



Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Sungai Ciliman Kabupaten Pandeglang

Wahyuni Martiningsih^{1*}, Herudin¹, Achmad Bahtiar Rifa'i²

¹Teknik Elektro Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia

²PDAM Tirta Berkah Pandeglang, Indonesia

*Email Penulis: y.martiningsih@untirta.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Naskah Diterima 19/04/2019
Naskah Direvisi 29/04/2019
Naskah Disetujui 30/04/2019
Naskah Online 30/04/2019

ABSTRAK

Sumber energi untuk pembangkit listrik yang berasal dari fosil semakin menipis membuat manusia harus mencari sumber energi alternatif. Salah satu sumber energi listrik alternatif tersebut adalah air. Pembangkit listrik yang menggunakan air sebagai sumber utamanya dan menghasilkan energi di bawah 1 MW disebut PLTMH. Dengan besar debit rata-rata mencapai 9,18 m³/s dan *head* yang terukur mencapai 4,9 m. Sungai Ciliman di Kabupaten Pandeglang merupakan salah satu sungai yang mempunyai potensi energi yang cukup besar. Menggunakan turbin jenis propeler, potensi awal yang dapat dihitung mencapai 357 kW. Hasil simulasi menggunakan *software* Turbnpro, total produksi energi pertahun yang dihasilkan adalah sebesar 2679,64 MWH.

Kata kunci: Energi alternatif, PLTMH, debit, sungai Ciliman, turbnpro.

1. PENDAHULUAN

Sekarang ini krisis energi telah melanda hampir seluruh negara di dunia, terutama adalah krisis energi listrik. Hal ini diakibatkan karena saat ini kebanyakan pusat-pusat pembangkit listrik di seluruh dunia masih menggunakan sumber energi yang berasal dari fosil seperti minyak bumi, batubara, dan gas sebagai sumber energi utamanya. Seperti diketahui, bahwa sumber energi yang berasal dari fosil saat ini semakin hari semakin menipis persediaannya dan tidak dapat diperbaharui lagi. Meskipun saat ini sudah ada beberapa negara maju yang menggunakan energi nuklir sebagai sumber energi listrik, namun dikarenakan dampak negatif yang dapat ditimbulkan terhadap manusia dan lingkungannya membuat pembangkit listrik tenaga nuklir mengalami penolakan terutama oleh penduduk di negara-negara berkembang. Akibat hal tersebut, maka dilakukanlah penelitian-penelitian untuk membuat pusat listrik yang menggunakan sumber energi yang berasal dari non-fosil yang tidak menimbulkan dampak merusak bagi kesehatan manusia serta ramah terhadap lingkungan untuk menggantikan sumber energi yang

berasal dari fosil (minyak bumi, gas, batubara). Sementara disaat krisis energi yang melanda seluruh dunia, ternyata alam kita ini sangat kaya akan potensi-potensi yang dapat dijadikan sumber energi listrik, seperti banyaknya sumber-sumber air yang dapat dijadikan sebagai pusat listrik tenaga mikrohidro (PLTMH).

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro adalah suatu pembangkit listrik yang menggunakan air sebagai sumber utamanya. Menggunakan istilah mikrohidro karena merupakan pembangkit listrik skala kecil dengan output daya yang dihasilkan di bawah 1 MW.

Tenaga air yang digunakan untuk PLTMH biasanya aliran sungai, irigasi, ataupun air terjun alam dengan memanfaatkan perbedaan ketinggian (*head*) dan jumlah debit alirannya. Semakin besar debit aliran dan ketinggian yang digunakan, maka semakin besar pula energi yang dihasilkan.

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro juga dikenal sebagai *white resources* dengan terjemahan bebasnya yaitu "energi putih". Sebab instalasi pembangkit listrik seperti ini menggunakan sumber daya yang disediakan oleh alam dan ramah lingkungan.

Secara teknis, Mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sumber energi), turbin dan generator. Air yang mengalir dengan kapasitas tertentu disalurkan dengan ketinggian tertentu menuju rumah pembangkit. Di rumah pembangkit, air tersebut akan menumbuk turbin sehinggalporos turbin akan berputar dan menghasilkan energi mekanik. 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 (tim IMIDAP, 2009)

Untuk mendapatkan besar energi yang dihasilkan oleh suatu pembangkit listrik tenaga mikrohidro, digunakan Persamaan (tim IMIDAP, 2009):

$$P = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q \cdot \eta \quad (1)$$

Dengan :

