

LAPORAN PENELITIAN



Studi Potensi Pengembangan
Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro
di Sungai Winongo Kabupaten Sleman

Oleh :

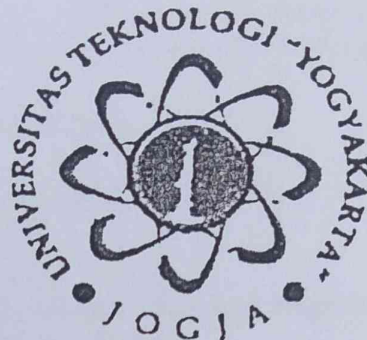
JOKO SUTOPO
UNIVERSITAS TEKNOLOGI YOGYAKARTA

Dibiayai melalui DIPA Kopertis Wilayah V
Nomor : 0169.0/023-04.0/XIV/2008 Tahun Anggaran 2008

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
KOORDINASI PERGURUAN TINGGI SWASTA WILAYAH V
YOGYAKARTA



LAPORAN PENELITIAN



Studi Potensi Pengembangan
Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro
di Sungai Winongo Kabupaten Sleman

Oleh :

JOKO SUTOPO
UNIVERSITAS TEKNOLOGI YOGYAKARTA

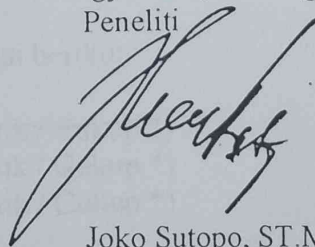
Dibiayai melalui DIPA Kopertis Wilayah V
Nomor : 0169.0/023-04.0/XIV/2008 Tahun Anggaran 2008

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
KOORDINASI PERGURUAN TINGGI SWASTA WILAYAH V
YOGYAKARTA

HALAMAN PENGESAHAN

1. Judul Penelitian : Studi Potensi Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro di Sungai Winongo Kabupaten Sleman
2. Bidang Penelitian : Teknologi dan Energi Terbarukan
3. Ketua Peneliti
 - a. Nama Lengkap : Joko Sutopo, ST.MT.
 - b. Jenis Kelamin : L
 - c. NIP/NIDN : 110698027/0503107502
 - d. Pangkat/Golongan : III C
 - e. Jabatan Fungsional : Lektor
 - f. Perguruan Tinggi : Universitas Teknologi Yogyakarta
 - g. Program Studi : Teknik Elektro
 - h. Status Dosen : Dosen Tetap Yayasan (A), Dosen DPK (B)*
4. Pembimbing**)
 - a. Nama Lengkap (Gelar) :
 - b. Jabatan Akademik :
 - c. Unit Kerja / PT :
5. Jumlah Tim Peneliti : Mandiri
7. Lokasi Penelitian : Sleman - Yogyakarta
8. Jumlah Biaya : Rp. 1.500.000,-
(Satu Juta Lima Ratus Ribu Rupiah)

Yogyakarta, 30 Agustus 2008
Peneliti



Joko Sutopo, ST.MT.
NIK 110698027

Mengetahui/
a.n. Koordinator
Sekretaris Pelaksana

Menyetujui :
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Teknologi Yogyakarta



M. Suparman M.Si. DEA.
NIK. 120905007

SURAT KETERANGAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini :**))

1. Nama : Arief Hermawan, ST.MT.
NIP/NIDN : 111094017
Jabatan Fungsional : Lektor Kepala (400AK)
Bidang Ilmu : Teknik Elektro
Unit Kerja / PT : FST / Universitas Teknologi Yogyakarta
2. Nama : Dr. Suparman , M.Si. DEA
NIP/NIDN : 120905007/0517046902
Jabatan Fungsional : Lektor / III c (200AK)
Bidang Ilmu : Matematika
Unit Kerja / PT : FST / Universitas Teknologi Yogyakarta

Memberikan rekomendasi untuk Karya Ilmiah dengan judul :

Studi Potensi Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro
di Sungai Winongo Kabupaten Sleman

a.n. Saudara tersebut dibawah ini :

- Nama : Joko Sutopo, ST. MT.
NIP/NIDN : 110698027/0503107502
Jabatan Fungsional : Lektor / IIIc (200 AK)
Bidang Ilmu : Elektro
Unit Kerja / PT : Fakultas Sains dan Teknologi(FST) / UTY

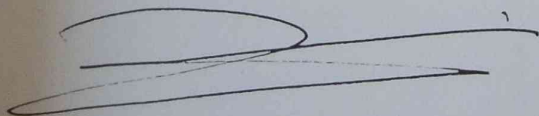
Isi rekomendasi Karya Ilmiah itu sebagai berikut :

- a. Mutu : Amat Baik / Baik / ~~Cukup~~*)
- b. Softifikasi : ~~Amat Baik~~ / Baik / ~~Cukup~~*)
- c. Kemutakhiran : ~~Amat Baik~~ / Baik / ~~Cukup~~*)

Demikian untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

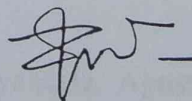
Yogyakarta, 30 Agustus 2008

Yang memberikan rekomendasi



(Arief Hermawan ST. MT.)

NIK :111094017



(Dr. Suparman. M.Si. DEA)

NIK: 120905007

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur dipanjatkan kehadirat Allah SWT, berkat rahmat dan hidayah-Nya sehingga kita bisa selalu beraktivitas, berkarya untuk amal dan kebaikan bagi umat manusia.

Penelitian ini merupakan salah satu perwujudan Tri Dharma Perguruan Tinggi dalam bidang penelitian khususnya pemanfaatan potensi alam yang bisa dikembangkan untuk pembangkit energi listrik alternatif.

Potensi kekayaan alam yang luar biasa yang diberikan oleh Tuhan Yang Maha Kuasa berupa potensi aliran sungai yang sangat melimpah khususnya di Sungai Winongo yang setiap tahun selalu stabil debit air, namun belum dimanfaatkan secara maksimal menjadi dasar dalam mengkaji potensinya untuk studi pengembangan energi listrik khususnya pembangkit listrik tenaga mikro hidro.

Kegiatan penelitian ini tidak akan terlaksana tanpa adanya bantuan dari beberapa pihak. Untuk itu melalui kesempatan ini kami mengucapkan rasa terima-kasih yang sedalam-dalamnya kepada :

1. Bapak Koordinator Kopertis Wilayah V Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.
2. Bapak Bambang Hartadi, Ph.D Rektor Universitas Teknologi Yogyakarta.
3. Bapak Dr. Suparman, M.Si. DEA selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UTY
4. Bapak Priyo Sajarwo Yurianto, SE, M.Si selaku Ketua LPPM Universitas Teknologi Yogyakarta.
5. Semua pihak yang telah memberikan bantuan baik langsung maupun tidak langsung demi lancarnya penelitian ini.

Akhirnya semoga penelitian ini dapat terwujud dan dapat dikembangkan lebih lanjut untuk implementasi dan memberikan manfaat kepada masyarakat.

Yogyakarta, Agustus 2008

Peneliti

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kabupaten Sleman memiliki banyak potensi alam dimana secara geografis merupakan daerah yang memiliki aliran sungai yang mengalir dari mata air gunung Merapi. Sungai-sungai yang mengalir ini memberikan suatu penghidupan dan harapan bagi masyarakat yang daerahnya dialiri oleh sungai ini. Sungai ini membelah berbagai kota di Daerah Istimewa Yogyakarta yang meliputi Bantul, Kotamadya Yogyakarta dan Kulon Progo. Berdasarkan data geohidrologi di Kabupaten Sleman sungai-sungai yang ada dipakai untuk mengairi perairan pertanian dan perikanan di wilayah Sleman. Untuk mengembangkan energi terbarukan dikembangkan berbagai energi alternatif seperti pemanfaatan air sungai untuk mikro hidro, pemanfaatan tenaga angin, pemanfaatan tenaga panas matahari, pemanfaatan biogas dan masih banyak potensi alam yang bisa dikembangkan untuk mengantisipasi krisis energi dan mengembangkan potensi alam di Kabupaten Sleman.

Dewasa ini energi listrik sudah menjadi kebutuhan pokok bagi umat manusia. Kemajuan suatu negara dapat diukur dari tingkat pemakaian energi listriknya. Seiring perkembangan zaman maka kebutuhan akan energi listrik sudah kian mendesak, bukan hanya untuk masyarakat perkotaan saja tetapi masyarakat pedesaan juga sangat memerlukan energi listrik untuk keperluan sehari-hari. Di sisi lain, negara yang dalam hal ini Perusahaan Listrik Negara (PLN) dalam memenuhi kebutuhan listrik kepada masyarakat selama ini mempunyai kendala besar yaitu masih kurang meratanya pasokan listrik khususnya daerah-daerah pedesaan yang sulit dijangkau (daerah terisolir). Jauhnya beban listrik yang berada di pedesaan menyebabkan kurang ekonomis jika harus dibangun infra struktur di pedesaan, sementara pemakai listriknya tidak banyak.

Salah satu cara untuk mengatasinya adalah dengan membangun pembangkit listrik lokal skala kecil yang dimanfaatkan khusus untuk daerah tersebut. Satu diantaranya adalah pembangkit listrik tenaga mikro hidro, karena seperti diketahui bahwa Indonesia yang terletak di daerah tropis mempunyai potensi air yang besar yang

dimanfaatkan untuk pembangkit tenaga listrik. selain itu bahwa Indonesia adalah negara agraris yang dalam pengelolaannya banyak menggunakan sistem pengairan atau irigasi. Irigasi ini selain untuk keperluan pertanian dan perikanan juga dapat dimanfaatkan untuk membangkitkan energi listrik bagi masyarakat pedesaan. Pembangkit listrik ini dikenal sebagai pembangkit listrik tenaga mikro hidro, karena dalam pembangkitan energi listriknya menggunakan tenaga hidro atau air tetapi dalam skala kecil (mikro).

Penggunaan pembangkit listrik tenaga mikro hidro selain membantu membangkitkan energi listrik khususnya bagi masyarakat pedesaan juga mempunyai kelebihan yaitu sumber daya yang digunakan yaitu air merupakan sumber daya yang terbarukan dan gratis, disamping itu juga tidak menimbulkan pencemaran lingkungan, sehingga dapat dikatakan bahwa pembangkit listrik tenaga mikro hidro adalah pembangkit listrik yang ekonomis dan ramah lingkungan. Berdasar potensi tersebut yang cukup banyak, kita mengambil penelitian dan aplikasi penelitian di daerah aliran kawasan Sungai Winonggo yang mengalir dari lereng Gunung Merapi di Kabupaten Sleman, Sungai Winonggo memiliki saluran sungai yang debit airnya selalu mengalir sepanjang tahun, maka kita mencoba untuk melakukan pengkajian dan pengujian untuk mengembangkan suatu pembangkit listrik skala mikro yang bisa diimplementasikan untuk energi listrik yang bisa membantu masyarakat di wilayah sepanjang Sungai Winonggo.

1.2. Rumusan Masalah

Bagaimana menentukan suatu lokasi atau kawasan aliran sungai memiliki potensi untuk dikembangkan suatu pembangkit listrik tenaga mikro hidro dengan melakukan berbagai percobaan parameter terhadap kondisi aliran sungai.

1.3. Maksud dan Tujuan

Maksud dilaksanakan penelitian ini adalah memberikan manfaat pengembangan investasi energi listrik alternatif dengan mengembangkan Sungai Winonggo untuk dikembangkan potensi sebagai sumber Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) skala Mikro Hidro (PLTMH).

Tujuan yang hendak dicapai dari kegiatan ini memberikan studi referensi potensi pengembangan pembangkit listrik tenaga mikro hidro di sungai Winonggo yang mengalir dari Kabupaten Sleman.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah membuat suatu identifikasi apakah daerah tersebut bisa dikembangkan untuk pembangkit listrik tenaga mikro hidro dilihat dari sisi debit air, kontour tanah, kondisi sungai dan kebutuhan masyarakat, khususnya dialiran sungai Winonggo yang melintasi Kabupaten Sleman .

BAB II

METODE PENELITIAN DAN BAHAN PENELITIAN

2.1. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini dilakukan langkah-langkah yang meliputi studi pustaka, ujicoba potensi perangkat pembangkit listrik, dan analisis. Antara langkah yang satu dengan yang lain saling terkait dan tidak dipisah-pisahkan. Untuk lebih jelasnya langkah-langkah tersebut adalah sebagai berikut.

1. Studi Pustaka

Hal ini dilakukan untuk mendapatkan dasar teori, dasar pemikiran, serta gambaran umum dari sistem yang dibutuhkan sesuai bidang penelitian. Studi pustaka ini dilakukan dengan menggunakan sarana-sarana buku-buku, jurnal-jurnal, literatur-literatur, artikel-artikel ilmiah, beserta yang informasi-informasi lain.

2. Ujicoba potensi perangkat Pembangkit listrik

Pada langkah ini dilakukan ujicoba pembangkit listrik tenaga mikro hidro. Dari percobaan ini dilakukan pengukuran, design konstruksi dan ujicoba implementasi pembangkit listrik mikro hidro yang lokasinya memenuhi syarat dalam ujicoba.

3. Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dilakukan melalui survey yang meliputi survey lapangan dan survey data sekunder. Survey ini meliputi survey lokasi, survey data wilayah, kondisi sungai, pengecekan berbagai lokasi sungai Winonggo.

4. Analisis

Analisis dilakukan untuk evaluasi berbagai titik – titik ujicoba setelah dilakukannya implementasi pengujian pembangkit listrik tenaga mikro hidro di Sungai Winonggo. Disamping juga menganalisis bagaimana kinerja dari pembangkit listrik tenaga mikro hidro tersebut untuk data-data spesifikasi debit air, turbin mikro hidro, dan generator, apakah telah benar-benar memberikan output seperti yang diinginkan sehingga dapat melayani beban listrik dalam hal ini untuk konsumsi rumah tangga masyarakat.

2.2 Bahan dan Alat Penelitian

Bahan atau materi yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- 1) Data sungai dengan debit airnya.
- 2) Data bentuk konstruksi sungai dan turbin
- 3) Data spesifikasi turbin mikro hidro.
- 4) Data spesifikasi generator listrik.
- 5) Data beban listrik yang mungkin disuplai.

Sedangkan Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- 1) Perangkat turbin untuk penggerak pembangkit
- 2) Generator penmangkit skala mikro.
- 3) Batu Baterei
- 4) Alat –alat ukur listrik dan komponen elektris yang diperlukan
- 5) Peralatan untuk bahan konstruksi antara lain peralon, semen dan lain-lain

3.1 Energi Hidro

Potensi tenaga air dan pemanfaatannya pada umumnya berbeda-beda jika dibandingkan dengan penggunaan tenaga yang lain misalnya bahan bakar fosil. Hal ini dikarenakan antara lain:

1. Sumber tenaga air secara teratur dibangkitkan kembali karena proses pemanasan lautan oleh penyinaran matahari, sehingga merupakan suatu sumber yang secara siklis diperbaharui. Oleh karena itu tenaga air disebut sebagai suatu sumber energi yang terbarukan.
2. Potensi tenaga air secara keseluruhan relatif kecil jika dibandingkan dengan jumlah sumber bahan bakar fosil, sekalipun misalnya seluruh potensi tenaga air ini dapat dikembangkan sepenuhnya.
3. Penggunaan tenaga air pada umumnya merupakan pemanfaatan multiguna, karena biasanya dikaitkan dengan irigasi, pengendalian banjir, perikanan, rekreasi, dan navigasi. Bahkan sering terjadi bahwa pembangkitan tenaga listrik hanya merupakan manfaat sampingan, misalnya dengan irigasi atau pengendalian banjir sebagai penggunaan utama.
4. Pembangkitan tenaga listrik dari tenaga air dilakukan tanpa ada perubahan temperatur. Dalam hal ini tidak ada peningkatan temperatur yang dikarenakan adanya suatu proses pembakaran bahan bakar. Karenanya mesin hidro mempunyai masa manfaat yang biasanya lebih lama dibandingkan mesin-mesin thermis.

