

# PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO DI BENDUNGAN SEMANTOK, NGANJUK, JAWA TIMUR

Faris Azhar, Abdullah Hidayat, Edijatno

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

**Abstrak**– Penerapan teknologi mikrohidro sebagai pembangkit listrik merupakan solusi yang tepat untuk memanfaatkan potensi perbedaan muka air antara hulu dan hilir bendungan. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro dapat dibangun dengan syarat perbedaan ketinggian minimal 2 meter dan debit selalu tersedia, karena yang digunakan hanya energi potensialnya, sehingga debit air masih dapat dimanfaatkan untuk pengairan.

Di Kali Semantok yang terletak di Desa Sambikerep, Kecamatan Rejoso, Kabupaten Nganjuk, Jawa Timur direncanakan sebuah bendungan yang mempunyai beda elevasi total setinggi 20,34 dan debit minimum 0,02m<sup>3</sup>/detik sehingga dapat dimanfaatkan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH).

Dengan memanfaatkan debit kebutuhan irigasi Daerah Irigasi Bendungan Semantok sebesar debit rencana 0,20 m<sup>3</sup>/detik, 0,40 m<sup>3</sup>/detik, 0,60 m<sup>3</sup>/detik, dan tinggi jatuh efektif berkisar antara 24,00 – 26,35 meter, serta menggunakan turbin Kaplan maka perbedaan beda ketinggian muka air pada hulu dan hilir Bendungan Semantok menghasilkan daya listrik sebesar 3.407,79 Kw dan energi listrik per tahun sebesar 827.534,01 kWh.

**Kata Kunci**–Mikrohidro, debit rencana, debit kebutuhan irigasi, ketinggian efektif, energi listrik

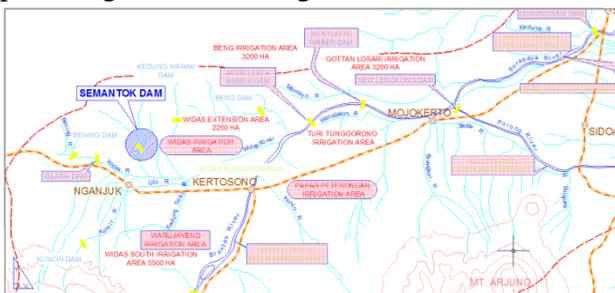
## I. PENDAHULUAN

Pada Kali Semantok Desa Sambikerep, Kecamatan Rejoso, Kabupaten Nganjuk, Jawa timur direncanakan waduk yang berfungsi untuk irigasi dan pengendalian banjir. Kali Semantok mempunyai luas DAS sebesar 14,29 km dan dengan debit rata-rata tahunan sebesar 0,53 m<sup>3</sup>/dt. Volume tampungan waduk direncanakan sebesar 5,60 juta m<sup>3</sup>, dengan kapasitas tampungan efektif sebesar 4,17 juta m<sup>3</sup> dan kapasitas tampungan mati sebesar 1,43 juta m<sup>3</sup>. Selain berfungsi untuk irigasi dan pengendalian banjir, bendungan Semantok memanfaatkan keluaran air sebagai pembangkit listrik tenaga air.