P : daya keluaran

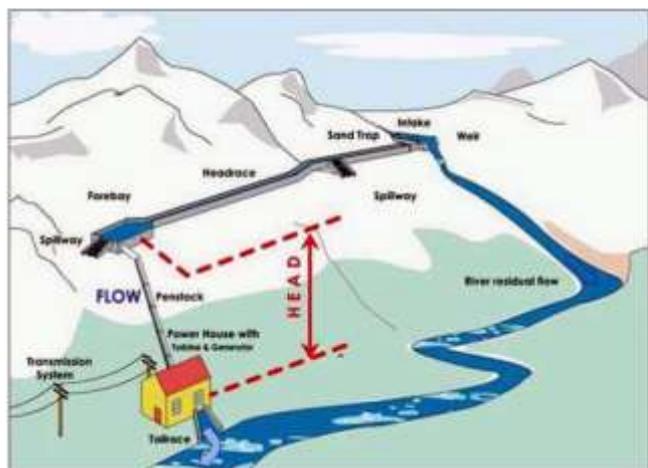
ρ : massa jenis air (kg/m^3)

η : efisiensi total sistem

g : percepatan gravitasi (m/s^2)

Q : debit air (m^3/s)

PLTMH biasanya menggunakan bendungan untuk menaikkan ketinggian muka air. Tidak seperti dam pada pembangkit listrik tenaga air lainnya, bangunan bendung pada PLTMH tidak menahan aliran sungai sehingga air sungai masih bisa mengalir dan tidak merusak ekosistem. Air sungai dibendung untuk kemudian dialihkan ke dalam intake. Bangunan pengambil (*intake*) ini dibangun memotong aliran sungai dan berfungsi untuk mengarahkan air dari sungai menuju saluran pembawa (*headrace channel*). Air selanjutnya dibawa menuju bak penenang (*forebay*). Dari forebay inilah air dialirkan melalui penstock ke rumah pembangkit (*power house*) untuk memutar turbin yang dikopling dengan generator hingga menghasilkan listrik. Sistem mikrohidro ini bisa dilihat pada Gambar 1



Gambar 1. Sistem Mikrohidro (Apip badarudin, Indarto, Deendarlianto, Hermawan, Aji Saka, M.Fikri Haykal Syarif 2014)

PLTMH terdiri dari beberapa bangunan sipil, yaitu bendung, intake, saluran pembawa, bak penenang, penstock, rumah pembangkit, dan saluran pelepasan[3]. Berikut ini penjelasannya (tim IMIDAP, 2009).

1. Bendung (Weir) dan Intake

Bendung didefinisikan sebagai bangunan yang berada melintang sungai yang berfungsi untuk membelokkan arah aliran air. Konstruksi bendung (Weir) bertujuan untuk menaikkan dan mengontrol tinggi air dalam sungai secara signifikan sehingga elevasi muka air cukup untuk dialihkan ke dalam intake pembangkit mikrohidro.

2. Saluran Pembawa

Bangunan saluran pembawa air adalah untuk mengalirkan air dari intake ke bak penenang dan untuk mempertahankan kestabilan debit air.

3. Bak Penenang

Bak penenang berfungsi untuk mengurangi kecepatan air yang masuk dari saluran, sehingga turbulensi air pada saat masuk ke dalam penstock berkurang. Berkurangnya turbulensi air meningkatkan daya yang dapat dibangkitkan. Bak penenang dilengkapi dengan saringan agar air yang masuk ke dalam turbin bebas dari benda-benda keras yang dapat merusak turbin.

4. Pipa Pesat

Pipa pesat berfungsi sebagai saluran untuk menghantarkan air dari bak menuju turbin. Pipa pesat harus kuat menahan tekanan air yang muncul ketika air diblok dari alirannya. Pipa pesat harus mampu menahan tekanan balik air (*surge* atau *water hammer*) yang timbul ketika katup pada turbin tiba-tiba tertutup oleh sesuatu atau terlalu cepat ditutup. Diameter minimum pipa pesat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2:

$$D = \left(\frac{10,3 \times n^2 \times Q^2 \times L}{H_{eff}} \right)^{0,1875} \quad (2)$$

Dengan:

D : diameter pipa (m),

Q : debit desain (m^3/detik),

L : panjang penstock(m),

H_{eff} : tinggi jatuh (head) (m)

n : koefisien manning

(0,012 untuk jenis welder stell)

5. Rumah Pembangkit

Rumah Pembangkit adalah bangunan yang berfungsi untuk melindungi peralatan mekanikal dan elektrik seperti turbin, generator, dan kontrol panel dari gangguan cuaca dan pencegahan dari pihak yang tidak berkepentingan serta pencurian alat-alat tersebut.