BAB III

DASAR TEORI

Dewasa ini energi listrik sudah menjadi kebutuhan pokok bagi umat manusia. Kemajuan suatu negara dapat diukur dari tingkat pemakaian energi listriknya. Seiring perkembangan zaman maka kebutuhan akan energi listrik sudah kian mendesak, bukan hanya untuk masyarakat perkotaan saja tetapi masyarakat pedesaan juga sangat memerlukan energi listrik untuk keperluan sehari-hari. Di sisi lain, negara yang dalam hal ini perusahaan listriknya yaitu PT. PLN (Persero) dalam memenuhi kebutuhan listrik kepada masyarakat selama ini mempunyai kendala besar yaitu masih kurang meratanya pasokan listrik khususnya daerah-daerah pedesaan yang sulit dijangkau (daerah terisolir). Jauhnya beban listrik yang berada di pedesaan menyebabkan kurang ekonomis jika harus dibangun infra struktur di pedesaan, sementara pemakai listriknya tidak banyak.

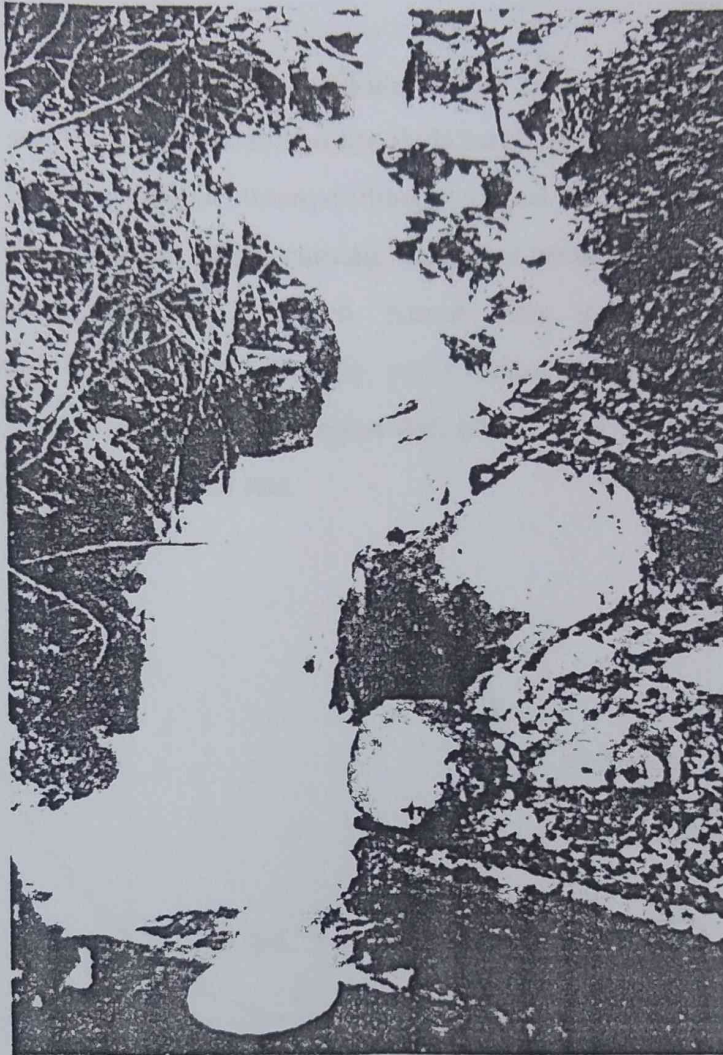
Salah satu cara untuk mengatasinya adalah dengan membangun pembangkit listrik lokal skala kecil yang dimanfaatkan khusus untuk daerah tersebut. Satu diantaranya adalah pembangkit listrik tenaga mikro hidro, karena seperti diketahui bahwa Indonesia yang terletak di daerah tropis mempunyai potensi air yang besar yang dimanfaatkan untuk pembangkit tenaga listrik. Selain itu bahwa Indonesia adalah negara agraris yang dalam pengelolaannya banyak menggunakan sistem pengairan atau irigasi. Irigasi ini selain untuk keperluan pertanian juga dapat dimanfaatkan untuk membangkitkan energi listrik bagi masyarakat pedesaan. Pembangkit listrik ini dikenal sebagai pembangkit listrik tenaga mikro hidro, karena dalam pembangkitan energi listriknya menggunakan tenaga hidro tetapi dalam skala kecil (mikro).

Penggunaan pembangkit listrik tenaga mikro hidro selain membantu membangkitkan energi listrik khususnya bagi masyarakat pedesaan juga mempunyai kelebihan yaitu sumber daya yang digunakan yaitu air merupakan sumber daya yang terbarukan dan gratis, di samping itu juga tidak menimbulkan pencemaran lingkungan, sehingga dapat dikatakan bahwa pembangkit listrik tenaga mikro hidro adalah pembangkit listrik yang ekonomis dan ramah lingkungan.

3.1 Energi Hidro

Potensi tenaga air dan pemanfaatannya pada umumnya berbeda-beda jika dibandingkan dengan penggunaan tenaga yang lain misalnya bahan bakar fosil. Hal ini dikarenakan antara lain:

1. Sumber tenaga air secara teratur dibangkitkan kembali karena proses pemanasan lautan oleh penyinaran matahari, sehingga merupakan suatu sumber yang secara siklis diperbaharui. Oleh karena itu tenaga air disebut sebagai suatu sumber energi yang terbarukan.
2. Potensi tenaga air secara keseluruhan relatif kecil jika dibandingkan dengan jumlah sumber bahan bakar fosil, sekalipun misalnya seluruh potensi tenaga air ini dapat dikembangkan sepenuhnya.
3. Penggunaan tenaga air pada umumnya merupakan pemanfaatan multiguna, karena biasanya dikaitkan dengan irigasi, pengendalian banjir, perikanan, rekreasi, dan navigasi. Bahkan sering terjadi bahwa pembangkitan tenaga listrik hanya merupakan manfaat sampingan, misalnya dengan irigasi atau pengendalian banjir sebagai penggunaan utama.
4. Pembangkitan tenaga listrik dari tenaga air dilakukan tanpa ada perubahan temperatur. Dalam hal ini tidak ada peningkatan temperatur yang dikarenakan adanya suatu proses pembakaran bahan bakar. Karenanya mesin hidro mempunyai masa manfaat yang biasanya lebih lama dibandingkan mesin-mesin thermis.

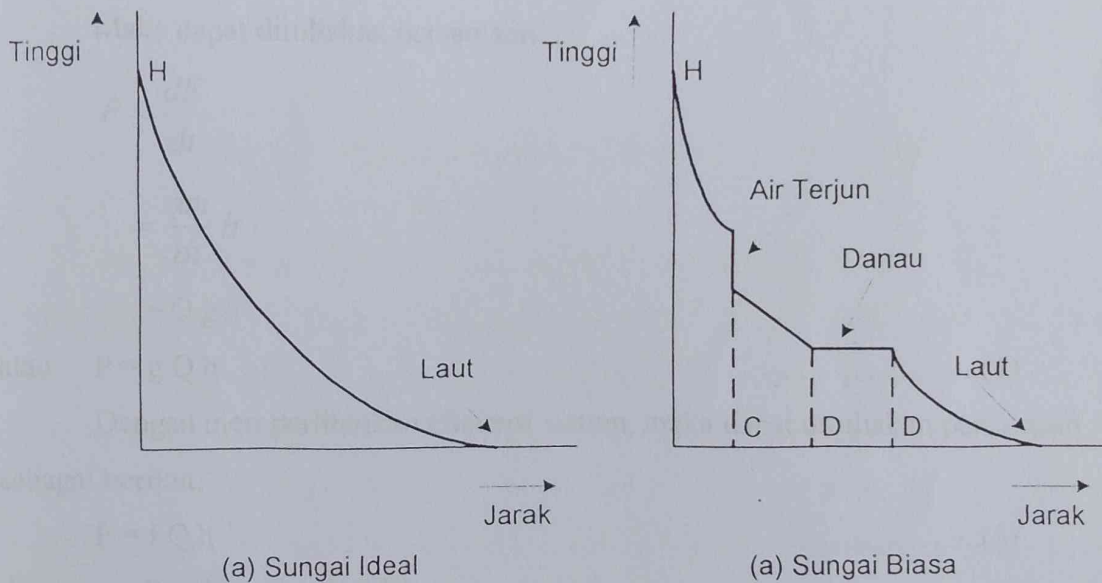


Gambar 3.1. Aliran sungai yang berpotensi untuk dikembangkan pembangkit listrik tenaga mikro hidro.

Pada dasarnya dapat dikemukakan adanya tiga faktor utama dalam penentuan pemanfaatan suatu potensi sumber tenaga air untuk pembangkitan tenaga listrik, yaitu:

- a. Jumlah air yang tersedia, yang merupakan fungsi dari jatuh hujan,
- b. Tinggi terjun yang dapat dimanfaatkan, yang tergantung dari topografi daerah tersebut, dan
- c. Jarak lokasi yang dapat dimanfaatkan terhadap adanya pusat-pusat beban atau jaringan transmisi.

Gambar 2 memperlihatkan lengkung tinggi sebuah sungai sebagai fungsi jarak terhadap sumber atau awal sungai itu. Pada awal sungai (pada jarak nol), tinggi sungai adalah H. Lengkung (a) memperlihatkan fungsi tersebut dari sebuah sungai yang ideal, yang menuruni lereng gunung menurun secara beraturan. Akan tetapi dalam kenyataannya tidaklah demikian. Kurva yang terbentuk biasanya lebih mendekati bentuk menurut lengkung (b), yaitu bentuk sebuah sungai biasa, yang pada titik C mempunyai sebuah air terjun dan pada titik D sebuah danau. Sungai pada akhirnya akan bermuara di laut.



Gambar 3.2. Tinggi sungai sebagai fungsi jarak.

Sebagaimana diketahui dalam ilmu fisika, bahwa setiap benda yang berada di atas permukaan bumi mempunyai energi potensial yang memenuhi persamaan berikut:

$$E = m g h \dots\dots\dots(1)$$

dengan, E = energi potensial (joule)

m = massa (kg)

g = percepatan gravitasi bumi (9,8 m/s²)

h = tinggi relatif terhadap permukaan bumi (m)

Dari persamaan (1) di atas dapat ditulis persamaan:

$$dE = dm g h \dots\dots\dots(2)$$

dengan, dE merupakan energi yang dibangkitkan oleh elemen massa dm yang melalui jarak h.

Bilamana didefinisikan Q sebagai debit air menurut persamaan berikut:

$$Q = \frac{dm}{dt} \dots\dots\dots(3)$$

dengan, Q = debit air (m³/s)
dm = elemen massa air
dt = elemen waktu

Maka dapat dituliskan persamaan:

$$\begin{aligned} P &= \frac{dE}{dt} \\ &= \frac{dm}{dt} h \\ &= Q g h \end{aligned}$$

atau, $P = g Q h \dots\dots\dots(4)$

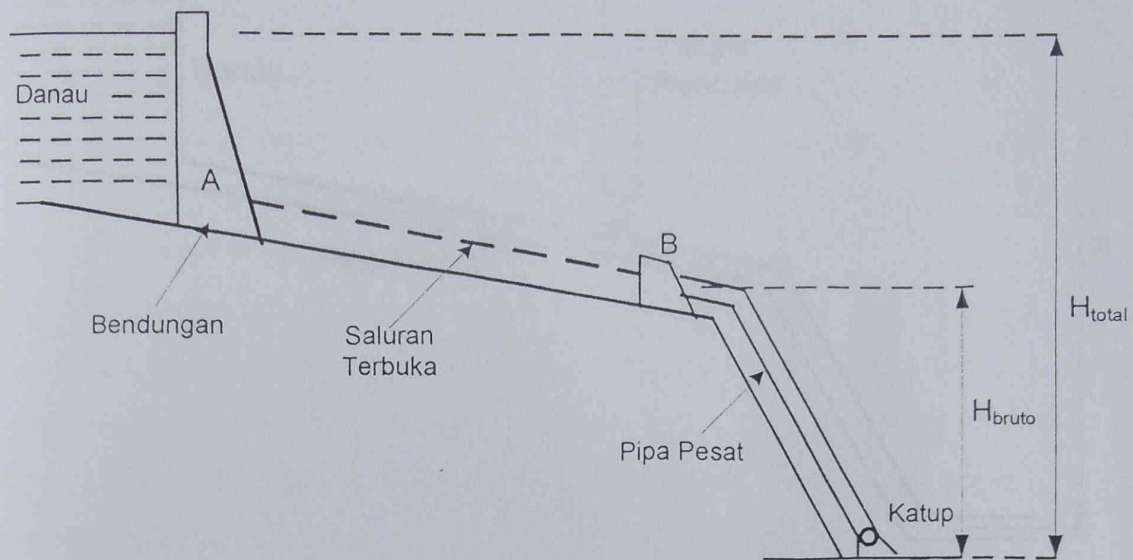
Dengan memperhatikan efisiensi sistem, maka dapat dituliskan persamaan sebagai berikut:

$$P = f Q h \dots\dots\dots(5)$$

dengan, P = daya listrik (kW)
Q = debit air (m³/s)
h = tinggi terjun (m)
f = faktor efisiensi (antara 0,7 dan 0,8).