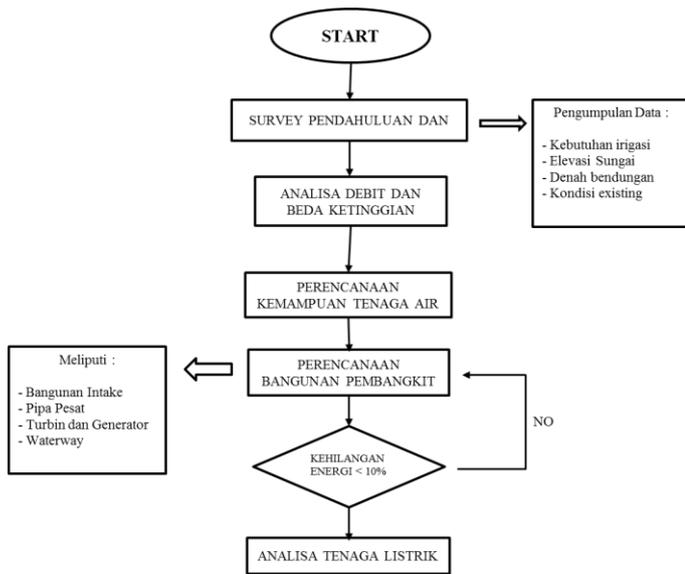
Potensi air yang dilepas pada bendungan ini dapat digunakan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dengan memutar turbin yang selanjutnya dari putaran itu dikonversikan oleh generator menjadi energi listrik. Dengan adanya PLTA ini diharapkan mampu memberikan tambahan kontribusi energi listrik guna memenuhi kebutuhan energi listrik di wilayah setempat.

## II. METODOLOGI

Metodologi Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 1. Peta Sungai Widas dan Bendungan Semantok di Kab. Nganjuk**

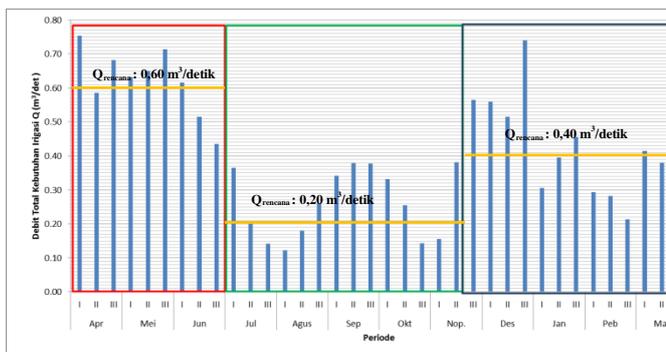


Gambar 2. Diagram Alir Metodologi Tugas Akhir

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Analisa Data

Debit rencana yang akan dimanfaatkan sebagai *inflow* pembangkit listrik adalah debit kebutuhan irigasi daerah irigasi bendungan Semantok yang terbagi menjadi 3 (tiga) periode yaitu periode rendah ( $0,20 \text{ m}^3/\text{dt}$ ), periode sedang ( $0,40 \text{ m}^3/\text{dt}$ ), dan periode tinggi ( $0,60 \text{ m}^3/\text{dt}$ ).



Gambar 3. Pembagian Debit Rencana inflow PLTA

#### B. Perhitungan Tinggi Jatuh Efektif

Tinggi jatuh efektif diperoleh dengan mengurangi tinggi jatuh air yang ada di lapangan dengan kehilangan tinggi akibat saluran air. Dalam perencanaan awal akan diambil kehilangan energi sebesar 10% dari tinggi bruto.  
 $H_{\text{eff}} = H_{\text{bruto}} - H_{\text{losses}}$  [1]

$H_{\text{bruto}}$  didapat dari selisih antara elevasi muka air pada *Upstream* bendungan, dengan elevasi di rumah turbin, dalam perencanaan ini elevasi rumah turbin diletakkan pada elevasi +100 m. Berikut contoh perhitungan tinggi efektif ( $H_{\text{eff}}$ ) pada saat muka air normal (N.W.L: +127,75 m).

$$H_{\text{eff}} = H_{\text{bruto}} - H_{\text{losses}}$$

dimana:

$$H_{\text{bruto}} = \text{Elevasi Muka Air Normal (N.W.L)} - \text{Elevasi Downstream}$$

