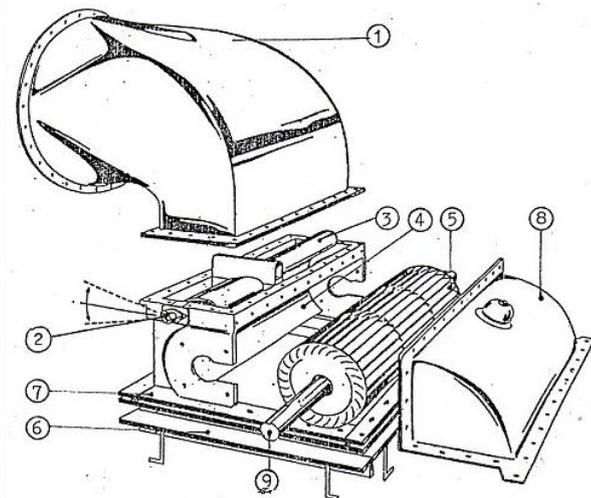
Secara umum turbin *cross-flow* diklasifikasikan dalam 2 tipe (lihat Gambar 7), yaitu:

- Tipe T1, yaitu Turbin *Cross-Flow* kecepatan rendah .
- Tipe T3, yaitu Turbin *Cross-Flow* kecepatan tinggi.

Proses pembuatan turbin ini juga sangat sederhana. Sudusudunya dapat dibuat dari bilah-bilah pipa yang dibelah dan dihubungkan dengan las yang sederhana. Karena kesederhanaannya, turbin *cross-flow* dapat digolongkan dalam teknologi tepat-guna yang dapat dikembangkan dipedesaan. Gambar 8 menunjukkan komponen pada sebuah turbin *cross-flow*.



Gambar 7. Dua tipe turbin *cross-flow* (Sumber: Haimer L.A., 1960)

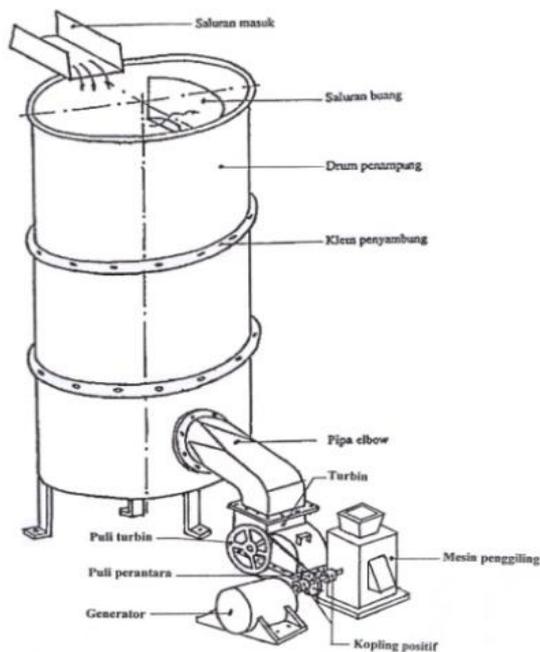


- |                |                   |
|----------------|-------------------|
| 1. Elbow       | 6. Rangka pondasi |
| 2. Poros katup | 7. Rumah turbin   |
| 3. Katup       | 8. Tuip turbin    |
| 4. Nozel       | 9. Poros runner   |
| 5. Runner      |                   |

Gambar 8. Komponen pada turbin cross-flow  
(Sumber: Haimar L.A., 1960)

### Penggabungan dengan Pompa Air

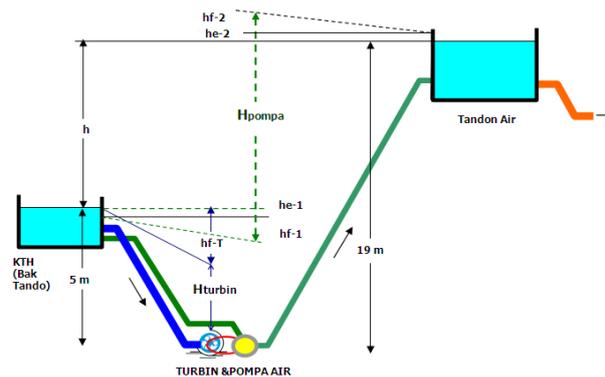
Putaran turbin tersebut biasanya dihubungkan dengan generator pembangkit listrik. Akan tetapi, disamping untuk memutar generator, daya yang dihasilkan oleh putaran poros turbin dapat digunakan menjalankan peralatan lain antara lain: pompa air, penggiling padi, kopi, dan lain-lain (lihat Gambar 9)