Head efektif diperoleh dengan mengurangi tinggi jatuh air total (dari permukaan air pada pengambilan sampai permukaan air saluran bawah) dengan kehilangan tinggi pada saluran air yang dirumuskan dengan persamaan (Patty, O.F, 1995):

$$H_{eff} = H_{bruto} - H_{losses} \quad (3)$$

dimana:

H_{eff} : head efektif

H_{bruto} : head bruto/ hasil pengukuran

H_{losses} : head dari tekanan air yang hilang

Untuk mendapatkan hasil optimal, maka sistem pembangkit ini didesain sedemikian hingga kehilangan tekanan maksimal 10% dari head bruto (Patty, O.F, 1995).

Dalam suatu sistem pembangkit listrik dengan tenaga air, turbin air merupakan salah satu peralatan utama selain generator. Turbin air berfungsi merubah energi potensial air menjadi energi mekanik. Energi mekanik yang terjadi pada poros turbin ini kemudian akan memutar generator sehingga dari generator tersebut menghasilkan energi listrik. Pemilihan turbin pada suatu pembangkit didasarkan pada beberapa pertimbangan antara lain head dari lokasi yang bersangkutan, daya yang ingin dibangkitkan, variasi debit air yang mengalir, serta kecepatan putaran turbin yang diinginkan untuk memutar generator. Tabel 1. mengklasifikasikan turbin berdasarkan head, dan Tabel 2. adalah klasifikasi head (Celso Penche, 1998).

Tabel 1. Pengelompokan Turbin

Jenis	Head tinggi	Head sedang	Head rendah
Turbin impuls	- Pelton - Turgo	- Crossflow - Multi jet Pelton - Turgo	- Crossflow
Turbin Reaksi		- Francis - Pump as Turbin (PAT)	- Propeller - Kaplan

Tabel 2. Klasifikasi Head

Klasifikasi	Nilai
Head rendah	2 - 30 meter
Head sedang	30 - 100 meter
Head tinggi	Lebih dari 100 meter

Berdasarkan prinsip kerja turbin air dalam mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis, turbin air dibedakan menjadi dua jenis yaitu turbin impuls dan turbin reaksi.

1. Turbin Impuls

Turbin impuls adalah turbin air yang merubah aliran air (energi potensial) menjadi semburan air melalui nozle yang diarahkan ke turbin. Semburan air tersebut kemudian menggerakkan sudu-sudu turbin berputar sehingga menghasilkan energi mekanik. Contoh turbin impuls adalah pelton, turgo, dan crossflow.

2. Turbin Reaksi

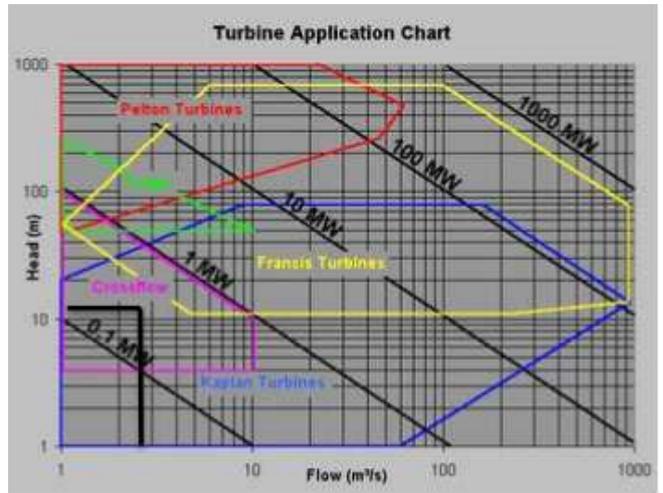
Pada turbin ini energi mekanik yang dihasilkan bukan hanya akibat energi kinetik tetapi diakibatkan juga oleh adanya perbedaan tekanan. Runner turbin jenis ini sepenuhnya tercelup dalam air dan berada di dalam rumah turbin. Kecepatan turbin reaksi relatif lebih tinggi dibandingkan turbin impuls pada debit dan ketinggian yang sama. Beberapa jenis turbin reaksi adalah turbin Francis, turbin Propeller/Kaplan.

Karakteristik suatu turbin dinyatakan oleh beberapa faktor, salah satunya adalah kecepatan spesifik. Kecepatan Spesifik (N_s) adalah kecepatan putar turbin yang menghasilkan daya sebesar satu satuan daya pada tinggi terjun (H efektif) satu satuan panjang.