$$= +127,75 \text{ m} - +100,00 \text{ m}$$

$$= 27,75 \text{ m}$$

$$H_{\text{losses}} = 10\% \times H_{\text{bruto}}$$

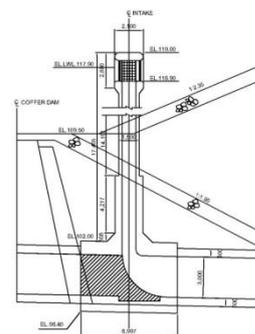
$$= 10\% \times 27,75 \text{ m}$$

$$= 2,77 \text{ m}$$

#### C. Perencanaan Bangunan Pembangkit

##### 1. Perencanaan Intake

Bangunan *intake* berfungsi sebagai tempat pemasukan debit rencana ke dalam pipa pesat yang kemudian dialirkan ke turbin yang mengubah energi kinetik menjadi energi listrik, maupun ke dalam *waterway* yang berfungsi sebagai pemenuh kebutuhan air untuk irigasi. Bangunan *intake* pada perencanaan ini menggunakan *free intake* yang terletak di sebelah kanan bendungan. Bangunan *free intake* tersebut berbentuk *shaft* tegak dari elevasi +119.00 meter sampai elevasi +96.40 meter ( $H = 22,60$  meter).



Gambar 4. Bangunan Free Intake

Pada bangunan *intake* dipasang *trashrack* yang berfungsi sebagai penyaring agar air yang masuk ke dalam saluran terbebas dari sampah, batang

kayu ataupun benda-benda yang dapat mengganggu aliran.

## 2. Perencanaan Diameter Pipa Pesat

Untuk menghitung diameter pipa pesat digunakan perumusan USBR. Dari perumusan USBR didapat bahwa kecepatan air yang melalui pipa pesat adalah:

$$V = 0,125 \sqrt{2gH_{eff}} [1]$$

Dalam perhitungan kecepatan ini, ketinggian efektif diambil pada saat elevasi air rendah (*Low Water Level*) yaitu pada saat elevasi +117,90 m, sehingga ketinggian efektif = 16 meter.

Sehingga kecepatan aliran dalam pipa pesat pada saat elevasi muka air rendah adalah:

$$V = 0,125 \sqrt{2 \times 9,81 \times 16} \\ = 2,21 \text{ m/detik}$$

dimana:

- V = kecepatan aliran (m/detik)
- g = percepatan gravitasi (m/dt<sup>2</sup>)
- H<sub>eff</sub> = tinggi jatuh efektif (m)

Kecepatan dalam pipa pesat diambil nilai 2 – 3 m/detik. Sehingga dari perhitungan kecepatan dalam pipa pesat di atas memenuhi syarat. Hasil perhitungan kecepatan dalam pipa pesat digunakan dalam perhitungan diameter pipa pesat seperti berikut:

$$D = \sqrt{\frac{Q_{rencana}}{0,25\pi v}} \\ D = \sqrt{\frac{0,20}{0,25\pi \times 2,21}} = 0,339 \sim 0,35 \text{ m}$$

dimana:

- D = diameter pipa pesat USBR
- Q<sub>rencana</sub> = debit rencana minimum (0,20 m<sup>3</sup>/detik)
- V = kecepatan aliran (m/detik)

Nilai diameter pipa baja yang didapat dikontrol dengan kecepatan aliran pipa pesat yang terjadi:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{0,25 \pi x D^2}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,20}{0,25 \times \pi \times 0,35^2} = 2,07 \text{ m/detik}$$

Dari hasil kontrol diameter pipa dengan kecepatan, didapat kecepatan pipa pesat sebesar 2,07 m/detik. Nilai ini masih dalam batas kecepatan pipa pesat, yaitu antara 2 – 3 m/detik[1]

## 3. Perencanaan Waterway

Dalam perencanaan ini *waterway* berfungsi sebagai pemenuhan kekurangan kebutuhan debit irigasi yang lewat melalui pipa pesat. Dalam perencanaan ini *waterway* didesain dalam bentuk bujur sangkar. Sehingga lebar (b) *waterway* sama dengan tinggi (h) *waterway*. Dalam perencanaan ini, debit maksimal yang melalui *waterway* sebesar 0,35 m<sup>3</sup>/detik. sehingga perhitungan dimensi *waterway* adalah sebagai berikut:

$$Q = v \times A [2]$$

$$A = b \times h$$

$$A = h^2$$

Sehingga:

$$Q = v \times h^2$$

$$0,35 = 0,5 \times h^2$$

$$h^2 = 0,7$$

$$h = \sqrt{0,7}$$

$$h = 0,836 \text{ meter} \sim 0,85 \text{ meter,}$$

karena *waterway* berbentuk bujur sangkar, maka lebar *waterway* sama dengan tingginya yaitu 0,85 meter

dimana:

- Q= selisih debit rencana dan kebutuhan irigasi
- v = kecepatan aliran dalam *waterway* (0,5 m/dt)
- A= luas penampang saluran

## D. Perencanaan Turbin

Pada saat merencanakan jenis turbin, faktor yang paling menentukan adalah besar debit dan beda tinggi yang tersedia. Pada perencanaan ini debit rencana sebesar 0,20 m<sup>3</sup>/detik dan tinggi jatuh efektif sebesar 16 meter, dengan melihat grafik pemilihan jenis turbin, maka jenis turbin yang efektif digunakan adalah turbin jenis Kaplan yang memiliki spesifikasi dengan tinggi jatuh efektif 3 - 60 meter dan debit 0 – 50.000 liter/detik.

$g$  = gravitasi bumi, diambil 9,81 m/dt<sup>2</sup>

Kehilangan Energi Akibat Gesekan Sepanjang Pipa

$$H_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad [3]$$

$$H_f = 0,014 \times \frac{178,5}{0,35} \times \frac{2,21^2}{2 \times 9,8}$$

$$= 1,777 \text{ m} \sim 1,78 \text{ m}$$

dimana:

$H_f$  = kehilangan energi sepanjang pipa

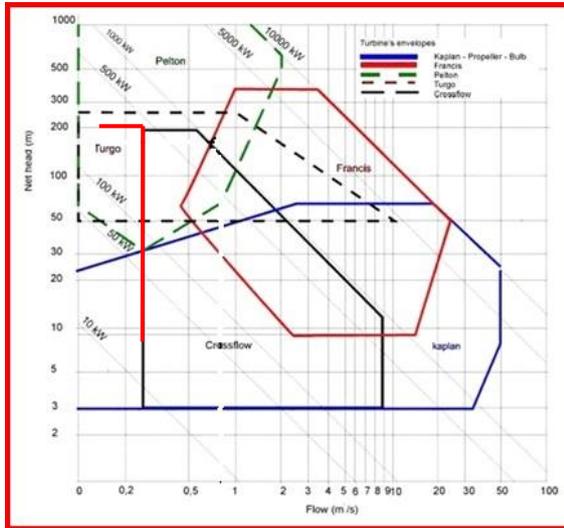
$f$  = koefisien gesek pipa (0,014)

$K_s$  = koefisien kekasaran pipa baja (0,045)

$v$  = kecepatan pada pipa (2,21 m/dt)

$g$  = gravitasi bumi, diambil 9,81 m/dt<sup>2</sup>

$D$  = diameter pipa (0,35 m)



Gambar 5. Grafik Pemilihan Jenis Turbin

### E. Estimasi Kehilangan Energi

Kehilangan Energi karena Saringan Kasar

Untuk menghitung kehilangan energi yang terjadi, digunakan perumusan sebagai berikut:

$$h_r = \phi \left( \frac{S}{b} \right)^3 \frac{\Delta V^2}{2g} \sin \alpha \quad [1]$$

$$= 0,76 \left( \frac{0,02}{0,10} \right)^3 \frac{2,21^2}{2 \cdot 9,81} \sin 90^\circ$$

$$= 0,108075 \text{ m}$$

dimana:

$h_r$  = kehilangan energi saringan pipa (m)

$\phi$  = koefisien profil (0,76)

$S$  = lebar profil dari arah aliran (0,02 m)

$b$  = jarak antar profil saringan (0,10 m)

$g$  = gravitasi bumi, diambil 9,81 m/dt<sup>2</sup>

$\alpha$  = sudut kemiringan saringan (60°)