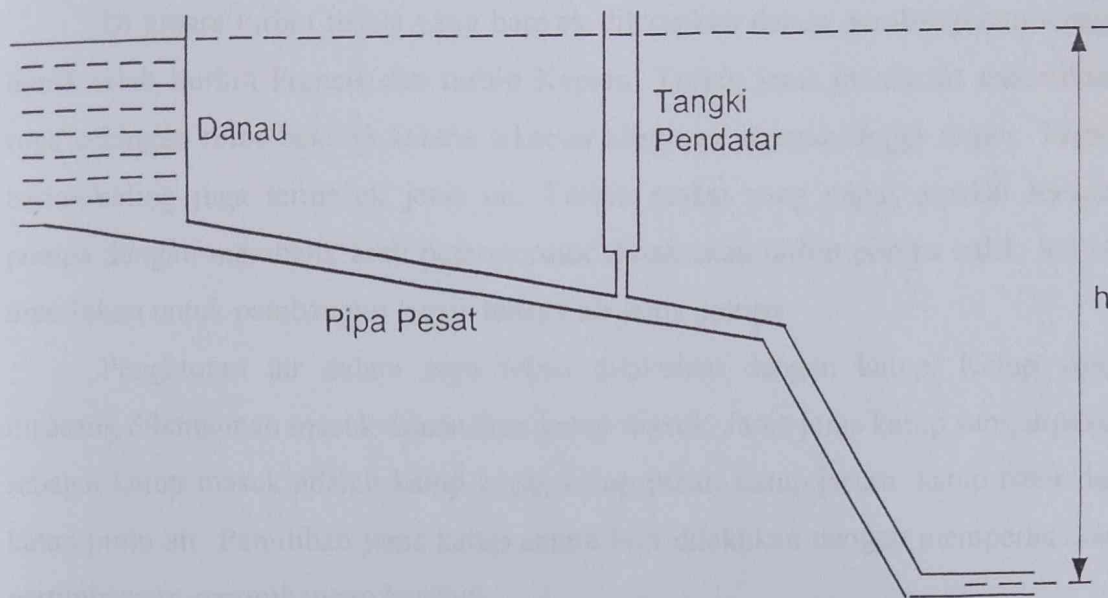
Diantara data-data primer yang diperlukan untuk suatu survei dapat disebutkan sebagai berikut:

- a. Jumlah energi yang secara teori dapat diperoleh setahun dalam kondisi-kondisi tertentu di musim hujan dan musim kering.
- b. Jumlah daya pusat listrik yang akan dipasang, dengan memperhatikan apakah pusat listrik itu akan dipakai untuk beban dasar atau beban puncak.



Gambar 3.3. Skema danau dengan bendungan dan pipa pesat.

Gambar 3 menunjukkan secara skematis tepi sebuah danau dengan sebuah bendungan besar A. Dari bendungan ini melalui sebuah saluran terbuka dan bendungan ambil air B, air dimasukkan ke dalam pipa tekan, yang membawa air ke turbin air melalui sebuah katup. Untuk mengantisipasi adanya perubahan beban yang mendadak terutama bilamana beban secara tiba-tiba jatuh sehingga dapat menyebabkan kerusakan pada pipa tekan, maka dibuat sebuah tangki pendatar pada pipa tekan tersebut, sebagaimana terlihat pada gambar 4. Di sebelah atas pipa tekan itu ialah terbuka, sedang tepi atasnya terletak lebih tinggi dari permukaan air yang tertinggi. Dengan demikian, bilamana terjadi bahwa beban jatuh secara mendadak, energi kinetik air yang mengalir itu dapat ditampung atau dinetralisir oleh tangki pendatar.



Gambar 3.4. Skema danau dengan tangki pendatar dan pipa pesat.

Di antara jenis-jenis bendungan yang dapat digunakan untuk pembangkit listrik tenaga air ialah bendungan busur, bendungan gravitasi, bendungan urugan, bendungan kerangka baja, dan bendungan kayu. Sedang berdasarkan jenis bendungan urugan dikenal bendungan urugan batu dan bendungan urugan tanah. Bendungan gravitasi pada dasarnya menahan kekuatan-kekuatan luar seperti tekanan air dan sebagainya dengan beratnya dan beban matinya. Kebanyakan bendungan yang digunakan di Indonesia adalah bendungan jenis ini.

Ditinjau dari segi dinamikanya, bendungan busur menahan kekuatan-kekuatan luar terutama dengan aksi kekuatan busur. Dilihat dari struktur dan bentuknya, bendungan busur dapat dibagi dalam jenis jari konstan, jenis sudut konstan, dan jenis kubah. Bendungan rongga memiliki struktur yang dapat menahan gaya luar, pada bidang atau busur berganda dan menyalurkan gaya ini ke pondasi melalui sangganya. Bendungan ini umumnya dibuat dari beton bertulang.

Di antara jenis-jenis turbin air yang diterapkan dalam pembangkitan tenaga listrik adalah turbin impuls dan turbin reaksi. Turbin impuls disebut juga roda pelton. Turbin impuls pada dasarnya terdiri atas sebuah roda dengan mangkuk-mangkuk yang dipasang di pinggir roda. Roda ini berputar karena mendapat tekanan dari semprotan air.

Di antara turbin reaksi yang banyak diterapkan dalam pembangkitan tenaga listrik ialah turbin Francis dan turbin Kaplan. Turbin jenis ini dibuat sedemikian rupa sehingga rotor bekerja karena tekanan aliran air dengan tinggi terjun. Turbin baling-baling juga termasuk jenis ini. Turbin reaksi yang dapat dipakai sebagai pompa dengan membalik arah putaran rotor dinamakan turbin pompa balik, hal ini diperlukan untuk pembangkit listrik tenaga air jenis pompa.

Pengaturan air dalam pipa tekan dilakukan dengan katup. Katup yang dipasang dibangunan masuk dinamakan katup masuk. Jenis-jenis katup yang dipakai sebagai katup masuk adalah katup kupu, katup putar, katup jarum, katup rotor dan katup pintu air. Pemilihan jenis katup antara lain dilakukan dengan memperhatikan pertimbangan-pertimbangan berikut:

- a. Pada waktu diadakan pemeriksaan atau inspeksi dan pembongkaran turbin air, katup masuk memperpendek waktu berhentinya pengaliran air dan tidak mengganggu bekerjanya turbin-turbin air lainnya.
- b. Jika turbin air berhenti, katup masuk mengurangi bocoran air dari turbin air.
- c. Dalam hal tekanan minyak hilang atau ada kesulitan lainnya, katup masuk merupakan pengaman dalam menghentikan turbin.

3.2 Sumber Daya Hidro Dunia

Menurut perkiraan, potensi tenaga air yang dapat diperoleh secara teoritis ialah $48,23 \times 10^{12}$ kWh per tahun, atau 11.011 GW, jika diperhitungkan faktor kapasitas sebesar 50%. Dari jumlah ini potensi secara teknis dapat dikembangkan diperkirakan sebanyak $19,39 \times 10^{12}$ kWh, atau 4.426 GW, atau 40,2%. Jumlah PLTA yang beroperasi dalam tahun 1979 diperkirakan sebanyak 734 GW dengan produksi $3,21 \times 10^{12}$ kWh atau 6,7% dari potensi teoritis.

Tabel 3.1. Perkiraan potensi tenaga hidro dunia

Wilayah	Potensi Teoritis		Potensi Teknis		PLTA Beroperasi		Dalam Konstruksi		Direncanakan	
	10 ¹² kWh	GW	10 ¹² kWh	GW	10 ¹² kWh	GW	10 ¹² kWh	GW	10 ¹² kWh	GW
Afrika	10,12	2310	3,13	717	0,151	35	0,047	11	0,201	46
Amerika Utara	6,15	1404	3,12	712	1,129	258	0,303	69	0,342	78
Amerika Latin	5,67	1295	3,78	863	0,299	68	0,355	81	0,809	185
Asia	16,49	3765	5,34	1219	0,465	106	0,080	18	0,368	84
Oseania,	1,50	342	0,39	89	0,059	14	0,020	5	0,032	7
Australia	4,36	995	1,43	326	0,842	192	0,094	22	0,197	45
Eropa	3,49	899	2,19	500	0,265	61	0,910	44	0,170	39
<i>Jumlah</i>	48,23	11011	19,39	4426	3,210	734	1,090	250	2,119	484
<i>Prosentase</i>	100	-	40,2	-	6,7	-	2,3	-	4,4	-

Sumber: WEC, *Survey of Energy Resources*, 1980.

Tabel 1 memperlihatkan angka-angka potensi teoritis, potensi teknis, PLTA yang sudah beroperasi, PLTA dalam konstruksi, dan PLTA yang direncanakan, dalam 10¹² kWh per tahun dan GW, dengan asumsi faktor kapasitas 50% untuk wilayah-wilayah Afrika, Amerika Utara, Amerika Latin, Asia, Oseania, Australia, dan Eropa. Dari tabel tersebut dapat dilihat baik potensi teoritis maupun potensi teknis terbesar terdapat di Asia. Akan tetapi jumlah PLTA yang beroperasi terbanyak adalah di Amerika Utara dan Eropa. Untuk potensi dalam konstruksi maupun dalam perencanaan terlihat terbesar di Amerika Latin.

3.3 Sumber Daya Hidro di Indonesia

Indonesia termasuk negara yang memiliki sumber daya tenaga air yang cukup besar. Menurut studi yang dilakukan tahun 1983 (tabel 2) seluruh sumber daya tenaga air di Indonesia berjumlah 75,1 MW. Namun dari sumber daya tersebut sekitar 4000 MW merupakan cadangan yang pasti. Dari tabel tersebut terlihat bahwa potensi terbesar terdapat di pulau-pulau Sumatera, Kalimantan, dan Irian Jaya, yang sebagian besar masih terletak jauh dari pusat-pusat beban.

Tabel 3.2. Perkiraan potensi tenaga hidro di Indonesia (*dalam 10³ MW*).

Wilayah	LMK 1968	INC-WEC 1974	HPPS 1983
Sumatera	6,0	6,8	15,6
Kalimantan	6,0	7,0	21,6
Jawa	0,7	4,2	-
Sulawesi	5,3	5,6	10,2
Irian Jaya	9,5	9,0	22,4
Wilayah lain	0,2	0,2	1,1
<i>Total</i>	27,7	31,1	75,1

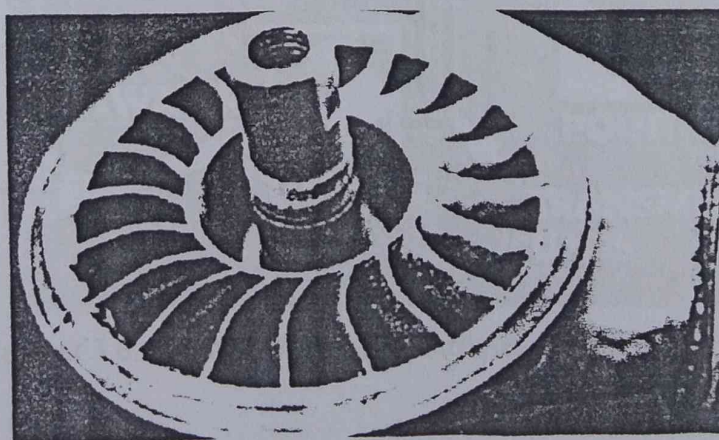
Sumber: Notodihardjo, M, "Peranan Tenaga Air dalam Suatu Pola Terpadu Pengembangan Wilayah Sungai dan Daerah Aliran Sungai", Lokakarya Energi, Komite Nasional Indonesia, World energy Conference, Jakarta, 21-24 Juli 1987.

3.4 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro

Dewasa ini pemanfaatan sumber daya yang terbarukan untuk keperluan pembangkit listrik misalnya tenaga hidro menjadi pilihan yang tidak bisa ditawar lagi. Hal ini dikarenakan oleh beberapa faktor utama diantaranya:

1. Energi hidro merupakan sumber daya yang tidak akan habis selama dunia ini ada, dengan kata lain bahwa tenaga hidro adalah sumber energi yang terbarukan.
2. Pemanfaatan tenaga hidro tidak membutuhkan biaya pembelian bahan bakar seperti halnya bahan bakar fosil (misalnya bahan bakar minyak dan batubara), sehingga dari segi ekonomi sangat menguntungkan.
3. Proses pembangkitan energi listrik menggunakan tenaga hidro praktis tidak menimbulkan bahaya pencemaran lingkungan dibandingkan jika menggunakan bahan bakar fosil.

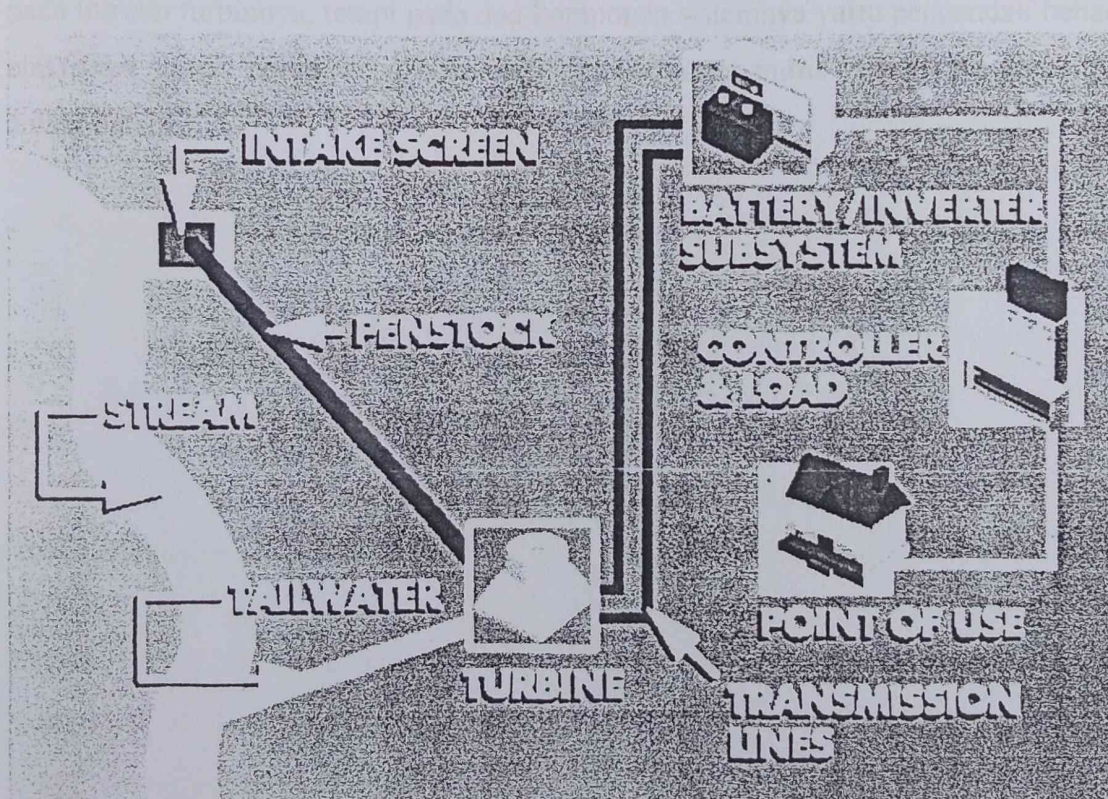
Potensi air khususnya sungai yang berada di Indonesia masih banyak yang belum dimanfaatkan. Padahal air sungai dengan alirannya berpotensi untuk membangkitkan energi listrik khususnya untuk daerah sekitar yang belum mendapatkan pasokan listrik dari PLN.



Gambar 3.5. Turbin mikro hidro jenis Turgo

Seperti diketahui bahwa negara Indonesia adalah negara agraris yang sebagian besar penduduknya bermata pencaharian sebagai petani. Dalam mengelola

lahan pertaniannya banyak digunakan pengairan (irigasi). Sistem pengairan atau irigasi ini juga sebenarnya selain untuk mengairi lahan pertanian juga dapat digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Hal ini perlu dikembangkan karena untuk daerah-daerah pedesaan yang sangat jauh dari pusat-pusat pembangkit listrik yang dimiliki PLN, biasanya pemerintah mengalami kesulitan dalam memasok listrik ke daerah-daerah tersebut. Hal ini terutama karena pertimbangan ekonomi. Guna mengatasinya, perlu diterapkan beberapa langkah nyata yaitu membuat pembangkit listrik skala kecil yang tidak harus tergantung dari pasokan listrik PLN, misalnya pembangkit listrik tenaga mikro hidro, pembangkit listrik tenaga angin, dan pembangkit listrik tenaga surya.



