

STUDI AWAL PERENCANAAN SISTEM MEKANIKAL DAN KELISTRIKAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MINI-HIDRO

S. Warsito, Abdul Syakur, Agus Adhi Nugroho
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Sultan Agung

Abstrak - Perkembangan listrik pedesaan yang belum terjangkau oleh jaringan listrik PLN masih tergantung pada pemakaian mesin diesel. Minat terhadap mesin diesel telah mengalami penurunan akhir-akhir ini, karena biaya operasional terutama harga bahan bakar yang terus meningkat dan kekurangan – kekurangan lainnya yang tidak dapat diabaikan, misalnya; pemadaman berkala, biaya kebutuhan pemeliharaan dan kesulitan yang dialami oleh para staf dalam melakukan pengiriman bahan bakar yang disebabkan oleh keadaan jalan desa yang belum memadai dan jarak yang cukup jauh dari agen penyuplai.

Stasiun Pembangkit Listrik Tenaga Mini-Hidro (PLTMH) merupakan salah satu bentuk energi alternatif yang sangat mungkin untuk dikembangkan di negara - negara dengan sumber air yang tersebar luas, misalnya Indonesia. Untuk melaksanakan pembangunan PLTMH diperlukan suatu perencanaan yang matang sehingga perlu disurvei tentang potensi sungai dan kondisi desa tersebut. Di daerah pedesaan umumnya terdapat saluran irigasi yang utama berfungsi untuk mengairi sawah dan juga berpotensi untuk digunakan sebagai pembangkit tenaga listrik.

Studi awal perencanaan bagian – bagian PLTMH dari segi mekanikal dan kelistrikan meliputi, turbin, powerhouse, generator dari PLTMH yang direncanakan. Berdasarkan hasil pembahasan saluran irigasi di Desa Danawarih memiliki potensi energi listrik sebesar 318,30 kW.

Kata kunci : PLTH, penstock, turbin, generator, social benefit.

1. Pendahuluan

Tenaga merupakan suatu unsur penunjang yang sangat penting bagi pengembangan secara menyeluruh suatu bangsa. Pemanfaatan secara tepat guna akan merupakan suatu alat yang ampuh untuk merangsang pertumbuhan perekonomian negara. Berdasarkan alasan tersebut, dapat dimengerti apabila pada akhir-akhir ini permintaan akan pembangkit tenaga semakin meningkat di negara-negara seluruh dunia. Secara garis besar dapat dikatakan bahwa, ditinjau dari segi kebutuhan tenaga, hampir dapat dipastikan semua negara di dunia benar-benar sedang mengalami “ krisis energi “ dan berbagai kesibukan dilakukan untuk menjajagi pemanfaatan berbagai alternatif pembangkit energi untuk memenuhi kebutuhan yang terus meningkat.

Tenaga listrik memegang peranan penting dalam pengembangan ekonomi dan pembangunan suatu bangsa.

Kebutuhan tenaga listrik pada umumnya akan naik, dengan laju pertumbuhan berkisar 3 – 20 % pertahun, terutama tergantung pada pertumbuhan ekonomi dan laju perkembangan industri suatu negara. Hal ini berpengaruh terhadap penyediaan energi listrik. Semakin jelas bahwa harus ada suatu gagasan baru mengenai sumber-sumber penghasil energi dan rumusan program-program pelaksanaan dengan efisiensi maksimal.

Penyediaan tenaga listrik bagi keperluan sektoral sampai saat ini dibangkitkan dengan minyak. Investasi pembangkit listrik dengan bahan bakar minyak mahal, sehingga hal ini membuka kesempatan bagi upaya diversifikasi, dengan pemakaian minyak pada sektoral dapat digantikan dengan pemakaian tenaga listrik yang dibangkitkan oleh energi non minyak.