Gambar 9. Penggabungan generator dengan peralatan lainnya  
(Sumber: aseppadang.wordpress.com)

Apabila dihubungkan dengan peralatan lainnya, maka harus diperhitungkan daya turbin dapat memutar semua peralatan tersebut. Dalam kasus daya turbin dibungkan dengan pompa, maka harus diperhitungkan kemampuan pompa menaikkan air termasuk tinggi hilang hidraulik sepanjang pipa (lihat Gambar 10).

$$H_{pompa} = h + \Sigma \text{ head loss pipa hisap dan tekan}$$



Gambar 10. Daya turbin untuk memutar pompa air.  
(Sumber: Rahardjanto, 2009)

### Penerapan Pompa Air Mikro Hidro

Penyediaan air baku dan listrik masih merupakan suatu permasalahan pada bebeRAPa daerah atau kawasan pegunungan/ dataran tinggi di Indonesia, antara lain:

- Di Desa Sukarame, masyarakat Kampung Sukarame, Legok dan Cigasti yang berada di atas bukit mengalami kesulitan untuk memenuhi kebutuhan air baku untuk MCK dan pembuatan batu bata.
- Di Kabupaten Tanggamus masih ada 160 desa yang masyarakatnya belum menikmati listrik.
- Di Kabupaten Nabire, listrik berasal dari PLTD yang tidak bekerja sepanjang hari dan bila pasokan BBM terlambat, pemadaman listrik berlangsung lama.
- Di Kabupaten Banyumas baru 59% dari jumlah kk yang menikmati listrik.
- Di daerah pegunungan tengah Provinsi Papua masih > 90% masyarakatnya belum menikmati energi listrik PLN.
- Di atas bendung Colo, Wonogiri, terdapat suatu daerah yang tidak dapat diairi (pernah dibangun pompa air listrik kemudian diganti bahan bakar minyak, yang dua-duanya berhenti beroperasi karena melambungnya biaya listrik maupun bahan bakar minyak).

Harga BBM dunia meningkat terus, sebagai akibat persediaan energi fosil tersebut menipis, sementara ini lebih dari 35% pembangkit listrik PLN mempergunakan BBM.

Sumber Daya Air, merupakan salah satu energi primer pembangkit energi listrik, potensi yang ada sangat besar yaitu 75000 MW, 500 MW diantaranya adalah potensi untuk PLT-Mikro Hidro. Potensi Mikro Hidro di Indonesia yang besarnya 500 MW, baru dimanfaatkan sekitar 20 MW (4%).

Dari bebeRAPa alternatif pemenuhan kebutuhan energi seperti generator diesel, tenaga surya, kincir angin, energi gas bumi dan mikro hidro, hasil analisis keuntungan dan kerugian terhadap faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan dalam memilih alternatif, menunjukkan mikrohidro merupakan alternatif yang layak untuk dipilih.

PeneRAPan Pompa Air Tenaga Mikro Hidro (PATMH) dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu:

- Pompa air mikrohidro dan pembangkit listrik  
Pada kasus ini, tenaga turbin digunakan untuk memutar generator listrik dan pompa secara bersama-sama.

### Pompa Air Mikrohidro di Gomblang, Banyumas

Pompa mikrohidro ini dibuat di saluran irigasi Gomblang, desa Kalisalak, kecamatan Kedungbanteng, Banyumas. Pompa mikrohidro ini menyempurnakan kinerja PLTMH swadaya masyarakat dari kincir kayu yang digunakan untuk memutar dinamo sepeda. Air dari saluran irigasi Gomblang diterjunkan melalui pipa pesat seperti gambar di bawah ini.