Gambar 3.6. Skema pembangkit listrik tenaga mikro hidro.

Pembangkit listrik tenaga mikro hidro pada dasarnya adalah pembangkit listrik tenaga air (PLTA) tetapi dalam skala kecil, sehingga kapasitas pembangkitannya juga terbatas. Biasanya kapasitas pembangkitan tenaga listrik

yang digolongkan ke dalam pembangkit listrik tenaga mikro hidro berkisar 1 hingga 2000 kW.

Perlengkapan yang dibutuhkan dalam membangun instalasi pembangkit listrik tenaga mikro hidro diantaranya adalah bendungan yang digunakan sebagai pengatur air, pipa penstok, turbin air, generator, transformator, peralatan kendali, peralatan proteksi, dan baterai jika dibutuhkan sebagai penyimpan. Secara garis besar skema pembangkit listrik tenaga mikro hidro diberikan dalam gambar 6.

Tergantung kepada kapasitas generator yang digunakan, maka dengan pembangkit listrik tenaga mikro hidro dapat dibangkit tenaga listrik 1 fase atau 3 fase. Dalam prakteknya, perbaikan pembangkit listrik mikro hidro bukan terletak pada inovasi turbinnya, tetapi pada dua komponen sistemnya yaitu pengendali beban elektronik untuk sistem arus bolak-balik dan inverter untuk sistem penyimpanan dalam baterai.

BAB IV

ANALISIS POTENSI SUNGAI WINONGO

4.1. Analisis Lokasi Untuk PLTMH

Mikrohidro adalah istilah yang digunakan untuk instalasi pembangkit listrik yang menggunakan energi air. Kondisi air yang bisa dimanfaatkan sebagai sumber daya (resources) penghasil listrik adalah memiliki kapasitas aliran dan ketinggian tertentu pada instalasi. Semakin besar kapasitas aliran maupun ketinggiannya dari instalasi maka semakin besar energi yang bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik.

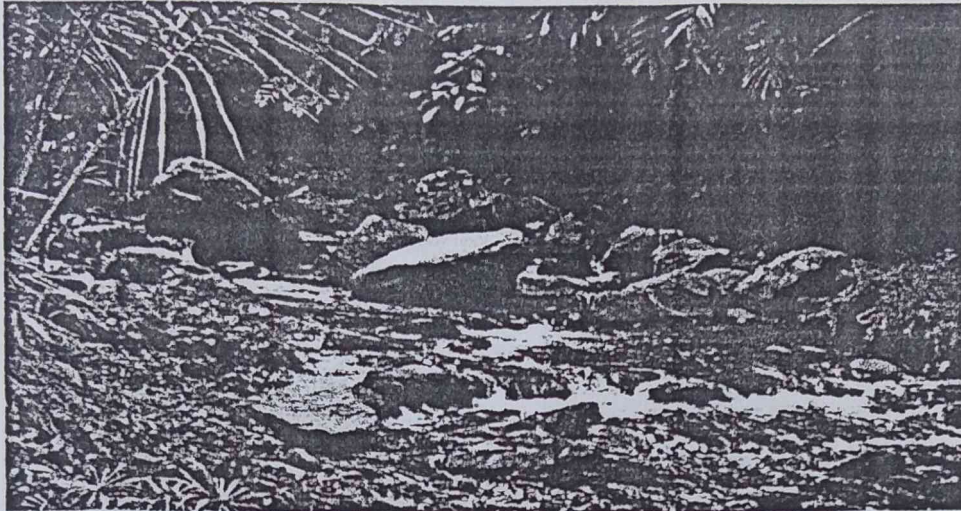
Biasanya Mikrohidro dibangun berdasarkan kenyataan bahwa adanya air yang mengalir di suatu daerah dengan kapasitas dan ketinggian yang memadai. Istilah kapasitas mengacu kepada jumlah volume aliran air persatuan waktu (*flow capacity*) sedangkan beda ketinggian daerah aliran sampai ke instalasi dikenal dengan istilah head. Mikrohidro juga dikenal sebagai white resources dengan teluemanan bebas bisa dikatakan "*energi putih*". Dikatakan demikian karena instalasi pembangkit listrik seperti ini menggunakan sumber daya yang telah disediakan oleh alam dan ramah lingkungan. Suatu kenyataan bahwa alam memiliki air terjun atau jenis lainnya yang menjadi tempat air mengalir. Dengan teknologi sekarang maka energi aliran air beserta energi perbedaan ketinggiannya dengan daerah tertentu (tempat instalasi akan dibangun) dapat diubah menjadi energi listrik, seperti dikatakan di atas, Mikrohidro hanyalah sebuah istilah. Mikro artinya kecil sedangkan hidro artinya air. Dalam, prakteknya istilah ini tidak merupakan sesuatu yang baku namun bisa dibayangkan bahwa Mikrohidro, pasti menggunakan air sebagai sumber energinya.

Yang membedakan antara istilah Mikrohidro dengan Minihidro adalah output daya yang dihasilkan. Mikrohidro menghasilkan daya lebih rendah dari 100 W, sedangkan untuk minihidro daya keluarannya berkisar antara 100 sampai 5000 W. Secara teknis, Mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sumber energi), turbin dan generator. Air yang mengalir dengan kapasitas tertentu disalurkan dan ketinggian tertentu menuju rumah instalasi (rumah turbin). Di rumah instalasi air tersebut akan

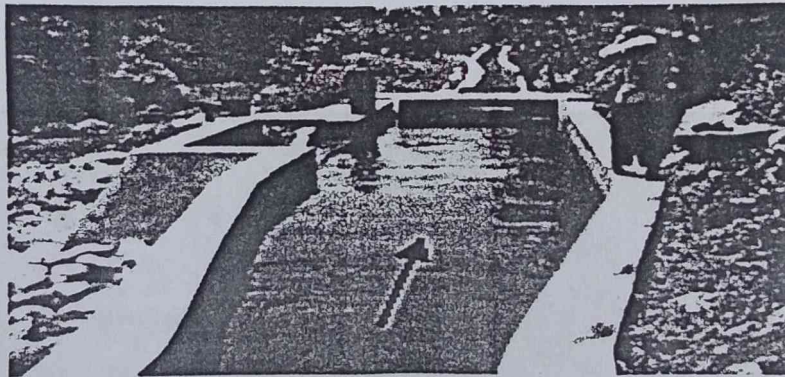
menumbuk turbin dimana turbin sendiri, dipastikan akan menerima energi air tersebut dan mengubahnya menjadi energi mekanik berupa berputarnya poros turbin. Poros yang berputar tersebut kemudian ditransmisikan ke generator dengan menggunakan kopling. Dari generator akan dihasilkan energi listrik yang akan masuk ke sistem kontrol arus listrik sebelum dialirkan ke rumah-rumah atau keperluan lainnya (beban). Begitulah secara ringkas proses Mikrohidro merubah energi aliran dan ketinggian air menjadi energi listrik.

Terdapat sebuah peningkatan kebutuhan suplai daya ke daerah-daerah pedesaan di sejumlah negara, sebagian untuk mendukung industri-industri, dan sebagian untuk menyediakan penerangan di malam hari. Kemampuan pemerintah yang terhalang oleh biaya yang tinggi dari perluasan jaringan listrik, sering membuat Mikro Hidro memberikan sebuah alternatif ekonomi ke dalam jaringan. Ini karena Skema Mikro Hidro yang mandiri menghemat biaya dari jaringan transmisi, dan karena skema perluasan jaringan sering memerlukan biaya peralatan dan pegawai yang mahal. Dalam kontrak, Skema Mikro Hidro dapat didisain dan dibangun oleh pegawai lokal dan organisasi yang lebih kecil dengan mengikuti peraturan yang lebih longgar dan menggunakan teknologi lokal seperti untuk pekerjaan irigasi tradisional atau mesin-mesin buatan lokal. Pendekatan ini dikenal sebagai Pendekatan Lokal.

Dalam Penelitian ini lokasi yang dijadikan sebagai analisis penelitian berada di sebelah timur Kampus Universitas Teknologi Yogyakarta tepatnya berada didesa Nganti Ngemplak Sendangadi Sleman Yogyakarta. Adapun aliran sungai seperti terlihat dalam gambar 4.1 dibawah ini. Dari analisis lokasi terlihat aliran sungai memiliki debit air yang stabil selama 2 musim baik musim kering dan musim penghujan, disamping juga memiliki ketinggian atau head yang cukup tinggi sekitar 3 sampai 4 meter dengan terjunan air yang cukup kuat untuk menggerakkan turbin. Dari sini diharapkan bisa dilakukan lay out atau tata letak pembangkit listrik tenaga air dengan skala mikrohidro.



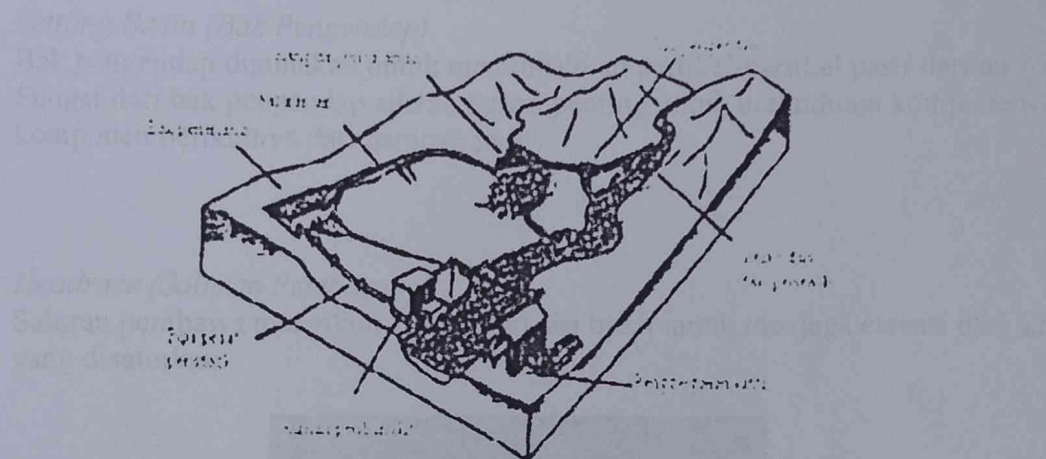
Gambar 4.1 Lokasi Aliran Sungai Winongo



Gambar 4.2 Aliran Anak Irigasi dari Sungai Winongo

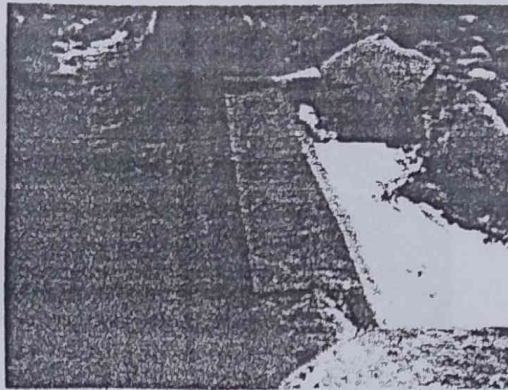
4.2 . Komponen-komponen Pembangkit Listrik Mikro Hidro

Dalam membangun pembangkit listrik skala mikro hidro terbagi dalam berbagai komponen-komponen yang akan mempengaruhi proses aliran listrik. Yaitu :



Gambar 4.5 Lay Out PLTMH

- *Diversion Weir dan Intake (Dam Bendungan Pengalih dan Intake)*
Dam pengalih berfungsi untuk mengalihkan air melalui sebuah pembuka di bagian sisi sungai ('Intake' pembuka) ke dalam sebuah bak pengendap (Settling Basin).

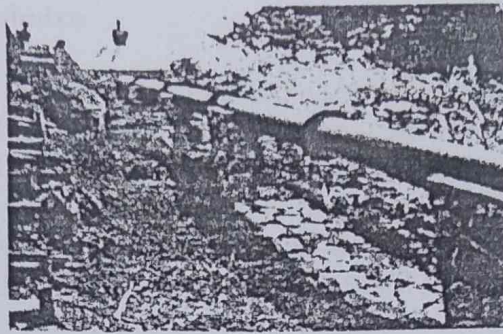


- *Settling Basin (Bak Pengendap)*
Bak pengendap digunakan untuk memindahkan partikel-partikel pasir dari air. Fungsi dari bak pengendap adalah sangat penting untuk melindungi komponen-komponen berikutnya dari dampak pasir.

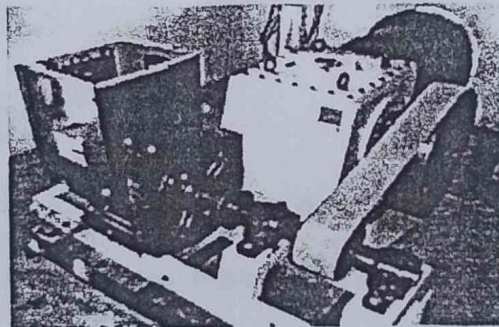
- *Headrace (Saluran Pembawa)*
Saluran pembawa mengikuti kontur dari sisi bukit untuk menjaga elevasi dari air yang disalurkan.



- *Headtank (Bak Penenang)*
Fungsi dari bak penenang adalah untuk mengatur perbedaan keluaran air antara sebuah penstock dan headrace, dan untuk pemisahan akhir kotoran dalam air seperti pasir, kayu-kayuan.
- *Penstock (Pipa Pesat/Penstock)*
Penstock dihubungkan pada sebuah elevasi yang lebih rendah ke sebuah roda air, dikenal sebagai sebuah Turbin.



- *Turbine dan Generator (Turbin dan Generator)*

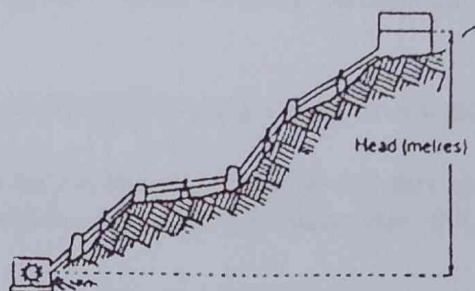


Perputaran gagang dari roda dapat digunakan untuk memutar sebuah alat mekanikal (seperti sebuah penggilingan biji, pemeras minyak, mesin bubut kayu dan sebagainya), atau untuk mengoperasikan sebuah generator listrik. Mesin-mesin atau alat-alat, dimana diberi tenaga oleh skema hidro, disebut dengan 'Beban' (Load).

Tentu saja ada banyak variasi pada penyusunan disain ini. Sebagai sebuah contoh, air dimasukkan secara langsung ke turbin dari sebuah saluran tanpa sebuah penstock seperti yang terlihat pada penggergajian kayu di diatas. Tipe ini adalah metode paling sederhana untuk mendapatkan tenaga air tetapi belakangan ini tidak digunakan untuk pembangkit listrik karena efisiensinya rendah. Kemungkinan lain adalah bahwa saluran dapat dihilangkan dan sebuah penstock dapat langsung ke turbin dari bak pengendap pertama. Variasi seperti ini akan tergantung pada karakteristik khusus dari lokasi dan skema keperluan-keperluan dari pengguna.