Dewasa ini minyak bumi (bahan bakar fosil) merupakan sumber utama pemakaian energi di dalam negeri. Penggunaannya terus meningkat, sedang jumlah persediaan terbatas. Oleh karena itu perlu diambil langkah-langkah penghematan minyak bumi (bahan bakar fosil) di satu pihak dan di pihak lain pengembangan-pengembangan sumber energi lainnya, seperti PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mini-Hidro). Di Indonesia salah satu program pemerintah adalah listrik masuk Desa. Untuk desa terpencil di daerah pegunungan, pembangunan PLTMH merupakan salah satu jawaban atas program pemerintah tersebut disamping kebutuhan tenaga listrik yang semakin meningkat. Karena menghubungkan desa ini dengan hantaran tegangan tinggi tidaklah ekonomis.

2. Kelebihan dan kelemahan PLTMH

PLTMH mempunyai beberapa kelebihan, yaitu :

1. Bahan bakar PLTU adalah batu bara. Berdasarkan pengertian yang sama, kita dapat mengatakan bahwa bahan bakar untuk PLTA adalah air (batu bara putih). Keunggulan bahan bakar untuk PLTA ini sama sekali tidak habis terpakai ataupun berubah menjadi sesuatu yang lain dan merupakan suatu sumber yang abadi. PLTA tidak menghadapi masalah pembuangan limbah, sedangkan untuk PLTU menghadapi masalah pembuangan limbah berupa abu batu bara.
2. Biaya pengoperasian dan pemeliharaan PLTA sangat rendah jika dibandingkan dengan PLTU atau PLTN. Pada PLTU, disamping pengeluaran biaya untuk batu

bara, perlu diperhitungkan pula biaya transportasi bahan bakar tersebut.

3. Turbin – turbin pada PLTA bisa dioperasikan atau dihentikan pengoperasiannya setiap saat.
4. PLTA, cukup sederhana untuk dimengerti dan cukup mudah untuk dioperasikan. Ketangguhan sistemnya dapat lebih diandalkan dibandingkan dengan sumber – sumber daya yang lainnya.
5. Peralatan PLTA yang mutakhir, umumnya memiliki peluang yang besar untuk bisa dioperasikan selama lebih dari 50 tahun. Hal ini cukup bersaing jika dibandingkan dengan umur efektif dari PLTN yang sekitar 30 tahun.
6. Dengan teknik perencanaan yang mutakhir, pembangkit listrik dapat menghasilkan tenaga dengan efisien yang sangat tinggi meskipun fluktuasi beban cukup besar.
7. Perkembangan mutakhir yang telah dicapai pada pengembangan turbin air, telah dimungkinkan untuk memanfaatkan jenis turbin yang sesuai dengan keadaan setempat.
8. Pengembangan PLTA dengan memanfaatkan arus sungai dapat menimbulkan juga manfaat lain seperti misalnya; pariwisata, perikanan dan lain – lain, sedangkan jika diperlukan waduk untuk keperluan tersebut dapat dimanfaatkan pula misalnya sebagai irigasi dan pengendali banjir.

Kelemahan – kelemahan PLTMH

1. Sebagaimana yang telah disebutkan diatas, hampir semua PLTA merupakan proyek padat modal. Seperti padat modal yang lain, laju pengembalian modal proyek PLTA adalah rendah.
2. Masa persiapan suatu proyek PLTA pada umumnya memakan waktu yang cukup lama.
3. PLTA sangat tergantung pada aliran sungai secara alamiah, sehingga pada umumnya tenaga andalan atau tenaga mantap akan sangat lebih kecil jika dibandingkan dengan kapasitas totalnya.

3. Prinsip Kerja PLTMH

Pembangkit tenaga air adalah suatu bentuk perubahan tenaga dari tenaga air dengan ketinggian dan debit tertentu menjadi tenaga listrik, dengan menggunakan turbin air dan generator. Daya (power) yang dihasilkan dapat dihitung dengan rumus :

$$P = 9,81 Q H \text{ kW}$$

Daya yang keluar dari generator dapat diperoleh dari perkalian efisiensi turbin dan generator dengan daya yang keluar secara teoritis.