$v$  = 2,21 m/dt

Kehilangan Energi pada *Entrance* Pipa Pesat

$$H_e = K_e \cdot \left( \frac{\Delta V^2}{2g} \right) \quad [1]$$

$$H_e = 0,05 \cdot \left( \frac{2,21^2}{2 \times 9,81} \right)$$

$$H_e = 0,012447$$

dimana:

$H_e$  = kehilangan energi pada *entrance* (m)

$K_e$  = koefisien bentuk mulut *entrance* (0,05)

$\Delta v$  = selisih kecepatan sebelum dan sesudah *entrance* (m/dt)

Hal 4

Kehilangan energi total didapat dengan menjumlahkan hasil dari perhitungan dari kehilangan energi akibat saringan kasar, bentuk *entrance*, dan kehilangan energi akibat gesekan sepanjang pipa. Perhitungan kehilangan energi total sebesar:

$$\Delta h_{\text{total}} = \Delta h_r + \Delta h_e + \Delta h_f$$

$$= 0,108075 + 0,012447 + 1,78$$

$$= 1,900522 \sim 1,9 \text{ meter}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, kehilangan energi total lebih kecil dari asumsi awal 10% dari tinggi bruto, yaitu 2,77 meter, sehingga perencanaan ini dapat diterima.

### F. Perhitungan Energi Listrik yang Dihasilkan

Daya yang dihasilkan didapat dari hubungan antara tinggi jatuh efektif, debit rencana, dan percepatan gravitasi, dengan perumusan:

$$P = 9,81 \times Q_{\text{rencana}} \times H_{\text{eff}} \quad [1]$$

Secara garis besar dengan memasukan nilai  $Q_{\text{rencana}}$  dan  $H_{\text{eff}}$  langkah-langkah perhitungan daya listrik ditampilkan pada **tabel 1** dengan keterangan perhitungan tiap kolom tabel adalah sebagai berikut:

1. Nomor
2. Bulan
3. Periode
4. Jumlah hari tiap periode sepuluh harian
5. Debit *inflow* PLTA
6. Gaya gravitasi 9,81 m/dt<sup>2</sup>
7. Elevasi muka air bendungan (*Upstream*)
8. Elevasi Muka air Rumah Turbin (*Downstream*)
9.  $H_{\text{bruto}}$  (selisih el. *Upstream* – el. *Downstream*)
10.  $H_{\text{losses}}$  : 1,9 meter

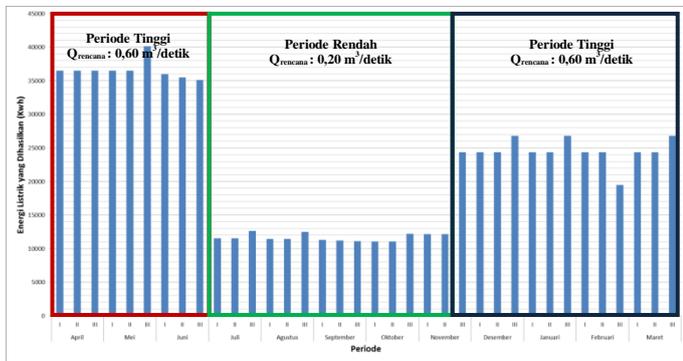
11. Tinggi jatuh efektif  $H_{eff}$
12. Daya yang dihasilkan : (5) x (6) x (11)
13. Energi listrik yang dihasilkan: (12) x (24jam) x (4)