Gambar 11. Pipa pesat PATMH dan PLTMH Gomblang

Mengingat di daerah tersebut juga memerlukan air baku yang sumbernya terletak di bawah, maka disamping untuk membangkitkan listrik, mikrohidro ini juga digunakan untuk memompa air. Dengan demikian turbin disamping memutar generator, juga digunakan untuk memutar pompa air (lihat Gambar 12).



Gambar 12. Turbin memutar pompa dan generator

Data PATMH dan PLTMH di saluran irigasi Gombang seperti Tabel 2.

Air yang dipompa ke atas, ditampung di bak penampung atas, kemudian digunakan sebagai suplai air untuk areal Jambore Pramuka (lihat Gambar 13).



Gambar 13. Distribusi air setelah dipompa

Tabel 2. Data teknik PATMH dan PLTMH Gomblang

Debit penggerak turbin ( $Q_T$ )	160 lt/detik
Tinggi energi efektif turbin (H)	8,44 m
Diameter pipa pesat ( $D_{pipapesat}$ )	20 dan 14 inci
Panjang pipa pesat ( $L_{pipapesat}$ )	17 m dan 4 m
Turbin <i>cross-flow</i> , Pico T-14 yang dilengkapi dengan <i>guide vane</i> , dengan spesifikasi:	
Diameter <i>runner</i> (D)	150 mm
Lebar <i>runner</i> ( $B_O$ )	450 mm
Daya Turbin ( $P_T$ )	10 kW
Putaran turbin	750 rpm
Pompa sentrifugal merk Torishima tipe ETA-N seri 65 x 65 – 160 dengan spesifikasi:	
Putaran per menit	2900 rpm
Diameter <i>pulley</i> (D)	5 inci
Tinggi energi statik pompa ( $H_S$ )	18,12 m
Diameter pipa ke suplai pompa	2,5 inci
Panjang pipa suplai	27,5 m
Diameter pipa tekan dari pompa	2 inci
Panjang pipa tekan ( $L_{PT}$ )	224 m
Tinggi energi pompa ( $H_p$ )	19,76 m
Debit pompa ( $Q_p$ )	1,7 – 1,8 ltr/dt
Volume bak penampung air ( $V_{PA}$ )	9,0 m <sup>3</sup>
Generator listrik A.C.Synchronous, Merk General, buatan Cina, Tipe ST-10 dengan spesifikasi:	
Daya listrik yang dihasilkan	7,893 kW
Tegangan	230 V
Putaran per menit	1500 rpm

2. Pompa air mikrohidro tanpa pembangkit listrik
 

Pada kasus ini, turbin hanya difungsikan untuk memutar pompa air untuk menaikkan air ke tempat yang lebih tinggi.

  - a. Pompa Air Mikrohidro di desa Sukarame
 

Pompa mikrohidro ini dibangun di saluran irigasi Cineam desa Sukarame, kecamatan Leles, kabupaten Garut, Jawa Barat. Air dari saluran irigasi Cineam diterjunkan 5 – 6 m untuk memutar turbin. Daya turbin digunakan untuk memutar pompa air untuk menaikkan air ke bak penampungan di atas bukit dan didistribusikan ke penduduk  $\pm$  562 orang (data dari kantor desa Sukarame, 2003) yang tinggal di kampung Sukarame, Legok, dan Cigasti. Data teknis Pompa Mikrohidro di desa Sukarame seperti tabel di bawah ini.

Tabel 3. Data teknik Pompa Mikrohidro desa Sukarame

Debit penggerak turbin ( $Q_T$ )	60 lt/detik
Tinggi energi efektif turbin ( $H$ )	5,672 m
Diameter pipa pesat ( $D_{pipapesat}$ )	10 inchi
Panjang pipa pesat ( $L_{pipapesat}$ )	18,30 m
Turbin <i>cross-flow</i> , Pico T-14 yang dilengkapi dengan <i>guide vane</i> , dengan spesifikasi:	
Diameter <i>runner</i> ( $D$ )	150 mm
Lebar <i>runner</i> ( $B_O$ )	200 mm
Daya Turbin ( $P_T$ )	2,2 kW
Pompa sentrifugal ETA-N seri 65 x 65 – 160 dengan spesifikasi:	
Putaran per menit	290 rpm
Diameter <i>pulley</i> ( $D$ )	2 inchi
Tinggi energi statik pompa ( $H_S$ )	23,3 m
Diameter pipa ke suplai pompa	10 cm
Panjang pipa hisap	8 m
Diameter pipa tekan dari pompa	10 cm
Panjang pipa tekan ( $L_{PT}$ )	90 m
Tinggi energi pompa ( $H_P$ )	19 m
Volume bak penampung air ( $V_{PA}$ )	13,5 m <sup>3</sup>