4.2 Teknologi Mikrohidro

Sebuah skema hidro memerlukan dua hal yaitu debit air dan ketinggian jatuh (biasa disebut 'Head') untuk menghasilkan tenaga yang bermanfaat. Ini adalah sebuah sistem konversi tenaga, menyerap tenaga dari bentuk ketinggian dan aliran, dan menyalurkan tenaga dalam bentuk daya listrik atau daya gagang mekanik. Tidak ada sistem konversi daya yang dapat mengirim sebanyak yang diserap dikurangi sebagian daya hilang oleh sistem itu sendiri dalam bentuk gesekan, panas, suara dan sebagainya.



Head adalah ketinggian vertikal dimana air jatuh.

Persamaan konversinya adalah:

Daya yang masuk = Daya yang keluar + Kehilangan (Loss)
atau

Daya yang keluar = Daya yang masuk \times Efisiensi konversi

Persamaan di atas biasanya digunakan untuk menggambarkan perbedaan yang kecil. Daya yang masuk, atau total daya yang diserap oleh skema hidro, adalah daya kotor, P_{gross} . Daya yang manfaatnya dikirim adalah daya bersih, P_{net} . Semua efisiensi dari skema gambar di atas disebut E_o .

$$P_{net} = P_{gross} \times E_o \text{ kW}$$

Daya kotor adalah head kotor (H_{gross}) yang dikalikan dengan debit air (Q) dan juga dikalikan dengan sebuah faktor ($g = 9.8$), sehingga persamaan dasar dari pembangkit listrik adalah :

$$P_{net} = g \times H_{gross} \times Q \times E_o \text{ kW} \quad (g=9.8)$$

dimana head dalam meter, dan debit air dalam meter kubik per detik (second (s)). Dan E_o terbagi sebagai berikut.

$$E_o = E_{konstruksi sipil} \times E_{penstock} \times E_{turbin} \times E_{generator} \times E_{sistem kontrol} \times E_{jaringan} \times E_{trafo}$$

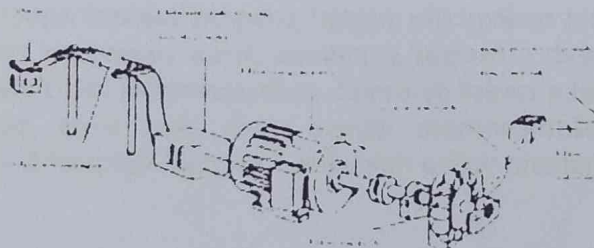
Biasanya

Ekonstruksi sipil	: 1.0 - (panjang saluran × 0.002 ~ 0.005)/ H _{gross}
Epenstock	>: 0.90 ~ 0.95 (tergantung pada panjangnya)
Eturbin	: 0.70 ~ 0.85 (tergantung pada tipe turbin)
Egenerator	: 0.80 ~ 0.95 (tergantung pada kapasistas generator)
Esistem kontrol	>: 0.97
Ejaringan	: 0.90 ~ 0.98 (tergantung pada panjang jaringan)
Etrafo	: 0.98

Ekonstruksi sipil dan Epenstock adalah yang biasa diperhitungkan sebagai 'Head Loss (H_{loss})/kehilangan ketinggian'. Dalam kasus ini, persamaan diatas dirubah ke persamaan berikut.

$$P_{net} = g \times (H_{gross} - H_{loss}) \times Q \times (E_o - E_{konstruksi\ sipil} - E_{penstock}) \text{ kW}$$

Persamaan sederhana ini harus diingat: ini adalah inti dari semua disain pekerjaan pembangkit listrik. Ini penting untuk menggunakan unit-unit yang benar.



Efisiensi sistem yang spesifik untuk sebuah skema yang berjalan pada disain aliran penuh.

4.3 Perencanaan PLTMH

Pemilihan Lokasi dan Lay out Dasar

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) pada dasarnya memanfaatkan energi potensial air (Gatuhan air). Semakin tinggi jatuhan air (*head*) maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik. Di samping faktor geografis yang memungkinkan, tinggi jatuhan air (*head*) dapat pula diperoleh dengan membendung aliran air sehingga permukaan air menjadi tinggi.

Secara umum lay-out sistem PLTMH merupakan pembangkit jenis run off river, memanfaatkan aliran air permukaan (sungai). Komponen sistem PLTMH tersebut terdiri dari bangunan *intake* (penyadap) - bendungan, saluran pembavia, bak pengendap dan penenang, saluran pelimpah, pipa pesat, rumah pembangkit dan saluran pembuangan. Basic lay-out pada perencanaan pengembangan PLTMH dimulai dari penentuan lokasi

intake, bagaimana aliran air akan dibawa ke turbin dan penentuan tempat rumah pembangkit untuk mendapatkan tinggi jatuhnya (*head*) optimum dan aman dari banjir.

- Lokasi bangunan intake

Pada umumnya instalasi PLTMH merupakan pembangkit listrik tenaga air jenis aliran sungai langsung, jarang yang merupakan jenis waduk (bendungan besar). Konstruksi bangunan intake untuk mengambil air langsung dari sungai dapat berupa bendungan (intake dam) yang melintang sepanjang lebar sungai atau langsung membagi aliran air sungai tanpa dilengkapi bangunan bendungan. Lokasi intake harus dipilih secara cermat untuk menghindari masalah di kemudian hari.

- *Kondisi dasar sungai*

Lokasi intake harus memiliki dasar sungai yang relatif stabil, apalagi bila bangunan intake tersebut tanpa bendungan (intake dam). Dasar sungai yang tidak stabil inudah mengalami erosi sehingga permukaan dasar sungai lebih rendah dibandingkan dasar bangunan intake; hal ini akan menghambat aliran air memasuki intake.

Dasar sungai berupa lapisanlempeng batuan merupakan tempat yang stabil. Tempat di mana kemiringan sungainya kecil, umumnya memiliki dasar sungai yang relatif stabil. Pada kondisi yang tidak memungkinkan diperoleh lokasi intake dengan dasar sungai yang relatif stabil dan erosi pada dasar sungai memungkinkan teladi, maka konstruksi bangunan intake dilengkapi dengan bendungan untuk menjaga ketinggian dasar sungai di sekitar intake.

- *Bentuk aliran sungai*

Salah satu permasalahan yang sering terjadi pada instalasi PLTMH adalah kerusakan pada bangunan intake yang disebabkan oleh banjir. Hal tersebut sering terjadi pada intake yang ditempatkan pada sisi luar sungai. Pada bagian sisi luar sungai (b) mudah erosi serta rawan terhadap banjir. Batti-batuan, batang pohon serta berbagai material yang terbawa banjir akan mengarah pada bagian tersebut. Sementara itu bagian sisi dalam sungai (c) merupakan tempat terjadinya pengendapan lumpur dan sedimentasi, sehingga tidak cocok untuk lokasi intake. Lokasi intake yang baik terletak sepanjang bagian sungai yang relatif lurus (a), di mana aliran akan terdorong memasuki intake secara alami dengan membawa beban (bed load) yang kecil.

- Lokasi rumah pembangkit (*power house*)

Pada dasarnya setiap pembangun an mikrohidro berusaha untuk mendapatkan head yang maksimum. Konsekuensinya lokasi rumah pembangkit (*power house*) berada pada tempat yang serendah mungkin. Karena alasan keamanan dan konstruksi, lantai rumah pembangkit harus selalu lebih tinggi dibandingkan permukaan air sungai. Data dan informasi ketinggian permukaan sungai pada waktu banjir sangat diperlukan dalam menentukan lokasi rumah pembangkit.

Selain lokasi rumah pembangkit berada pada ketinggian yang aman, saluran pembuangan air (*tail race*) harus terlindung oleh kondisi alam, seperti batu-batuan besar. Disarankan ujung saluran *tail race* tidak terletak pada bagian sisi luar sungai karena akan mendapat beban yang besar pada saat banjir, serta memungkinkan masuknya aliran air menuju ke rumah pembangkit.

- Lay-out Sistem PLTMH

Lay out sebuah sistem PLTMH merupakan rencana dasar untuk pembangunan PLTMH. Pada lay out dasar digambarkan rencana untuk mengalirkan air dari intake sampai ke saluran pembuangan akhir.

Air dari intake dialirkan ke turbin menggunakan saluran pembawa air berupa kanal dan pipa pesat (*penstock*). Penggunaan pipa pesat memerlukan biaya yang iebih besar dibandingkan pembuatan kanal terbuka, sehingga dalam membuat lay out perlu diusahakan agar menggunakan pipa pesat sependek mungkin. Pada lokasi tertentu yang tidak memungkinkan pembuatan saluran pembawa, penggunaan pipa pesat yang panjang tidak dapat dihindari.

Pendekatan dalam membuat lay out sistem PLTMH adalah sebagai berikut:

Air dari intake dialirkan melalui *penstock* sampai ke turbin. Jalur pemipaan mengikuti aliran air, paralel dengan sungai (*gbr 5.3, long penstock following river*). Metoda ini dapat dipilih seandainya pada medan yang ada tidak memungkinkan untuk dibuat kanal, seperti sisi sungai berupa tebing batuan. Perlu diperhatikan bahwa *penstock* harus aman terhadap banjir.

Perencanaan Sipil

- Saluran penghantar (head race)

Saluran penghantar berfungsi untuk mengalirkan air dari intake sampai ke bak penenang. Perencanaan saluran penghantar berdasarkan pada kriteria:

- Nilai ekonomis yang tinggi
- Efisiensi fungsi
- Aman terhadap tinjauan teknis
- Mudah pengerjaannya
- Mudah pemeliharaannya
- Struktur bangunan yang memadai
- Kehilangan tinggi tekan (head losses) yang kecil

Perencanaan hidrolis

Dimensi saluran dihitung menggunakan formula untuk perhitungan aliran seragam (uniform flow) pada saluran terbuka. Proses perencanaan hidrolis saluran pembawa dilakukan menggunakan software engineering hydraulic Flow Pro. 2. Pada perencanaan ini ditetapkan slope saluran pembawa sebesar 0.001 dengan koefisien Manning 0.012.

1. Kecepatan aliran

Kecepatan aliran pada saluran penghantar direncanakan sedemikian rupa untuk mencegah sedimentasi akibat kecepatan rendah maupun pengerosan tanah akibat kecepatan tinggi. Kecepatan aliran yang diijinkan dalam saluran ditetapkan dengan asumsi ukuran butir material sedimen 0.2 - 0.3 mm

Kecepatan aliran yang diijinkan pada perencanaan ini adalah :

- Kecepatan maksimum : 2 m/det, saluran pasangan batu tanpa plesteran
- Kecepatan minimum : 0.3 m/det, saluran pasangan batu plesteran 0.5 m/det, saluran tanpa pasangan/plesteran

Kecepatan rata aliran yang diijinkan pada perencanaan ini berkisar 0.5 - 0.7 m/det.

Tabel 4.1 Perhitungan Saluran Pembawa, Flow Pro 2

Discharge	Diameter	Manning's n	Slope	Control Depth
0.75	1.2	0.012	0.001	1,000
Normal Depth	XSee Area	Crit. Depth	XSec Area	Flow Type
0,546	0,656	0,342	0,410	Subcritical
Distance	Depth	Energy	Area	Velocity
36,900	0,970	0,991	1,164	0,644
74,486	0,940	0,962	1,128	0,665
112,876	0,909	0,934	1,091	0,687
150,000	0,881	0,907	1,057	0,709

- Bak penenang dan pengendap (head tank)

Konstruksi bak penenang dalam perencanaan ini adalah sebagaimana ditampilkan diatas . Perhitungan dimensi bak penenang dilakukan dengan beberapa kriteria, yaitu :

- Volume bak 10 - 20 kali debit yang masuk untuk menjamin aliran steady di pipa pesat dan mampu meredam tekanan balik pada saat penutupan aliran di pipa pesat.
- Bak penenang direncanakan dengan menetapkan kecepatan vertikal partikel sedimer 0.03 m/det.
- Pipa pesat ditempatkan 15 cm di atas dasar bak penenang untuk menghindarkan masuknya batu atau benda-benda yang tidak diijinkan terbawa memasuki turbin, karena berpotensi merusak runner turbin.
- Pipa pesat ditempatkan pada jarak minimum $4 \times D$ (diameter pipa pesat) dari muka air untuk menjamin tidak terjadi turbulensi dan pusaran yang memungkinkan masuknya udara bersama aliran air di dalam pipa pesat
- Bak penenang dilengkapi trash rack untuk mencegah sampah dan benda-benda yang tidak diinginkan memasuki pipa pesat bersama aliran air.
- Pipa penguras ditempatkan di bak pengendap dan bak penenang sebagai kelengkapan untuk perawatan (pembuangan endapan sedimen).
- Bak penenang diengkapi pelimpas yang direncanakan untuk membuang kelebihan debit pada saat banjir. Bangunan bak penenang dan saluran pembawa direncanakan terjaga ketinggian permukaan pada saat banjir sampai maksimum 25% dari debit desain.
- Konstruksi bak penenang dan pengendap berupa pasangan batu diplester dengan dasar bak berupa cor-an beton tumbuk (tanpa tulangan) kedap air.

- Pipa pesat (penstock)

Pipa pesat (penstock) adalah pipa yang berfungsi untuk mengalirkan air dari bak penenang (forebay tank). Perencanaan pipa pesat mencakup pemilihan material, diameter penstock, tebal dan jenis sambungan (coordination point). Pemilihan material berdasarkan pertimbangan kondisi operasi, aksesibility, berat, sistem penyambungan dan biaya. Diameter pipa pesat dipilih dengan pertimbangan keamanan, kemudahan proses pembuatan, ketersediaan material dan tingkat rugirugi (fiction losses) seminimal mungkin. Ketebalan penstock dipilih untuk menahan tekanan hidrolik dan surge pressure yang dapat terjadi.