IV. KESIMPULAN

Tabel 1. Perhitungan Daya dan Energi Listrik yang Dihasilkan

No	Bulan	Periode	Berkas Hari	Debit (rata-rata) (m <sup>3</sup> /detik)	Debit (maks) (m <sup>3</sup> /detik)	H <sub>1</sub> (m)	H <sub>2</sub> (m)	H <sub>3</sub> (m)	H <sub>4</sub> (m)	Tinggi Jatuh Efektif (m)	Daya Listrik yang Dihasilkan (Kw)	Energi yang Dihasilkan (Kwh)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	April	I	10	0,6	0,81	127,75	100	27,75	1,90	25,85	152,16	36537,38
2		II	10	0,6	0,81	127,75	100	27,75	1,90	25,85	152,16	36537,38
3		III	10	0,6	0,81	127,75	100	27,75	1,90	25,85	152,16	36537,38
4	Mei	I	10	0,6	0,81	127,75	100	27,75	1,90	25,85	152,16	36537,38
5		II	10	0,6	0,81	127,75	100	27,75	1,90	25,85	152,16	36537,38
6		III	11	0,6	0,81	127,75	100	27,75	1,90	25,85	152,16	36537,38
7	Jun	I	10	0,6	0,81	127,37	100	27,37	1,90	25,47	149,90	35977,14
8		II	10	0,6	0,81	127,00	100	27,00	1,90	25,10	147,80	35486,06
9		III	10	0,6	0,81	126,75	100	26,75	1,90	24,85	146,24	35097,47
10	Juli	I	10	0,2	0,81	126,43	100	26,43	1,90	24,53	144,14	34566,66
11		II	10	0,2	0,81	126,38	100	26,38	1,90	24,48	143,03	34326,16
12		III	11	0,2	0,81	126,28	100	26,28	1,90	24,38	141,84	34082,42
13	Agustus	I	10	0,2	0,81	126,24	100	26,24	1,90	24,34	141,69	34049,12
14		II	10	0,2	0,81	126,10	100	26,10	1,90	24,20	141,45	33974,95
15		III	11	0,2	0,81	126,00	100	26,00	1,90	24,10	141,26	33942,13
16	September	I	10	0,2	0,81	125,87	100	25,87	1,90	23,97	141,03	33866,26
17		II	10	0,2	0,81	125,66	100	25,66	1,90	23,76	140,68	33797,83
18		III	10	0,2	0,81	125,49	100	25,49	1,90	23,59	140,29	33736,91
19	Oktober	I	10	0,2	0,81	125,40	100	25,40	1,90	23,50	140,10	33683,33
20		II	10	0,2	0,81	125,42	100	25,42	1,90	23,52	140,14	33697,90
21		III	11	0,2	0,81	125,49	100	25,49	1,90	23,59	140,28	33726,83
22	November	I	10	0,2	0,81	125,75	100	25,75	1,90	23,85	140,72	33772,46
23		II	10	0,2	0,81	125,75	100	25,75	1,90	23,85	140,72	33772,46
24		III	10	0,4	0,81	125,75	100	25,75	1,90	23,85	140,44	33744,92
25	Desember	I	10	0,4	0,81	125,75	100	25,75	1,90	23,85	140,44	33744,92
26		II	10	0,4	0,81	125,75	100	25,75	1,90	23,85	140,44	33744,92
27		III	11	0,4	0,81	125,75	100	25,75	1,90	23,85	140,44	33744,92
28	Januari	I	10	0,4	0,81	125,75	100	25,75	1,90	23,85	140,44	33744,92
29		II	10	0,4	0,81	125,75	100	25,75	1,90	23,85	140,44	33744,92
30		III	11	0,4	0,81	125,75	100	25,75	1,90	23,85	140,44	33744,92
31	Februari	I	10	0,4	0,81	125,75	100	25,75	1,90	23,85	140,44	33744,92
32		II	10	0,4	0,81	125,75	100	25,75	1,90	23,85	140,44	33744,92
33		III	8	0,4	0,81	125,75	100	25,75	1,90	23,85	140,44	33744,92
34	Maret	I	10	0,4	0,81	125,75	100	25,75	1,90	23,85	140,44	33744,92
35		II	10	0,4	0,81	125,75	100	25,75	1,90	23,85	140,44	33744,92
36		III	11	0,4	0,81	125,75	100	25,75	1,90	23,85	140,44	33744,92

Sumber: Hasil Perhitungan, 2014



Gambar 6. Grafik Energi yang Dihasilkan

Dari hasil perhitungan pada tabel 1 tentang perhitungan daya dan energi yang dihasilkan, daya yang dihasilkan selama satu tahun adalah sebesar 3342,06 Kw. Dengan daya minimum yang dihasilkan adalah sebesar 46.10 Kw terjadi pada awal bulan Oktober, sedangkan daya maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 152,16 Kw terjadi pada awal bulan April sampai hari ke-20 bulan Mei.