Untuk memenuhi kebutuhan penduduk tiap hari  $\pm$  2300 liter, dengan kapasitas bak 13500 liter, maka bak penampung perlu diisi penuh 2 kali sehari. Agar pengoperasian pompa tidak mengganggu pemakaian air untuk irigasi, perlu diatur jadwal pemompaan sebagai berikut: Pagi/subuh dan sore/maghrib masing-masing selama 3 jam. Sore/maghrib sampai tengah malam secara menerus selama 6 jam.

Gambar 14 di bawah ini menunjukkan pipa pesat PATMH Sukarame, sedangkan Gambar 15 menunjukkan sistem hubungan antara turbin dan pompa air.

- b. Pompa air mikro hidro di bendung Colo, Jawa Tengah  
Di atas bendung Colo, Sukoharjo, Jawa Tengah, terdapat areal sawah seluas  $\pm$  25 ha. Semula sawah tersebut merupakan ujung dari Daerah Irigasi bendung Kri-sak. Namun karena menyusutnya air, areal tersebut tidak dapat diairi lagi. Upaya pemberian suplai dengan memompa air dari genangan bendung Colo. Usaha ini berlangsung kurang

lebih selama 3 tahun. Namun karena biaya operasi pompa berbahan bakar minyak maupun listrik terus naik, petani maupun Pemerintah Daerah tidak mampu lagi menanggungnya. Atas dasar permasalahan ini, Pusat Litbang Sumber Daya Air mencoba meneRAPkan Pompa Air Mikro Hidro di tempat ini.

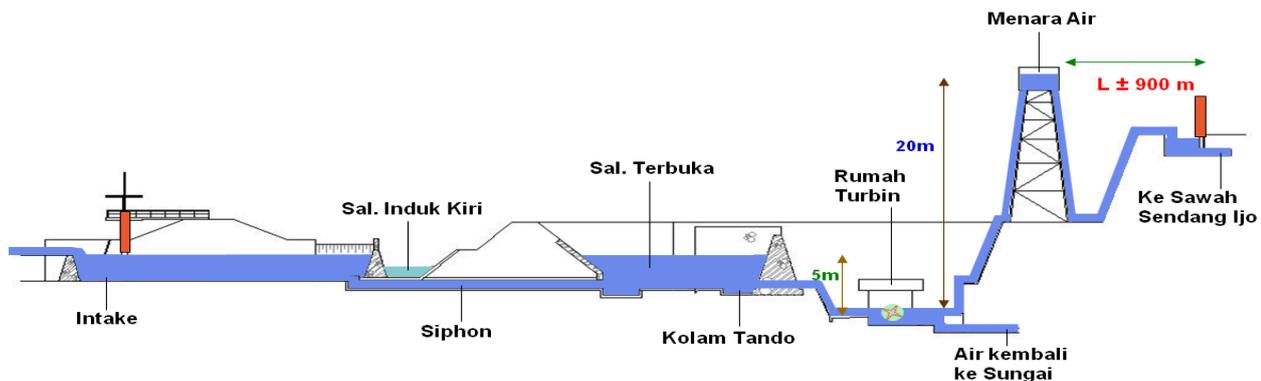


Gambar 14. Pipa pesat pada PATMH Sukarame



Gambar 15 Hubungan antara turbin dan pompa air

Air dari genangan bendung Colo diterjunkan untuk memutar turbin. Putaran turbin digunakan untuk memutar pompa guna menaikkan air hingga ke tando atas. Dari kolam tando atas, air dialirkan secara gravitasi ke areal sawah yang membutuhkan. Skema pengaliran air dapat dilihat dalam gambar di bawah ini.