Bentuk pembangkit tenaga mini-hidro adalah bervariasi, tetapi prinsip kerjanya adalah sama, yaitu ;

“ Perubahan tenaga potensial air menjadi tenaga elektrik (listrik) “. Perubahan memang tidak langsung, tetapi berturut-turut melalui perubahan sebagai berikut :

- Tenaga potensial Tenaga kinetik
- Tenaga kinetik Tenaga mekanik
- Tenaga mekanik Tenaga listrik

Tenaga potensial adalah tenaga air karena berada pada ketinggian. Tenaga kinetik adalah tenaga air karena mempunyai kecepatan. Tenaga mekanik adalah tenaga kecepatan air yang terus memutar kincir / turbin. Tenaga elektrik adalah hasil dari generator yang berputar akibat berputarnya kincir / turbin.

Prinsip kerja PLTM yang paling utama adalah memanfaatkan semaksimal mungkin energi air yang dapat ditangkap oleh peralatan utamanya yang disebut turbin/kincir air. Efisiensi kincir air yang dipilih untuk menangkap energi air tersebut menentukan besarnya energi mekanik atau energi poros guna memutar generator listrik.

4. Perencanaan Penstock, Turbin dan Generator

4.1. Perencanaan penstock

Hal yang perlu diperhatikan dalam pemilihan penstock untuk PLTM adalah diameter dimana semakin kecil diameter maka kecepatan air dalam penstock akan semakin naik untuk debit yang sama, rugi – rugi pada penstock disebabkan debit air dan tinggi jatuh yang relatif kecil dan ketersediaan material di daerah lokal.

Dibawah ini perhitungan dari penampang pipa saluran (*penstock*) dengan menggunakan pipa beton :

Diketahui data yang diperoleh untuk $Q = 2,26 \text{ m}^3/\text{det}$, dan $C = 1,76 \text{ m}/\text{det}$.

$$A = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$Q = A \times C$$

$$A = \frac{Q}{C}$$

$$A = \frac{2,26 \text{ m}^3/\text{detik}}{1,76 \text{ m}/\text{detik}} = 1,28 \text{ m}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 1,28}{\pi}} = 1,28 \text{ m}$$

Jadi diperoleh diameter pipa sebesar 1,28 m.

Dalam perencanaan pembangkit ini, direncanakan menggunakan pipa pesat atau *penstock* terbuat dari pipa beton dengan diameter 1,28 m dan tebal 6 cm dibuat lurus untuk mengurangi rugi – rugi pusaran dan rugi gesekan. Dimisalkan tekanan air pada kepala pipa adalah $17,6 \text{ kg}/\text{cm}^2$ dan ada kemungkinan terjadi peningkatan tekanan sebesar 20 %. Tekanan desain dan efisiensinya diperkirakan sebesar $1020 \text{ kg}/\text{cm}^2$ dan 85 %. Panjang pipa $\pm 64 \text{ m}$ dengan kemiringan 45° terhadap tinggi jatuh turbin.

Untuk mengurangi rugi-rugi pusaran air pada sisi masuk *penstock* maka harus ditentukan jarak minimum *intake penstock* dari permukaan air *forebay*. untuk debit $2,26 \text{ m}^3/\text{detik}$ maka :

- Jarak minimum batang pipa dari permukaan penampung air :

$$V = \frac{Q}{\pi \cdot r^2} = \frac{2,26 \text{ m}^3/\text{det}}{3,14 \cdot (0,64)^2} = 1,76 \text{ m/det}$$

$$V = \frac{1,76}{\sqrt{g \cdot d}} = \frac{0,5}{\sqrt{9,81 \cdot 28}} = 0,7 \text{ m}$$

sehingga sisi masuk *penstock* diletakan 0,7 dibawah permukaan air penampung (*forebay*).