- Pemilihan pipa pesat

Data dan asumsi awal perhitungan pipa pesat:

- Material pipa pesat menggunakan plat baja diroll dan dilas (welded rolled steel. Hat ini dipilih sebagai alternatif terbaik untuk mendaotkan biaya terkecil. Material yang digunakan adalah mild steel (St 37) dengan kekuatan cukup.
- Head losses pada sistem pemipaan (penstock) diasumsikan sekitar 4% terhadap head gross.
- Diameter pipa pesat

Diameter minimum pipa pesat dapat dihitung dengan persamaan

$$D = (10.3 n^2 Q^2 L / hf)^{0.1875}$$

Di mana:

n = koefisien kekasaran (roughness) untuk welded steel, 0.012

Q = debit desain sebesar m³/S

L = panjang penstock, m

H = tinggi jatuhnya air (gross head), m

Tabel 4. 2 Material Pipa Pesat

Material	Young's modulus of elasticity E (N/m ²)E9	linear expansion a (n/m QC)E6	Ultimate tensile strength (N/m ²)E6	N
Weleded steel	206	12	400	0.012
Polyethylene	0.55	140	5	0.009
Polyvinyl chloride	2.75	54	13	3,009

(PVC)				
Asbestos cement	n.a	8.1	na	0.011
Cast iron	78.5	10	140	0.014
Ductile iron	16,7	11	340	0.015

- Tebal plat

Perhitungan tebal plat dapat menggunakan persamaan

$$t_p = (P_i \cdot D / 2sf \cdot K_f) + t_s$$

dimana :

t_s = adalah penambahan ketebalan pipa untuk faktor korosi

P_i = tekanan hidrostatik, kN/m^2

D = diameter dalam pipa

K_f = faktor pengelasan sebesar 0.9 untuk pengelasan dengan inspeksi x-ray faktor pengelasan sebesar 0.8 untuk pengelasan biasa

sf = desain tegangan pipa yang diijinkan

Pendekatan paling sederhana menggunakan rekomendasi ASME untuk tebal penstock minimum (mm) adalah 2,5 kali diameter pipa (m) di tambah 1,2 mm.

$$t_{min} = 2.5D + 1.2 \text{ mm}$$

Rekomendasi lain adalah

$$t_{min} = (D + 508) / 1400$$

- Waterhammer

Pada saat penutupan inlet valve dapat terjadi tekanan gelombang aliran air di dalam pipa yang dikenal sebagai waterhammer. Tekanan balik akibat tertahannya aliran air oleh penutupan katup akan berinteraksi dengan tekanan air yang menuju inlet valve sehingga terjadi tekanan tinggi yang dapat merusak penstock. Besarnya tekanan tersebut dipengaruhi oleh faktor

- Kecepatan gelombang tekanan (*pressure wave speed*), c yang besarnya

$$C = [10^{-3} K / (1 + KD/Et)]^{0.5}$$

Dimana :

$K =$ modulus bulk air, $2.1 \times 10^9 \text{ N/m}^2$

$E =$ modulus elastik material, untuk welded steel $2.1 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$

$D =$ diameter pipa (mm)

$t =$ tebal pipa (mm)

- Surge pressure pada pipa, P_s (m kolom air)

$$P S = c.PV/g$$

di mana :

$PV =$ kecepatan aliran air didalam pipa adalah $4Q/ PD^2$

$g =$ percepatan gravitasi m/det^2

Tekanan total (tekanan kritis) di dalam pipa adalah sebesar, P_c :

$$P_c = P_0 + P_s$$

$$= (0.96 H_{\text{gross}}) + P_s$$

dimana P_0 adalah tekanan hidrostatis dalam pipa dengan asumsi headloss 4% Sementara itu tegangan yang terjadi pada dinding pipa adalah

$$s = P_c \cdot D/2.t$$

Tegangan pada dinding pipa tersebut dibandingkan dengan kekuatan tarik material dan tegangan yang diijinkan. Apabila tegangan pada dinding pipa lebih besar maka penentuan diameter dan ketebalan pipa diulang (iterasi) sampai diperoleh kondisi yang aman. Perhitungan rinci kekuatan dan keamanan pipa dilampirkan pada setiap lokasi rencana pengembangan PLTMH.

- Tumpuan pipa pesat (saddles support)

Tumpuan pipa pesat, baik pondasi anchor block, saddle support, berfungsi untuk mengikat dan menahan penstock. Jarak antar tumpuan (L) ditentukan oleh besarnya

defleksi maksimum penstock yang diijinkan. Jarak maksimum dudukan pondasi penstock dapat dihitung dengan formula:

$$L = 182.61 \times \left\{ \frac{(D + 0.0147)^4 - D^4}{p} \right\}^{0.333}$$

Dimana.

D = diameter dalam penstock (m)

P = berat satuan dalam keadaan penuh berisi air (kg/m).

Berat satuan pipa pesat dihitung dengan formula

$$W \text{ pipa} = PD \times t \times l \times P_{\text{baja}}$$

Di mana

W pipa = kg 1 m pipa pesat

D = diameter pipa, m

t = tebal pipa, m

p_{baja} = 7860 kg/M³

Berat air di dalam pipa dihitung sebesar:

Di mana:

W air = kg 1 m pipa pesat

D = diameter pipa, m

l = panjang pipa satuan, 1 m

p_{air} = 1000 kg/m³

$$W \text{ air} = 0.25\pi D^2 \times l \times p_{\text{air}}$$

Berat satuan pipa berisi penuh air adalah, $P = W \text{ pipa} + W \text{ air}$. Pada perencanaan

PLTMH ini, jarak antar tumpuan pipa pesat rata-rata adalah 4 m,

- Rugi-rugi head (Head Losses).

Rugi-rugi head (head losses) diberikan oleh faktor:

- Kerugian karena gesekan saat aliran air melewati trashrack
- Kerugian gesekan aliran fluida di dalam pipa
- Kerugian karena turbulensi aliran yang dipengaruhi belokan, bukaan katup, perubahan penampang aliran

Reduksi head losses dapat dilakukan dengan cara :

- Penggunaan diameter pipa yang lebih besar (harus mempertimbangkan biaya)
- Mengurangi belokan pada penstock dan pemilihan dimensi yang terbaik untuk mendapatkan rugi-rugi yang kecil.

Besarnya rugi-rugi pada pipa pesat terdiri dari:

Rugi-rugi karena gesekan selama aliran didalam pipa, hf friction

$$H_{friction} = P.L.V^2 / 2.g.D$$

Di mana ;

P = koefisien gesekan berdasarkan diagram Moody, bilangan Reynolds dan koefisien kekasaran material

L = panjang penstock, m

V = kecepatan rata-rata, m/det

G = percepatan gravitasi, m/det²

D = diameter pipa pesat, m

Persamaan empiris lainnya yang dapat digunakan untuk menghitung rugi-rugi gesekan ini adalah:

$$(H_f 1 L) = 10.29 n^2 Q^{21} D^5 .333$$

dimana:

Hf head losses karena gesekan aliran di dalam pipa, m L panjang pipa, m n koefisien kekasaran Manning, 0.012 untuk material welded steel Q debit, m³/s

D diameter penstock, m

Kerugian karena gesekan pada aliran melalui trashrack dapat dihitung dengan formula Kirchner sebagai berikut

$t = \frac{27 \sin \theta}{2g}$

dimana ;

K_t = koefisien gesekan bentuk pelat trashrack

t = tebal plat trashrack

b = jarak antar plat trashrack

V_0 = kecepatan aliran air

g = percepatan gravitasi

θ = sudut jatuhnya trashrack dengan horisontal

Kerugian karena turbulensi, H_L

$H_L \text{ total} = \sum \frac{V^2}{2g}$

Di mana, koefisien losses, \sum total besarnya adalah

$\sum \text{ total} = \text{Onlet loss} + \sum \text{ belokan elbow} + \sum \text{ inlet valve} + \sum \text{ reducer/difusor} + \sum \text{ draft tube}$

Berdasarkan perhitungan menggunakan formula-formula di atas, maka pada perencanaan PLTM ini ukuran pipa pesat distandarisasi untuk memudahkan aplikasi di lapangan, Diameter standar pipa dibuat dari plat ukuran 120 cm x 240 cm yang diroll dan dilas.

PELAKSANAAN ELEKTRIKALMEKANIKAL

1. Pemilihan Turbin

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. Berdasarkan prinsip kerjanya, turbin air dibagi menjadi dua kelompok:

v Turbin impuls (cross-flow, pelton & turgo)

untuk jenis ini, tekanan pada setiap sisi sudu gerakannya irunernya - bagian turbin yang berputar - sama.

v Turbin reaksi (francis, kaplan/propeller)

Daerah aplikasi berbagai jenis turbin air relatif spesifik. Pada beberapa daerah operasi memungkinkan digunakan beberapa jenis turbin. Pemilihan jenis turbin pada daerah operasi yang overlapping ini memerlukan perhitungan yang lebih mendalam. Pada dasarnya daerah kerja operasi turbin menurut Keller² dikelompokkan menjadi:

Low head powerplant: dengan tinggi jatuhnya air (head) :S 10 M3

Medium head power plant:: dengan tinggi jatuhnya antara low head dan high-head High head power plant: dengan tinggi jatuhnya air yang memenuhi persamaan

$$H \geq 100 (Q)^{0-113}$$

dimana, H =head, m Q = desain debit, m³/s

Secara umum hasil survey lapangan mendapatkan potensi pengembangan PLTMH dengan tinggi jatuhnya (head) 6 - 60 m, yang dapat dikategorikan pada head rendah dan medium.

Tabel Daerah Operasi Turbin

Jenis Turbin	Variasi Head, m
Kaplan dan Propeller	2 < H < 20
Francis	10 < H < 350
Peiton	50 < H < 1000
Crossfiow	6 < H < 100
Turgo	50 < H < 250

2. Kriteria Pemilihan Jenis Turbin

Pemilihan jenis turbin dapat ditentukan berdasarkan kelebihan dan kekurangan dari jenis-jenis turbin, khususnya untuk suatu desain yang sangat spesifik. Pada tahap awal, pemilihan jenis turbin dapat diperhitungkan dengan mempertimbangkan parameter-parameter khusus yang mempengaruhi sistem operasi turbin, yaitu :

- v Faktor tinggi jatuhnya air efektif (Net Head) dan debit yang akan dimanfaatkan untuk operasi turbin merupakan faktor utama yang mempengaruhi pemilihan jenis turbin, sebagai contoh : turbin pelton efektif untuk operasi pada head tinggi, sementara turbin propeller sangat efektif beroperasi pada head rendah.
- v Faktor daya (power) yang diinginkan berkaitan dengan head dan debit yang tersedia.
- v Kecepatan (putaran) turbin yang akan ditransmisikan ke generator. Sebagai contoh

untuk sistem transmisi direct couple antara generator dengan turbin pada head rendah, sebuah turbin reaksi (propeller) dapat mencapai putaran yang diinginkan, sementara turbin pelton dan crossflow berputar sangat lambat (low speed) yang akan menyebabkan sistem tidak beroperasi.

Ketiga faktor di atas seringkali diekspresikan sebagai "kecepatan spesifik, N_s ", yang didefinisikan dengan formula:

$$N_s = N \times P^{0.51} W^{-0.21}$$

dimana :

N = kecepatan putaran turbin, rpm

P = maksimum turbin output, kW

H = head efektif, m

Output turbin dihitung dengan formula:

$$P = 9.81 \times Q \times H \times \eta_t \quad (2)$$

dimana

Q = debit air, m³ / detik

H = efektif head, m

η_t = efisiensi turbin

= 0.8 - 0.85 untuk turbin pelton

= 0.8 - 0.9 untuk turbin francis

= 0.7 - 0.8 untuk turbin crossflow

= 0.8 - 0.9 untuk turbin propeller/klaplan

Kecepatan spesifik setiap turbin memiliki kisaran (range) tertentu berdasarkan data eksperimen. Kisaran kecepatan spesifik beberapa turbin air adalah sebagai berikut:

Turbin pelton	$12 \leq N_s \leq 25$
Turbin Francis	$60 \leq N_s \leq 300$
Turbin Crossflow	$40 \leq N_s \leq 200$
Turbin Propeller	$250 \leq N_s \leq 1000$

Dengan mengetahui kecepatan spesifik turbin maka perencanaan dan pemilihan jenis turbin akan menjadi lebih mudah. Beberapa formula yang dikembangkan dari data eksperimental berbagai jenis turbin dapat digunakan untuk melakukan estimasi perhitungan kecepatan spesifik turbin, yaitu :

Turbin pelton (1 jet)	$N_s = 85.49/H^{0.243}$	(Siervo & Lugaresi, 1978)
Turbin Francis	$N_s = 3763/H^{0.854}$	(Schweiger & Gregory, 1989)
Turbin Kaplan	$N_s = 2283/H^{0.486}$	(Schweiger & Gregory, 1989)
Turbin Crossfiow	$N_s = 513.25/H^{0.505}$	(Kpordze & Wamick, 1983)
Turbin Propeller	$N_s = 2702/H^{0.5}$	(USBR, 1976)

Dengan mengetahui besaran kecepatan spesifik maka dimensi dasar turbin dapat diestimasi (diperkirakan).

Pada perencanaan PLTMH ini, pilihan turbin yang cocok untuk lokasi yang tersedia adalah :

1. Turbin propeller tipe open flume untuk head rendah s.d 6 m
2. Turbin crossflow 1 banki-mithell untuk head $6\text{ m} < H < 60\text{ m}$.

Pemilihan jenis turbin tersebut berdasarkan ketersediaan teknologi secara lokal dan biaya pembuatan/pabrikasi yang lebih murah dibandingkan tipe lainnya seperti pelton dan francis. Jenis turbin crosstlow yang dipergunakan pada perencanaart ini adalah crossfiow T-14 dengan diameter runner 0.3 m. Turbin tipe ini memiliki efisiensi maksimum yang baik sebesar 0.74 dengan efisiensi pada debit 40% masih cukup tinggi di atas 0.6. Sementara untuk penggunaan turbin propeller open flume pabrikasi lokal ditetapkan efisiensi turbin sebesar 0.75.

Penggunaan kedua jenis turbin tersebut untuk pembangkit tenaga air skala mikro (PLTMH), khususnya crossfflow T-14 telah terbukti handai di lapangan dibandingkan jenis crossfiow lainnya yang dikembangkan oleh berbagai pihak (lembaga penelitian, pabrikan, import). Putaran turbin baik propeller open flume head rendah dan turbin crossflow memiliki kecepatan yang rendah. Pada sistem mekanik turbin digunakan transmisi sabuk flatbelt dan pulley untuk menaikkan putaran sehingga sama dengan putaran generator 1500 rpm. Efisiensi sistem transmisi mekanik flat belt diperhitungkan 0.98. Sementara pada sistem transmisi mekanik turbin propeller open flume menggunakan sabuk V, dengan efisiensi 0.95.

Tabel Putaran Generator Sinkron (rpm)

Jumlah Pole (kutub)	Frekuensi , 50 Hz
2	3000
4	1500
6	1000
8	750

10	600
12	500
14	429

Tabel Run-away speed Turbin, N maks/N

Jenis Turbin	Putaran Nominal, N (rpm)	Runaway speed
Semi Kaplan, single regulated	75-100	2-2.4
Kaplan, double regulated	75-150	2.8-3.2
Small-medium Kaplan	250-700	2.8-3.2
Francis (medium & high head)	500-1500	1.8-2.2
Francis (low head)	250-500	1.8-2.2
Pelton	500-1500	1.8-2
Crossflow	100-1000	1.8-2
Turgo	600-1000	2

2. Pemilihan Generator dan Sistem Kontrol

Generator adalah suatu peralatan yang berfungsi mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Jenis generator yang digunakan pada perencanaan PLTMH ini adalah :

- v Generator sinkron, sistem eksitasi tanpa sikat (brushless excitation) dengan penggunaan dua tumpuan bantalan (two bearing).
- v Induction Motor sebagai Generator (IMAG) sumbu vertikal, pada perencanaan turbin propeller open flume

Spesifikasi generator adalah putaran 1500 rpm, 50 Hz, 3 phasa dengan keluaran tegangan 220 V/380 V. Efisiensi generator secara umum adalah

- v Aplikasi < 10 KVA efisiensi 0.7 - 0.8
- v Aplikasi 10 - 20 KVA efisiensi 0.8 - 0.85
- v Aplikasi 20 - 50 KVA efisiensi 0.85
- v Aplikasi 50 - 100 KVA efisiensi 0.85 - 0.9
- v Aplikasi > . - 100 KVA efisiensi 0.9 - 0.95

Sistem kontrol yang digunakan pada perencanaan PLTMH ini menggunakan pengaturan beban sehingga jumlah output daya generator selalu sama dengan beban. Apabila terjadi penurunan beban di konsumen, maka beban tersebut akan dialihkan ke sistem pemanas udara (air heater) yang dikenal sebagai ballast load/dummy load.