Gambar 16. Skema pengaliran air pada PATMH bendung Colo

Sebagai energi pemutar turbin digunakan *release water for river maintenance* bendung Colo sebesar 2 m<sup>3</sup>/detik. Dengan demikian pengoperasian pompa air ini tidak mengurangi air bendung Colo. Data teknis Pompa Air Mikro Hidro bendung Colo disajikan dalam tabel di bawah ini.

Tabel 4. Data teknik Pompa Mikrohidro bendung Colo

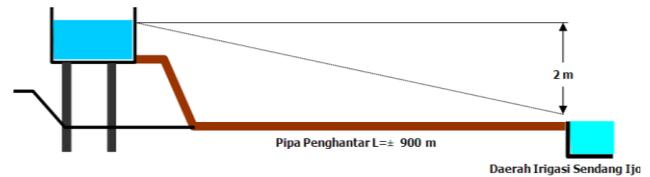
Debit penggerak turbin (Q <sub>T</sub> )	150 lt/detik
Tinggi energi efektif turbin (H)	5,0 m
Diameter pipa <i>penstok</i>	35 cm
Panjang pipa <i>penstok</i>	8,0 m
Turbin <i>cross-flow</i> , Pico T-14 yang dilengkapi dengan <i>guide vane</i> , dengan spesifikasi:	
Diameter <i>runner</i> (D)	150 mm
Lebar <i>runner</i> (B <sub>O</sub> )	200 mm
Daya Turbin (P <sub>T</sub> )	7,5 HP
Pompa sentrifugal tipe GT-R merk Niagara dengan spesifikasi:	
Putaran per menit	2100 rpm
Diameter pipa	4 inchi
Total head pemompaan	23 m
Tinggi energi pompa (H <sub>P</sub> )	17,11 m
Debit pompa	15 l/detik

Pompa air yang digunakan adalah pompa air sentrifugal sederhana dan hanya diperlukan *safety valve* (*tusen klep*). Pompa digerakkan oleh turbin yang dihubungkan dengan *belt* yang dipasang pada *pully* (lihat Gambar 17).



Gambar 17. Hubungan turbin dengan pompa

Dari kolam tando atas, air dialirkan secara gravitasi menuju areal sawah Sendang Ijo dengan menggunakan pipa pralon sepanjang ± 900 m dengan sketsa seperti gambar di bawah ini.



Gambar 18. Pengaliran air dari tando atas ke areal sawah

### Uji Coba Kinerja

Uji coba kinerja mikrohidro pompa air dimaksudkan untuk mengetahui besarnya debit yang dihasilkan oleh sistem mikrohidro pompa air pada bebeRAPa kondisi aliran dan putaran turbin maupun pompa air. Putaran turbin mikrohidro diukur dengan alat ukur *rpm* (*tacho meter*) pada bebeRAPa variasi debit dan tinggi terjun. Sedang putaran pompa air dapat dihitung berdasarkan perbandingan antara diameter *pully* turbin mikrohidro dengan *pully* pompa air.

Turbin yang digunakan adalah *Turbine Cross-Flow T14 D150* (diameter *runner* 150 mm), sedang daya Turbin pada berbagai tinggi terjun dan debit aliran disampaikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Daya Turbin pada berbagai head dan debit aliran.

No	Head (m)	Debit (lt/det)	Daya	
			kW	PK / Hp
1	4	200	5	6,7
2	16	200	20	26,8
3	20	200	25	33,5
4	13	150	12,5	16,7
5	16	150	15	20,1
6	27	100	17,5	23,5

Debit air yang melewati *tail race* setelah digunakan untuk menggerakkan 2 buah turbin mikrohidro, dipantau dengan alat ukur debit *Rehbock* pada saluran pembuang/ drainase. Alat ukur debit tersebut dipasang tepat di hulu terowongan drainase, yang mengalirkan air kembali ke sungai Bengawan Solo di hilir Bendung Colo. Sedangkan pengukuran besarnya debit yang dihasilkan 2 (dua) buah pompa dicatat dari peil muka air di hulu alat ukur debit *Rehbock* di bak penenang sebelum masuk ke saluran tersier areal sawah yang akan diairi.