Tabel 3. Jenis Turbin Air dan Kisaran Kecepatan Spesifiknya (N_s)

Jenis Turbin	N_s (rpm)
Turbin Impuls	Satu Jet (Pelton) 4 - 30 Banyak Jet (Double) 30 - 70
Turbin Reaksi	Francis N_s rendah 50 - 125 N_s normal 125 - 200 N_s tinggi 200 - 350 N_s ekspres 350 - 500 Propeller Sudu tetap (Nagler) 400 - 800 Sudu dapat diatur (Kaplan) 500 - 1000

Pemilihan jenis turbin berdasarkan debit dan head, grafik pemilihan turbin pada **Gambar 2** dapat memudahkan untuk memilih turbin yang sesuai dengan debit dan head yang tersedia.



Gambar 2. Grafik Pemilihan Turbin (Ashal Abdussalam n.d.)

Efisiensi turbin tidak tetap nilainya, tergantung dari keadaan beban dan jenis turbinnya. Kinerja dari suatu turbin dapat dinyatakan dalam beberapa keadaan; tinggi terjun maksimum, tinggi terjun minimum, tinggi terjun normal, dan tinggi terjun rancangan. Pada tinggi terjun rancangan turbin akan memberikan kecepatan terbaiknya sehingga efisiensinya mencapai maksimum. Pada Tabel 4 disajikan efisiensi turbin untuk berbagai kondisi.

Tabel 4. Efisiensi Turbin Untuk Berbagai Kondisi Beban

Jenis Turbin	N_s	% η berbagai kondisi beban					% Beban pada η_{maks}
		0,25	0,5	0,75	1,0	maks	
Pelton	22	81	86	87	85	87,1	70
Francis	75	62	83	88	83	88	75
	110	60	85	90	84	90,2	80
	220	59	83	90	85	91,5	85
	335	54	82	91	86	91	87,5
	410	47	71,5	85	87	91,5	92,5
	460	55	74,5	86,5	86	92,5	92
Propeller	690	45	70	84,5	82	91,5	92
	800	32	59	78	84	88	96
Kaplan	750	83,5	91	91,5	87	91,6	70

Ada dua cara kopling antara turbin dan generator. Pertama adalah kopling langsung dengan batang turbin dan batang generator. Kedua adalah kopling tidak

langsung dengan menggunakan fasilitas transmisi tenaga (*speed increaser*) antara batang turbin dan batang generator. Nilai kecepatan turbin adalah harus tetap dengan memilih jenis turbin dan kondisi disain asli dari *head* efektif dan debit air (keluaran air) dan tidak dapat diubah. Pada sisi lain, kecepatan generator harus dipilih dari frekuensi. Oleh sebab itu kecepatan turbin dan generator harus sama, agar turbin dan generator dapat dikopling langsung. Ada beberapa jenis transmisi mekanik yg biasa digunakan, yaitu jenis *gearbox* dan jenis *belt*.

Generator adalah suatu peralatan yang berfungsi mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Jenis generator yang digunakan pada perencanaan PLTMH biasanya adalah generator sinkron dan generator asinkron (motor induksi). Pemilihan generator yang didasarkan pada pemakaian daya sistem dengan kapasitas di bawah 30 kW biasanya menggunakan generator asinkron dengan pertimbangan harga murah, mudah didapat, dapat bertahan pada overspeed, sangat sedikit memerlukan pemeliharaan (Tim IMIDAP, 2009)

Pemilihan jenis generator untuk lokasi yang dipilih sesuai dengan daya output dan spesifikasi teknik dijabarkan pada tabel 5.

Tabel 5. Pemilihan Generator Berdasarkan Daya

Daya Terpasang	< 10 kW	10 - 30 kW	>30 kW
Tipe Generator	Sinkron atau Asinkron	Sinkron atau Asinkron	Sinkron
Jumlah Fasa	1 atau 3	1 atau 3	3

Kapasitas sebuah generator dinyatakan dalam Volt Ampere atau VA Sebuah generator harus memiliki kapasitas yang cukup untuk memenuhi kebutuhan pada saat beban maksimum. Dengan memperhatikan rugi-rugi (*losses*) generator serta untuk menjamin kinerja generator maka perlu adanya faktor keamanan, biasanya ditentukan 25%. Efisiensi generator secara umum adalah :

- Aplikasi < 10 kVA, efisiensi 0,7 - 0,8.
- Aplikasi 10 - 20 kVA, efisiensi 0,8 - 0,85.
- Aplikasi 20 - 50 kVA, efisiensi 0,85.
- Aplikasi 50 - 100 kVA, efisiensi 0,85 - 0,9.
- Aplikasi 100 kVA, efisiensi 0,9 - 0,95

Sistem kontrol berfungsi untuk menyeimbangkan energi *input* dan energi *output* dengan cara mengatur input (*flow*) atau mengatur *output* sehingga sistem akan seimbang. Perubahan beban terhadap waktu peran sistem kontrol sangat penting untuk menjaga stabilitas sistem, terutama kualitas listrik yang dihasilkan pembangkit (tegangan dan frekuensi).