Sistem pengaturan beban yang digunakan pada perencanaan ini adalah

- v Electronic Load Controller (ELC) untuk penggunaan generator sinkron
- v Induction Generator Controller (IGC) untuk penggunaan IMA

Sistem kontrol tersebut telah dapat dipabrikasi secara lokal, dan terbukti handal pada penggunaan di banyak PLTMH. Sistem kontrol ini terintegrasi pada panel kontrol (switch gear).

Fasilitas operasi panel kontrol minimum terdiri dari

- v Kontrol start/stop, baik otomatis, semi otomatis, maupun manual
- v Stop/berhenti secara otomatis
- v Trip stop (berhenti pada keadaan gangguan: over-under voltage, over-under frekuensi,
- v Emergency shut down, bila terjadi gangguan listrik (misal arus lebih)

ANALISA EKONOMI MIKROHIDRO

Perhitungan Daya dan Energi Listrik

1 Perhitungan daya listrik pada sistem PLTMH

- Daya poros turbin

$$P_t = 9.81 \times Q \times H \times \eta_t \quad (1)$$

- Daya yang ditransmisikan ke generator

$$P_{trans} = 9.81 \times Q \times H \times \eta_t \times \eta_{belt} \quad (1)$$

- Daya yang dibangkitkan generator

$$P_{gen} = 9.81 \times Q \times H \times \eta_t \times \eta_{belt} \times \eta_{gen} \quad (3)$$

dimana :

Q = debit air, m³/detik

H = efektif head, m

η_t = efisiensi turbin

= 0.74 untuk turbin crossflow T-14

= 0.75 untuk turbin propeller open flume lokal

$\eta_{\text{belt}} = 0.98$ untuk flat belt, 0.95 untuk V belt

η_{ngen} = efisiensi generator

Daya yang dibangkitkan generator ini yang akan disalurkan ke pengguna. Dalam perencanaan jumlah kebutuhan daya di pusat beban harus di bawah kapasitas daya terbangkit, sehingga tegangan listrik stabil dan sistem menjadi lebih handal (berumur panjang)

2. Kebutuhan listrik masyarakat

Kebutuhan listrik masyarakat, khususnya pada program pelistrikan desa sangat dibatasi. Hal ini didasarkan ketersediaan potensi sumber daya air, kemampuan memelihara dan membiayai penggunaan listrik, serta besaran biaya pembangunan.

Salah satu faktor pembatas adalah pemilihan pembatas arus terkecil di pasaran, yaitu 0.5 A, sehingga daya yang dapat digunakan untuk setiap sambungan instalasi rumah rata-rata sebesar 110 W. Penggunaan listrik masyarakat perdesaan dengan PLTMH ini, khusus untuk penerangan digunakan pada malam hari dengan pertimbangan pada siang hari sebagian besar masyarakat bekerja.

ESTIMASI BIAYA PEMBANGUNAN PLTMH

1 Analisis Harga Satuan

Perhitungan analisis harga satuan merupakan tahapan paling terdepan dari estimasi biaya pembangunan. Parameter perhitungan dan analisis harga satuan pekerjaan pada perencanaan PLTMH antara lain

- Lokasi sumber material diharapkan pada jarak terdekat dengan lokasi pekerjaan konstruksi
- Tenaga kerja yang digunakan menggunakan tenaga kerja lokal di lokasi proyek dengan upah didasarkan pada harga satuan yang berlaku di wilayah tersebut. Penggunaan tenaga kerja diluar lokasi, hanya pada tingkatan pengawas dan tukang untuk pekerjaan tertentu dengan upah didasarkan pada harga yang wajar.

- Harga satuan material diperoleh dari harga satuan material dan bahan yang berlaku di wilayah rencana pembangunan PLTMH dan disesuaikan dengan faktor lokasi proyek (penyesuaian biaya transportasi dan pengangkutan)

Secara umum komponen harga satuan yang diperhitungkan meliputi:

a. Komponen tenaga

Koefisien komponen tenaga untuk masing-masing harga satuan diperoleh dari analisa kebutuhan tenaga yang diperlukan untuk setiap pekerjaan sesuai dengan standar yang berlaku, khususnya dalam pekerjaan sipil

b. Komponen bahan dan material

Dalam perhitungan koefisien bahan dan material yang akan digunakan mengacu pada analisa satuan pekerjaan yang berlaku

c. Komponen peralatan

Perhitungan koefisien peralatan didasarkan pada peralatan yang digunakan dalam satuan pekedaan, sebagaimana yang berlaku secara umum dalam pekerjaan sipil konstruksi.

Hasil perhitungan analisis harga satuan sesuai jenis pekerjaan dapat dilihat pada lampiran setiap lokasi rencana pembangunan PLTMH.

2 Komponen Biaya Pembangunan PLTMH

Komponen biaya pembangunan PLTMH pada studi perencanaan ini terdiri dari

1. Engineering

Komponen engineering pada pembangunan PLTMH dialokasikan untuk kegiatan detail desain, supervisi pembangunan, dan penyiapan dokumen teknis akhir pembangunan PLTMH. Pada beberapa kasus kegiatan ini dapat diasumsikan terintegrasi pada pelaksana pembangunan. Pada model pembangunan lainnya, khususnya yang melibatkan dana cukup besar, kegiatan engineering dilaksanakan oleh konsultan teknik yang bertanggung jawab mereview basic desain, mengawasi pelaksanaan (supervisi), menyiapkan dokumen teknis akhir, dan melaksanakan komisioning bersama pelaksana pembangunan.

Komponen biaya engineering ini dihitung berdasarkan kebutuhan minimum penggunaan tenaga ahli senior dan berpengalaman pada bidang pekerjaan sipil, teknik mesin atau elektro, dan juru gambar.

2. Peralatan Elektrikal - Mekanik

Komponen peralatan elektrikal - mekanik meliputi pengadaan sarana dan peralatan :

Turbin dan perlengkapannya yang terdiri dari unit turbin, sistem transmisi mekanik, base frame, biaya instalasi dan trial run.

Generator dan base frame

Panel kontrol (switch gear dan kontrol beban) Ballast Load

Instalasi peralatan elektrikal dan sistem pengkabelan Biaya lain-lain (10%)

3. Pekerjaan Sipil

Pekerjaan sipil pada pembangunan PLTMH meliputi:

Bangunan intake -weir, Saluran pembawa, Bak pengendap, Bak penenang, Pipa pesat, Bangunan pelimpas, Rumah pembangkit, Pondasi turbin (under ground), Saluran pembuangan, Biaya lain-lain (5%)

4. Jaringan Transmisi, Distribusi, dan Instalasi Rumah

- Tiang lisfrik
- Pengadaan kabel
- Instalasi rumah
- Biaya lain-lain (5%)

5. Komponen Lain-lain

Komponen lain-lain yang dimaksud pada bagian ini adalah alokasi untuk:

Penggunaan alat bantu khusus apabila harus diperlukan seperti: alat berat untuk penataan lokasi, alat angkut khusus untuk peralatan yang berat

Keuntungan pelaksana pembangunan (15%)

Training/pelatihan operator dan pengelola

6. Pajak

Komponen pajak dihitung terhadap total pekerjaan meliputi pekerjaan 1, 2, 3, 4 dan 5 di atas. Pajak yang diperhitungkan pada perencanaan ini adalah PPn sebesar 10%.

7. Biaya Pengembangan (Project Development)

Biaya pengembangan dapat dikatakan sebagai indirect cost. Komponen ini diperhitungkan sebagai akibat proses penyiapan dan perencanaan pembangunan PLTMH yang tidak mudah dan memerlukan kegiatan pendukung. Besaran Mokasi biaya pengembangan diestimasi berdasarkan prosentase.

Aktivitas yang berkaitan dengan kegiatan pengembangan ini adalah kegiatan administrasi proyek, manajemen proyek di tingkat owner (pemilik pekerjaan), biaya legal, penyiapan dan pelaksanaan tender, ganti rugi atas pembebasan tanah apabila ada, monitoring dan evaluasi proyek di tingkat owner.

Sebagai acuan, estimasi biaya pengembangan dikelompokkan menjadi: * Manajemen proyek (10%) dari total biaya fisik dan pajak * Tender, kontrak dan legal (5%) dari total biaya fisik dan pajak * Ganti rugi

Referensi dari prosentase dan harga satuan orang berdasarkan standar biaya orang nasional (Bappenas) dan beberapa rekomendasi pada kegiatan pembangunan PLTMH seperti yang dikeluarkan oleh JICA dan tingkat kewajaran yang berlaku umum.

Komponen Biaya Operasional

Perawatan PLTMH memegang peranan penting dalam menjaga sustainability dan kehandalan operasi. Pengelola harus dapat menangani kegiatan perawatan dan membiayainya. Kegiatan perawatan ada yang bersifat periodik (penggantian oli) ada yang bersifat temporer setiap ada kerusakan pada fasilitas bangunan sipil, peralatan elektrik - mekanik, maupun jaringan transmisi dan distribusi.

Sebagai gambaran kebutuhan biaya perawatan PLTMH, analisis dilakukan untuk periode tahunan (annual cost). Besar biaya perawatan setiap lokasi akan berbeda. Estimasi biaya operasional untuk setiap PLTMH terlampir pada laporan masing~ masing lokasi PLTMH.

Analisis Finansial Skema On Grid

Pada pembangunan PLTMH dengan skema On-Grid System dilakukan perhitungan kelayakan secara ekonomis. Aspek penilaian kelayakan dilakukan dengan kriteria :

- Pay back periods atau pengembalian investasi maksimum 213 dari umur ekonomis proyek.
- NPV (net present value) investasi > 0
- IRR (internal rate of return) $>$ discount rate
- Profitability Indeks > 1

Parameter atau asumsi yang digunakan pada perhitungan cash flow ditetapkan sebagai berikut:

- Kenaikan biaya OM (operasi dan maintenance) setiap tahun sebesar 4%
- Suku bunga pinjaman komersial 17%-18%
- Suku bunga deposito 10%
- Tingkat resiko penggunaan equity 5%

Penyesuaian tarif jual listrik ke PLN setiap tahun 2,5%

Skema investasi 100% equity, dan equity.. loan (60%: 40%)

Depresiasi 10 tahun

Grace periods pengembalian pinjaman 2 tahun

Jangka waktu pengembalian pinjaman 10 tahun

Berdasarkan hasil analisa kelayakan dapat disimpulkan bahwa faktor tarif menjadi kunci menarik tidaknya investasi pada pembangunan PLTMH. Investasi pembangunan PLTMH akan menarik untuk kapasitas pembangkitan skala minihidro > 100 W Pada skala minihidro ini biaya pembangunan per kW daya terpasang

cukup kecil < Rp 10 juta per kW, energi listrik yang dijual cukup besar, pendapatan penjualan energi listrik lebih besar, sehingga tingkat pengembalian investasi lebih baik. Analisa kelayakan ekonomi pada skema on - grid ini dapat dilihat pada laporan lokasi potensi pembangunan PLTMH (site report).

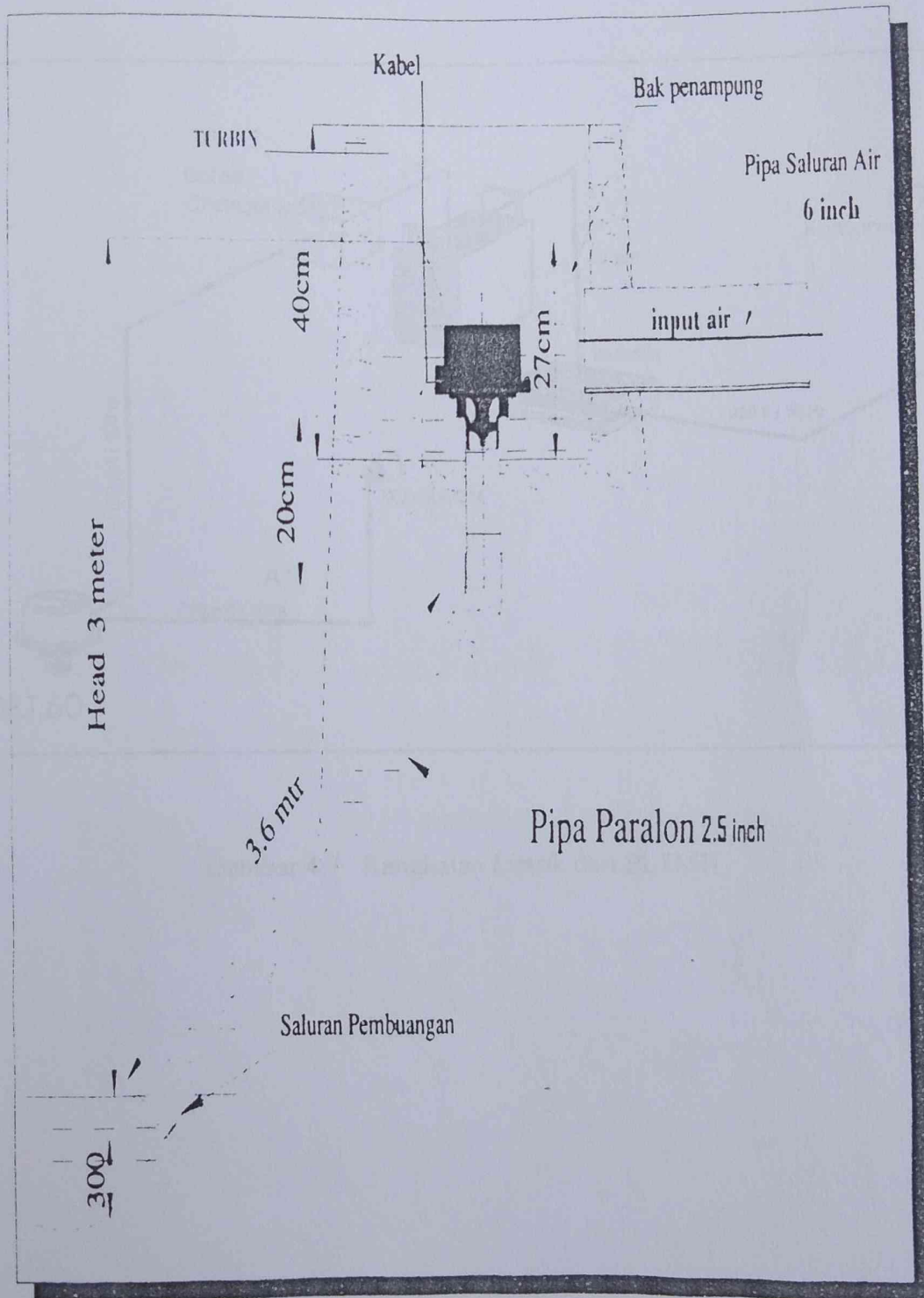
Investasi pembangunan PLTMH relatif besar sekitar Rp 20 jutakW terbangkit dengan tidak memasukkan biaya perencanaan dan pengembangan proyek pemerintah. Biaya pembangunan ini semakin besar untuk kapasitas pembangkitan yang kecil, yaitu berkisar Rp 26 juta per kW untuk kapasitas 20 -30 W. Semakin besar kapasitas pembangkitan maka biaya pembangunan per kW akan menurun, berkisar Rp 16 - 17 juta untuk kapasitas 40 kW - 50 kW dan di bawah Rp 10 juta per kW untuk skala minihidro, > 100 W. Hal ini dapat menjadi acuan apabila pembangunan dilakukan oleh swasta dengan sumber pembiayaan di luar APBD atau APBN.