Pada PATMH bendung Colo ini dioperasikan 2 buah turbin yang memutar 2 buah pompa (lihat Gambar 17). Tabel 6 berikut menyajikan hasil uji coba kinerja dua unit Turbin dan Pompa Air yang dioperasikan secara bersamaan.

Tabel 6. Hasil Uji coba kinerja dua unit turbin dan pompa air.

Muka Air (m)		Head (m)	TMA(m) Rehbock Drainase	Debit (lt/det) Turbin	TMA(m) Rehbock Irigasi	Debit (lt/det) Pompa	RPM	
Saluran Induk	Kolam Tando						Turbin1	Pompa1
107,72	107,39	5,89	31	266,32	9	25,08	-	-
107,98	107,69	6,19	30	252,82	8	21,68	-	-
107,74	107,57	6,07	27	214,04	6,5	15,92	-	-
107,48	107,16	5,66	30,5	259,57	8,2	22,52	640	1920
							723	2169
107,54	107,25	5,75	30	252,82	7,3	18,93	636	1908
							706	2118
107,63	107,30	5,80	32,5	287,14	8,5	23,78	688	2064
							721	2163

Keterangan : Head (m) = tma kolam tando – elevasi as Turbin(101,50m)

Air yang dipompa ke atas, ditampung dalam bak tando, kemudian dialirkan secara gravitasi menuju ke sawah secara gravitasi. Pompa Air Tenaga Mikro Hidro ini sangat membantu karena petani tidak diperlukan biaya operasi yang cukup besar. Biaya operasi yang diperlukan hanyalah upah tenaga operator dan biaya pemeliharaan yang tidak sebeRAPa.

## KESIMPULAN

Berdasarkan penerapan Pompa Air Tenaga Mikro pada be-beRAPa lokasi dan berbagai keadaan, dapat ditarik bebeRAPa kesimpulan sebagai berikut:

1. Harga Bahan Bakar Minyak terus melambung akibat menipisnya persediaan minyak dunia, padahal sebagian pembangkit listrik PLN berbahan bakar minyak. Oleh karena itu perlu diciptakan inovasi untuk mengatasi hal tersebut.
2. Potensi Sumber daya air yang merupakan sumber daya alam yang terbarukan (*renewable resources*) di Indonesia sangat besar dan baru sekitar 4% yang dimanfaatkan. Oleh karena itu penggunaan air sebagai sumber energi harus terus digalakkan.
3. Teknologi Mikrohidro merupakan salah satu cara untuk memanfaatkan air sebagai sumber energi. Dibandingkan dengan pembangkit listrik jenis yang lain, teknologi mikrohidro ini cukup murah karena menggunakan energi alam yang terbarukan.
4. Mikrohidro sangat ramah lingkungan dan tidak menimbulkan pencemaran.
5. Mikrohidro dapat dibangun pada aliran yang tidak cukup besar dan terjunan yang tidak terlalu tinggi, sehingga dapat dibangun pada saluran irigasi.
6. Air irigasi hanya dipinjam tenaganya saja, sehingga air irigasi tidak berkurang sedikitpun.
7. Masih banyak potensi saluran irigasi di Indonesia yang belum dimanfaatkan untuk pembangkit tenaga Mikro-hidro, padahal wilayah di sekitarnya sangat memerlukan.
8. Dibanding dengan jenis turbin yang lain penggunaan turbin *cross flow* pada mikro hidro adalah paling efisien pada berbagai debit aliran maupun tinggi terjun. Di samping itu, turbin ini sangat sederhana sehingga murah dan dapat diproduksi oleh bengkel lokal, sehingga sangat tepat untuk penerapan Teknologi Tepat Guna.
9. Turbin ini memiliki konstruksi yang sederhana, mudah pemeliharaan dan dapat dioperasikan di daerah terpencil dengan tenaga terampil penduduk daerah setempat dengan sedikit latihan.
10. Dapat mendorong masyarakat agar dapat menjaga kelestarian hutan sehingga ketersediaan air terjamin.
11. Selain sebagai pembangkit listrik, teknologi mikrohidro dapat dihubungkan dengan peralatan lainnya seperti: penumbuk kopi, pompa air, dan sebagainya.
12. Mikrohidro yang dihubungkan secara langsung dengan pompa air, dapat menaikkan air ke tempat yang lebih tinggi.
13. Pompa air mikro hidro dapat menghidupkan kembali daerah-daerah kering yang kekurangan air tanpa menggantungkan energi dari PLN ataupun bahan bakar minyak.
14. Biaya operasi pompa air mikrohidro sangat rendah sehingga dapat terjangkau oleh masyarakat luas.