- Ketebalan pipa adalah :

$$P = 17,6 + [20 \times 17,6] = 21,12 \text{ kg/cm}^2$$

$$S = 1020 \text{ kg/cm}^2$$

$$\eta = 85 \%$$

$$R = 64 \text{ cm}$$

- Ketebalan dinding batang pipa adalah :

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot \eta - 0,6 \cdot P} + 0,15$$

$$= \frac{21,12 \cdot 64}{1020 \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 21,12} + 0,5$$

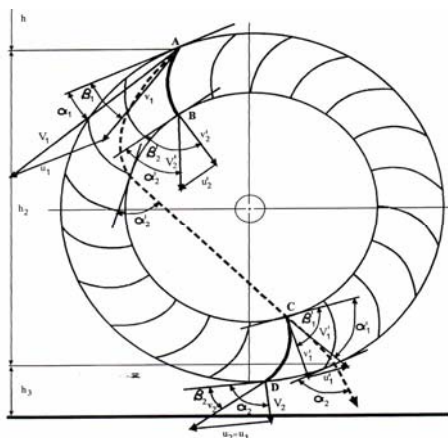
$$= 1,73 \text{ cm}$$

4.2. Perencanaan mesin turbin

Dari pengukuran diperoleh $H_n = 20,51 \text{ m}$ dengan $Q = 2,26 \text{ m}^3/\text{det}$ digunakan turbin Impuls aliran radial yaitu turbin Crossflow (gambar 2.14), dengan konversi :

$$H_n = 20,51 \text{ m} = 67,30 \text{ ft}$$

$$Q = 2,26 \text{ m}^3/\text{det} = 79,78 \text{ ft}^3/\text{det}$$



Gambar 1 jalan air pada turbin Crossflow

1. Lebar dan Diameter Runner

Dengan konstanta tetapan $C = 0,98$ dan $k = 0,087$ maka

:

$$L = 144 \cdot Q / (862)(0,98)(0,087)(2g)^{1/2} H$$

$$= 0,244 \cdot Q / H$$

dengan

$$N = (862 / D_1) H^{1/2}$$

Maka

$$L = 144 \cdot Q / (0,98)(0,087)(2g)^{1/2} D_1 H^{1/2}$$

$$= 210,6 \cdot Q / D_1 H^{1/2}$$

sehingga

$$LD_1 = (210,6)(79,78)(67,30)^{1/2}$$

$$= 2047,98$$

Untuk mencari lebar turbin :

$$L = \frac{2047,98}{D}$$

Dimana L dan D dalam inch, dan nilai D mulai dari 50 cm sampai 100 cm.

Tabel 4.7. Jarak diameter *runner* berdasarkan lebar turbin.

L (inch)	D (inch)	L (cm)	D (cm)
104,06	19,69	264,31	50
94,59	21,65	240,23	55
86,71	23,62	220,24	60
80,03	25,59	203,28	65
74,31	27,56	188,75	70
69,35	29,53	176,05	75
65,02	31,50	165,15	80
61,21	33,46	155,45	85
57,80	35,43	146,81	90
54,76	37,40	139,07	95
52,02	39,37	132,13	100

Dipilih $L = 104,06''$ sehingga $D_1 = 19,68''$. Pemilihan lebar L turbin akan berpengaruh pada N , D_1 , s_o , dan t .