Sedangkan energi listrik yang dihasilkan selama satu tahun adalah sebesar 811.571,18 Kwh dengan rata-rata energi yang dihasilkan adalah sebesar 22.543,64 Kwh. Sedangkan energi listrik minimum yang dihasilkan sebesar 11.063,33 Kwh terjadi pada awal bulan oktober dan energi maksimum yang dihasilkan sebesar 40.124,31 Kwh terjadi pada 10 (sepuluh) hari terakhir bulan Mei.

Pembangunan pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) merupakan salah satu alternatif untuk memanfaatkan kehilangan energi pada Bendungan Semantok, di Desa Sambikerep, Kecamatan Rejoso, Nganjuk, Jawa Timur. Adapun hasil perencanaan PLTMH pada bendungan Semantok adalah sebagai berikut:

1. Analisa debit
  - Dari analisa data debit kebutuhan irigasi Daerah Irigasi Bendungan Semantok, didapatkan debit rencana untuk periode tinggi 0,60 m<sup>3</sup>/detik, periode sedang 0,40 m<sup>3</sup>/detik, dan periode rendah 0,20 m<sup>3</sup>/detik.
2. Kehilangan energi
  - Akibat Saringan Kasar : 0,108075 meter
  - Akibat entrance : 0,012447 meter
  - Akibat gesekan sepanjang pipa : 1,78 meter
  - $\Delta h_{total} = 0,108075 + 0,012447 + 1,78 = 1,9 \text{ meter}$
3. Perencanaan saluran pembangkit
  - Bangunan intake direncanakan bangunan *free intake tower*. Terletak di sebelah kanan bendungan, berbentuk *shaft* tegak dari elevasi +119.00 meter sampai elevasi +96.40 meter, dengan lubang pengambilan dari elevasi +116.90 meter sampai elevasi +119.00 meter.
  - Saluran pengarah
    - Diameter saluran = 0,3 meter
    - Jumlah Saluran = 3 buah
    - Kecepatan Aliran = 2,83 m/detik
    - Panjang saluran = 5 meter
  - Pipa pesat Diameter pipa = 0,55 meter
    - Panjang saluran = 108 meter
    - Kecepatan aliran = 2,07 m/detik
    - Tebal pipa = 8 mm
  - Turbin
    - Jenis turbin = Kaplan
    - Kapasitas = 155,10 Kw
4. Daya listrik yang dihasilkan
  - Daya listrik per tahun : 3.407,79 Kw
  - Daya listrik rata-rata yang dihasilkan : 92,80 Kw

Daya minimum (awal bulan Oktober)  
: 47,08 Kw

Daya maksimum (awal bulan April)  
: 155,10 Kw

Energi Maksimum (akhir bulan Mei) :  
40.901,27 Kwh

#### DAFTAR PUSTAKA

5. Energi listrik yang dihasilkan  
Energi listrik per tahun  
: 827.534,01Kwh  
Rata-rata energi yang dihasilkan  
: 22.987,06 Kw  
Energi Minimum (awal bulan Oktober) :  
11.298,77 Kwh

- [1] Patty, O.F. 1995. "Tenaga Air". Jakarta. Erlangga.  
[2] Anggrahini. 1997. "Hidrolika Saluran Terbuka". Surabaya. CV. Citra Media.  
[3] Varsney, R.S. 1997. "Hydro Power Structure". 2<sup>nd</sup> Edition. New Chand & Brosoorke.