Dengan demikian Teknologi Pompa Air Tenaga Mikro Hidro merupakan sebuah alternatif efisiensi dalam menghadapi krisis energi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aimont E. (1954). *La central hydroelectrique de Monsin-lez-Liege*, Technique des Travaux, nos 3-6.
- Arismunandar A., KUWAHARA S. (1975). *Teknik Tenaga Listrik*, Jilid-1 Pembangkitan Dengan Tenaga Air, PT Pradnya Paramita.
- Creager William P., Justin Joel D. (1950). *Hydroelectric Handbook*, second edition, John Wiley and Sons Inc, New York.
- Fraenkel P., Paish O., Bokalders V., Harvey A. & Brown A., (1992). *Micro-hydro power: A guide for development workers*, IT Power, Stockholm Environment Institute.
- Furze John (2002). *Compedium of SmallHydro*, Holme Bygade 12, 8400 Ebeltoft Denmark, University of Aarhus, Faculty of Political Science, Law & Economics
- Goldsmith K.. (1995). *The Role of the Private Sector in the Small-scale Hydropower Field*, SKAT
- Haimerl L.A. (1960). "The Cross-Flow turbine." *Water Power West Germany*, Vol. 12, No. 1, pp. 5-13.
- Harvey A. & Brown A. (1992). *Micro-hydro Design Manual*, ITDG Publishing, IT Power, Stockholm Environment Institute.
- Holler K., Miller H. Bulb and Straflo R. (1977). *Turbines for Low Head Power Station*, Esher Wyss News, Switzerland.
- Lal, Jagdish (1975). *Hydraulic Machine*, Metropolitan Book Co Private Ltd. New Delhi.
- Lencastre A. (1986). *Manuel d'Hydraulique Generale*, Collection de la Direction des Etudes et Recherches d'Electricite de France, Eyrolles, Paris.
- Masonyi E. (1965). *Water Power Development*, Vol II, 2<sup>nd</sup> English edition, Publishing House of the Hungarian Academy of Science, Budapest, Chapter 114.
- NN, (1995). *Low-cost Electrification - Affordable Electricity Installation for Low-Income Households in Developing Countries*, IT Consultants/ODA.
- NN, (2006). *Rekayasa Tenaga Air Skala Kecil*, Heksa Prakarsa Teknik PT., Bandung.
- NN, (2010). *Penerapan Pompa MikroHidro oleh Puslitbang Sumber Daya Air*, Puslitbang Sumber Daya Air, Bandung.
- Novak P. (1985). *Development in Hydraulic Engineering*, Vol. 3, Elsevier Applied Science Publisher, London.
- Rahardjanto (2009). "Teknologi Mikrohidro Pompa Air untuk Penyediaan Air Irigasi." *Jurnal Teknologi Sumber Daya Air*, Vol. 6 No.1, April 2009.
- Rahardjanto (2009). "A Small Self-Powered Pump Irrigation Scheme in Bengawan Solo Basin." *CRBOM Small Publication Series*.
- Ramette M. (1981). *Guide d'Hydraulique Fluviale, Les Connaissances de Base*, Department Laboratoire National d'Hydraulique, Electricite de France, Direction des Etudes et Recherches
- Smith N. (1994). *Motors as Generators for Micro-Hydro Power*, IT Publications.
- Thake Jeremy (2000). *The Micro-hydro Pelton Turbine Manual: Design, Manufacture and Installation for Small-scale Hydropower*, ITDG Publishing, IT Power, Stockholm Environment Institute.
- Triatmodjo, B. (1996). *Hidraulika II*, Beta Offset, Yogyakarta.
- William, A. (1995). *Pumps as Turbines - A users guide*, ITDG Publishing, IT Power, Stockholm Environment Institute.