2. Putaran Turbin

$$N = (862 / D_1) H^{1/2} = (862 / 19,68)(67,30)^{1/2}$$

$$= 359 \text{ rpm}$$

3. Tebal Pancaran

Luas pancaran dengan V adalah kecepatan absolut air :

$$A = Q/V = 79,78/(0,98)[2(9,81)(67,30)]^{1/2}$$

$$= 2,24 \text{ ft}^2$$

sehingga tebal pancaran s_o :

$$s_o = A/L = (2,24)(144)/104,06$$

$$= 3,1 \text{ inch} = 7,868 \text{ cm}$$

4. Jarak Antar Sudu

$$s_1 = kD_1 = (0,087)(19,68)$$

$$= 1,71 \text{ inch} = 4,34 \text{ cm}$$

maka

$$t = s_1/\sin\beta_1 = 1,71/0,5$$

$$= 3,42 \text{ inch} = 8,68 \text{ cm}$$

5. Jumlah Sudu

Jika jarak antar sudu t , maka jumlah sudu n diperoleh :

$$N = \pi.D_1/t = \pi(19,68)(3,42)$$

$$\approx 18 \text{ buah}$$

6. Lebar Keliling Radial

$$a = 0,17.D_1 = (0,17)(19,68)$$

$$= 3,35 \text{ inch} = 8,5 \text{ cm}$$

7. Kelengkungan Sudu

$$\rho = 0,326.r_1 = (0,326)(9,84)$$

$$= 3,21 \text{ inch} = 8,15 \text{ cm}$$

8. Jarak Pancaran dari Pusat Poros

$$y_1 = (0,1986 - 0,945.k)D_1$$

$$= [0,1986 - 0,945(0,087)]19,68$$

$$= 2,29 \text{ inch} = 5,82 \text{ cm}$$

9. Jarak Pancaran dari Tepi Dalam Runner

$$y_2 = (0,1314 - 0,945.k)D_1$$

$$= [0,1314 - 0,945(0,087)]19,68$$

$$= 0,97 \text{ inch} = 2,46 \text{ cm}$$

10. Daya Output Turbin

Dari persamaan house power dengan efisiensi maksimum turbin 0,87 :

$$HP = QH\eta_h/8,8$$

$$= (79,78)(67,30)(0,87)/8,8$$

$$= 530,82 \text{ HP}$$

dalam kW

$$P = HP \times 0,746 \text{ kW} = 530,82 \times 0,746$$

$$= 395,99 \text{ kW}$$

11. Perhitungan Pembanding

Dari persamaan umum daya output :

$$P = \eta_h.9,81.QH = 0,87(9,81)(2,26)(20,51)$$

$$= 395,61 \text{ kW}$$

4.3. Perencanaan generator

Berdasarkan perhitungan dalam perencanaan PLTH dengan potensi sungai Danawari ini digunakan generator dengan kapasitas 350 kW. Generator tersebut merupakan generator sinkron 4 kutub (brussless) yang mempunyai kecepatan putar 1500 rpm dengan tegangan keluaran 220/380 volt, $\cos \phi = 0,83$ dan frekuensi output 50 Hz. Untuk menaikkan kecepatan sampai 1500 rpm digunakan speed increaser dengan gearing ratio :

$$\frac{1500}{359} = 4,2$$

Besarnya daya yang dapat dihasilkan setelah memperhitungkan besarnya efisiensi turbin, efisiensi speed increaser, efisiensi generator adalah sekitar 0,70 diperoleh :

$$P = \eta.9,81.QH = 0,7.9,81.2,26.20,51$$

$$= 318,30 \text{ kW} = 397,88 \text{ kVA}$$

- Arus Generator Sinkron :

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}.V_{LL}.\cos\phi}$$

$$= \frac{31830}{\sqrt{3}.380.0,83}$$

$$= 58,27 \text{ A}$$

- Dimensi Utama Generator :

$$S = 1,11 \times k\omega.\pi^2.B.ac.D^2.Ln \times 10^{-3} \text{ kVA}$$

$$397,88 = 1,11 \times 0,955.3,14^2.0,6.20000 \times$$

$$\frac{D^2L \times 1500}{60} \times 10^{-3}$$

$$D^2L = 3,11 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

Jika diambil panjang generator $L = 1000 \text{ mm}$, maka diameter generator $D = 55,76 \text{ mm}$.