Besarnya biaya pembangunan ini tentunya diharapkan dapat diimbangi oleh kemampuan masyarakat dalam mengoperasikan, mengelola dan mengembangkan PLTMH sebagai motor penggerak kegiatan ekonomi pedesaan dan kegiatan produktif kelompok masyarakat. Identifikasi potensi pengembangan kegiatan ekonomi produktif seperti agro processing, home industri dan agro, industri sangat penting dilakukan baik oleh masyarakat maupun pemerintah dan pihak-pihak yang interest dalam pengembangan

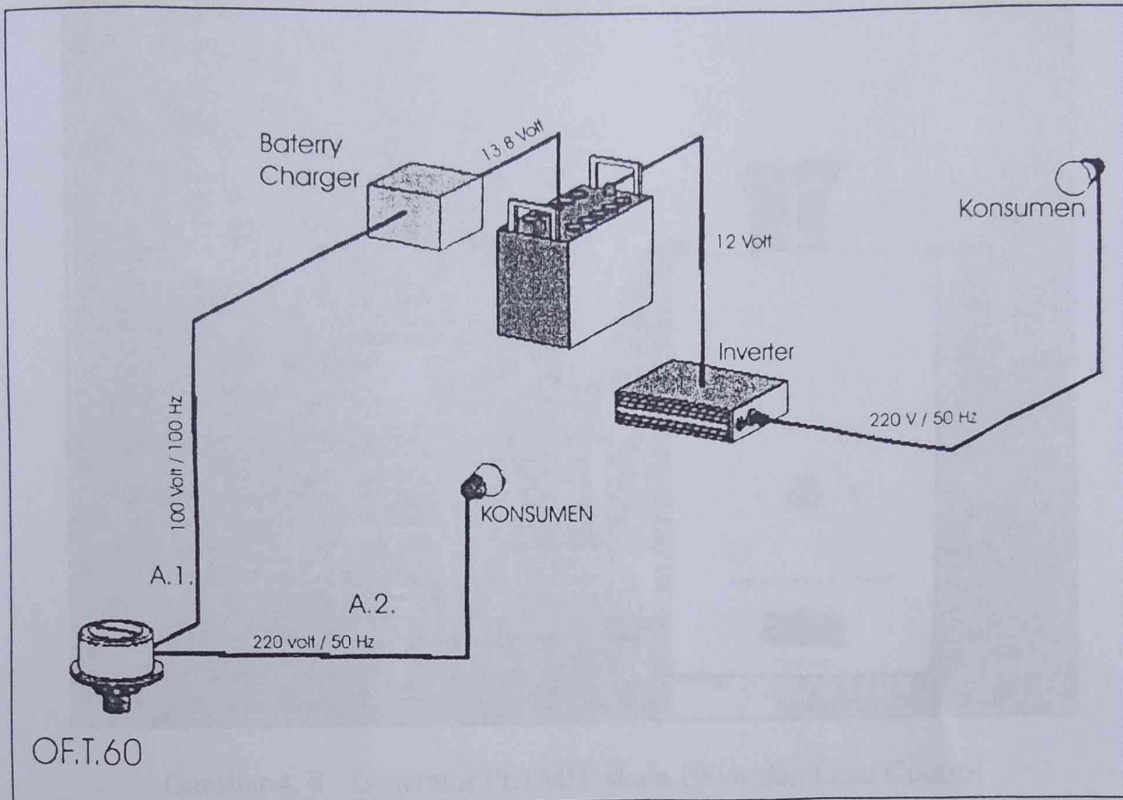
kegiatan ekonomi masyarakat untuk mengoptimalkan fungsi PLTMH selain untuk penerangan.

Pada saatnya, realisasi pelaksanaan pembangunan PLTMH memerlukan kompetensi dari pelaku atau pelaksana pembangunan. Hal ini disebabkan sifat pembangunan PLTMH yang khas sebagai bagian kegiatan pengembangan masyarakat (community development).

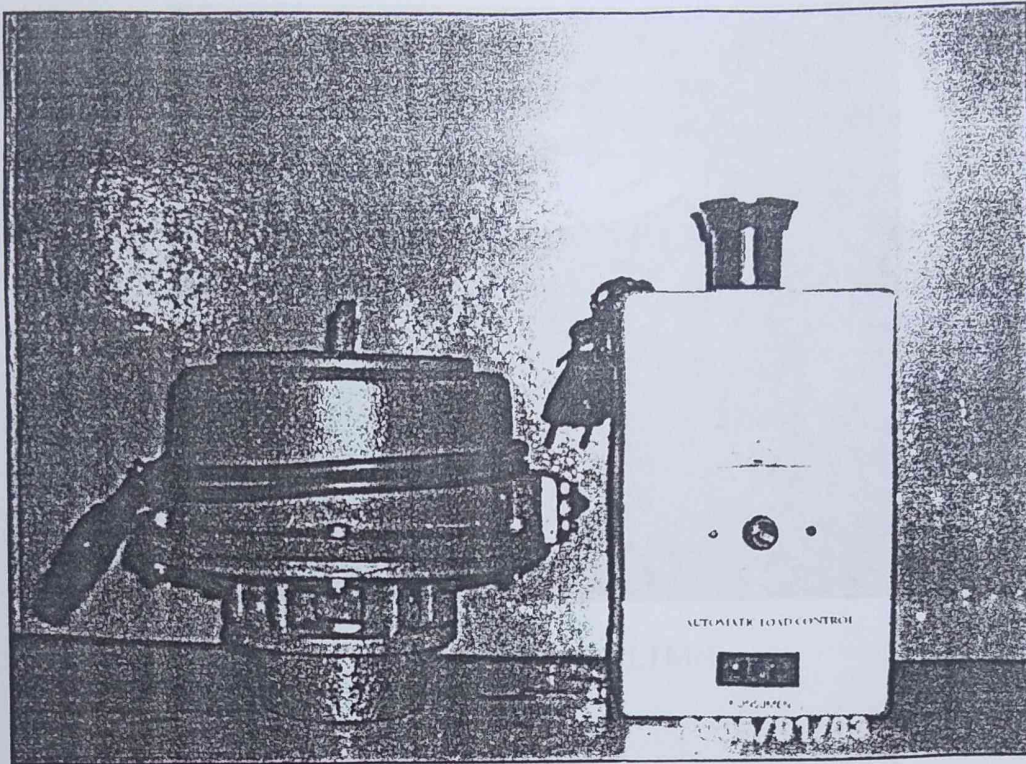
Pada skema pembangunan PLTMH sebagai unit usaha (on grid system) maka idealnya biaya pembangunan paling efisien dan memberikan tingkat pengembalian yang tinggi yang akan menarik investor/swasta. Dalam hal ini pembangkitan skala minihidro, > 100 kW dapat memberikan kelayakan finansial yang baik dan menarik untuk distudi lebih jauh sebagaimana dapat dilihat pada laporan setiap lokasi, khususnya untuk skema on grid.



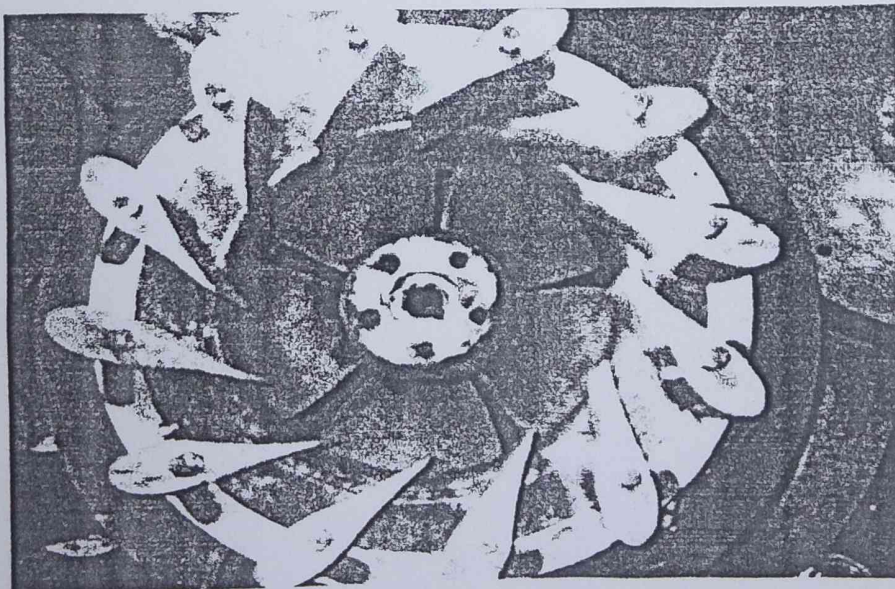
Gambar 4.6 Desain Konstruksi PLTMH



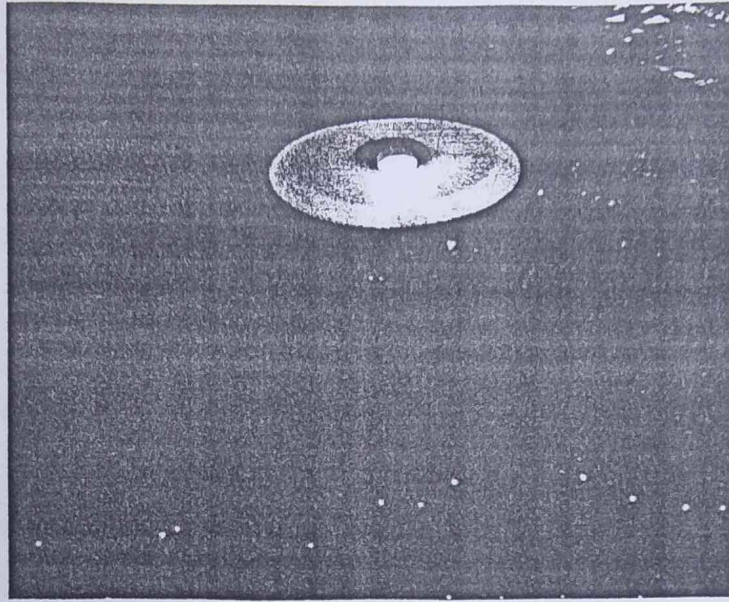
Gambar 4.7 . Rangkaian Listrik dari PLTMH



Gambar 4. 8 Generator PLTMH skala 100 w dan Load Control



Gambar 4.9. Jenis Turbin yang Pakai



4.10. Pemanfaatan PLTMH

BAB V
ANGGARAN PENELITIAN DAN ALOKASI WAKTU PENELITIAN

5.1 Anggaran Penelitian

Dana alokasi yang akan diimplementasikan dalam penelitian ini sebagai berikut :

NO	Uraian	Satuan	Volume	Jumlah
1	Gaji dan Upah	orang	1	Rp. 0.00
2	Bahan Habis Pakai			
	Kertas HVS 2 rim	rim	2 x Rp. 30.000	Rp. 60.000
	Refill Tinta	buah	1 x Rp. 50.000	Rp. 50.000
	CD Blank	Box	Rp. 90.000	Rp. 90.000
3	Peralatan			
	Peralon	buah	6 x Rp. 80.000	Rp. 480.000
	AKi	buah	1 x Rp. 50.000	Rp. 50.000
	Kabel	paket	Rp. 70.000	Rp. 70.000
	Semen dan material	paket	Rp. 100.000	Rp. 100.000
	Toolmeter	paket	Rp. 150.000	Rp. 150.000
4	Perjalanan			
	Biaya Survei Lapangan	-	Rp. 150.000	Rp. 150.000
5	Lain-Lain			
	Fotokopi	buah	Rp. 100.000	Rp. 100.000
	Penjilidan	Buah	10 x Rp. 5.000	Rp. 50.000
	Dokumentasi	Paket	Rp. 150.000	Rp. 150.000
	Total Alokasi Dana penelitian			Rp. 1.500.000

BAB VI

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan di atas maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Perlu mengembangkan potensi sumber kekayaan alam yang berada disekitar kita terutama sumber daya air yang mengalir melalui sungai-sungai yang secara geografis dan debit air memiliki kemampuan untuk dikembangkan sebagai suatu potensi energi listrik baik skala mikro hidro atau skala mega watt.
2. Pembangkit listrik tenaga mikro hidro dapat diterapkan karena di daerah-daerah terpencil tersebut umumnya banyak terdapat sungai atau saluran irigasi untuk persawahan seperti antara lain Sungai Winongo
3. Pembangkit listrik tenaga mikro hidro merupakan alternatif yang tepat karena bahan bakar jenis pembangkit ini adalah berupa air yang gratis, sehingga tidak dibutuhkan biaya pengadaan bahan bakar.
4. Di era industri ini tentunya sangat tepat digunakan pembangkit listrik tenaga mikro hidro, karena merupakan salah satu jenis pembangkit yang ramah lingkungan. Hal ini disebabkan dengan penerapan pembangkit listrik tenaga mikro hidro, maka tidak ada dampak buruk yang diakibatkannya terhadap lingkungan.
5. Sebelum menerapkan pembangkit listrik tenaga mikro hidro secara nyata di lapangan, perlu dirancang dan di analisis baik dari segi ekonomis maupun teknisnya, sehingga dalam implementasi dan pemeliharaan bisa berkesinambungan terus .
6. Sungai Winongo memiliki potensi untuk dikembangkan pembangkit listrik PLTMH skala kecil yang bisa dipakai untuk membantu perikanan, penerangan atau untuk pertanian di sekitarnya.

DAFTAR PUSTAKA

Cianjuang, 2008, Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro, Bandung

Kadir, A., 1995, "*Energi: Sumber Daya, Inovasi, Tenaga Listrik, dan Potensi Ekonomi*", UI-Press, Jakarta.

Notodihardjo, M., 1987, "Peranan Tenaga Air dalam Suatu Pola Terpadu Pengembangan Wilayah Sungai dan Daerah Aliran Sungai", *Lokakarya Energi, Komite Nasional Indonesia, World energy Conference*, Jakarta.

Rovero, C., Collins, A., 1998, "*VEPRI Micro-hydro Project: A Win for Everyone*", the Newsletter of the Int'l Network of REPSOource, Vol 3, No. 2, 1998, USA.

www.energi.lipi.go.id diakses 20 Juli 2008

www.satudunia.net/ diakses 20 Juli 2008

www.energiterbarukan.net diakses 20 juli 2008

www.adestal.wordpress.com diakses 20 juli 2008

www.slideshare.net/dhimasln/upea-dr-menteri-esdm/ - 139k diakses 20 juli 2008

www.ideaonline.co.id/article/plt-mikro-hidro-sebagai-sumber-daya-listrik diakses 20 Juli 2008

www.dgtl.esdm.go.id/ diakses 20 Juli 2008

<http://adesalbg.wordpress.com/2008/06/10/pembangkit-energi-listrik-tenaga-mikrohidro/> diakses 20 Juli 2008