Jika jumlah saluran adalah 3 buah dengan panjang masing-masing 10 cm maka panjang bersih inti armatur :

$$L_{arm} = 1000 - 3 \times 10 = 970 \text{ mm}$$

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa yang tertulis dalam buku ini tentang studi awal perencanaan sistem mekanikal dan kelistrikan Pembangkit Listrik Tenaga Mini-Hidro secara sederhana, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Potensi energi air pada saluran irigasi di Desa Danawarih memungkinkan dibangun PLTMH dengan konstruksi yang sederhana.
2. Perencanaan PLTMH sederhana dari segi mekanikalnya di daerah danawarih Tegal tidak menggunakan turbin berkapasitas besar melainkan menggunakan turbin Crossflow yang didesain untuk menggerakkan generator.
3. Pembangkit yang direncanakan di desa Danawarih menggunakan turbin Crossflow dan generator sinkron dengan kapasitas 350 kW.
4. Dari segi Finansial benefit ada kecenderungan pembangunan proyek listrik kurang feasible untuk dijalankan, tetapi dari segi social benefit memberikan dampak positif terhadap berbagai kegiatan masyarakat sehingga layak untuk dikembangkan.
5. Ditinjau dari mekanikal yang ada pada Pembangkit Listrik Tenaga Mini-hidro yang meliputi turbin, unit penggerak putaran / unit penerus putaran (speed increaser), serta adanya vernelling untuk pengaturan kecepatan, maka syarat mekanik yang harus diperhatikan Yaitu :
 - Putaran turbin air harus sesuai kebutuhan, sehingga tenaga yang menggerakkan generator listrik cukup stabil.
 - Kekuatan mekanik dari turbin air sampai dengan penerus putaran dapat diandalkan sehingga keandalan kerja pembangkitan dapat terjamin.
 - Vernelling serta bagian-bagiannya cukup kokoh untuk mengatur kecepatan air dalam menggerakkan generator listrik yang melalui putaran turbin air.

6. Daftar Pustaka

1. Arismunandar, Dr. dan Dr. Susumumu Kuwahar, **Pembangkitan dengan Tenaga Air**, Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik, Jilid I, Pradnya Paramita, Jakarta : 1974.
2. Wiranto Arismunandar, Ir. **Penggerak Mula Turbin**, Universitas ITB, Bandung : 1977.
3. W. Culp Archie, Jr., Ph. D., Penerjemah Ir. Darwin Sitompul, M.Eng, **Prinsip-Prinsip Konversi Energi**, Erlangga, Jakarta : 1977.
4. Zuhail, **Dasar Teknik Listrik**, Universitas ITB, Bandung : 1977.
5. Pengembangan Produksi Turbin Mikro Hydro, PT Bereta Indonesia, Lokakarya PLTM Peningkatan Swadaya Masyarakat Dalam Pengembangan Mikro Hydro, PLN Pusat Penyelidikan Masalah Kelistrikan, Direktorat Jendral Listrik dan Energi Baru, Jakarta ; 16-17 Januari 1985.
6. Arismunandar A, **Teknik Tenaga Listrik**, Jilid I Pembangkitan Dengan Tenaga Air, Pradnya Paramita, Jakarta : 1979.
7. Ramadhan Otto, Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro-Hidro Dengan Memanfaatkan Kecepatan Aliran Sungai, Tugas Akhir, Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Semarang : 2003.
8. Arismunandar W, **Turbin**, Penerbit ITB, Bandung : 1997.
9. Patty O. F., **Tenaga Air**, Erlangga, Jakarta : 1995.
10. PT. PLN (Persero) Jasdik, **Pembangkitan** : 1997.
11. Sharma, K. N. **Pembangkit Listrik Tenaga Air**, Jakarta, UI-Press : 1991.
12. Wakil, M. M. EL, **Instalasi Pembangkit Daya**, Erlangga, Jakarta : 1992.
13. Sulasno, Ir. **Pusat Pembangkit Tenaga Listrik**, Satya Wacana, Semarang: 1992.