Berdasarkan media yang dikontrol sistem kontrol dalam PLTMH dibagi menjadi 2 yaitu *flow control* dan *load control*.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Metode Penelitian

Pada penelitian ini dihitung besar potensi PLTMH sungai Ciliman secara manual dan menggunakan software Turbpro. Perhitungan untuk mendapatkan

besar potensi sungai menggunakan Persamaan 1. Data yang digunakan sebagai masukan berupa data primer dan sekunder. Data sekunder berupa data debit sungai, besar gravitasi, massa jenis air, dan efisiensi total sistem. Data debit sungai Ciliman diperoleh dari Balai PSDA Ciliman Cisawarna. Sedangkan data primer berupa data head yang didapat dengan cara melakukan pengukuran secara langsung ke lokasi penelitian, untuk mendapatkan head efektif yang akan digunakan sebagai data masukan simulasi, menggunakan Persamaan 2.

Data masukan untuk simulasi selain menggunakan data-data tersebut di atas, diperlukan juga data-data tambahan, yaitu temperatur air sungai dan elevasi lokasi penelitian seperti yang terlihat pada tabel 6.

Tabel 6. Data-data yang Terukur di Lokasi

Parameter	Nilai
Head yang terukur (Hg)	4,9 meter
Debit rata-rata tahunan	9,81 m ³ /s
Temperatur air sungai	28°C
Elevasi	22 meter

2.2. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Sungai Ciliman yang mengalir di Desa Pasanggrihan Kecamatan Munjul Kabupaten Pandeglang. Desa Pasanggrihan berjarak sekitar ± 53 KM dari pusat pemerintahan Kabupaten Pandeglang. Akses jalan menuju Desa Pasanggrihan sangat rusak dan banyak lubang sehingga sulit dan membutuhkan waktu yang lama untuk menuju kesana. Banyaknya rumah yang belum teraliri listrik di lokasi adalah sebanyak 25 rumah.

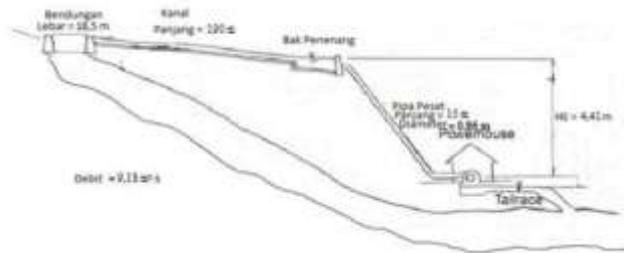
2.3. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. Diagram Alir penelitian

2.4. Perancangan PLTMH

Pada penelitian ini, PLTMH yang dirancang menggunakan skema RunOff-River. Skema ini cocok untuk sungai yang alirannya deras. Keuntungan skema ini adalah pembuatannya mudah, biayanya murah, lebih tahan lama, dan tidak mengganggu ekosistem air. Kekurangan skema ini adalah tidak adanya cadangan air sehingga ketika musim kering pasokan aliran air ke turbin akan banyak berkurang. Dalam skema ini aliran sungai dibendung untuk dialihkan ke dalam intake yang kemudian dialirkan melalui kanal menuju bak penenang, dan selanjutnya melalui pipa pesat menuju turbin. Air kemudian kembali ke sungai melalui saluran pelepasan (tailrace). Sketsa rancangan PLTMH dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Sketsa Perancangan PLTMH

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Debit yang Digunakan

Debit yang digunakan untuk perhitungan adalah debit rata-rata selama 4 tahun yang diperoleh dari debit rata-rata harian yaitu sebesar 9,19 m³/s. Data debit tersebut diperoleh dari balai PSDA Ciliman Cisawarna.

B. Head Efektif

Head Efektif diperoleh dengan memperhitungkan kehilangan energi. Dalam penelitian ini kehilangan energi diasumsikan sebesar 10% dari head bruto (4,9 m).

$$H_{losses} = 0,01 \times 4,9 = 0,49 \text{ m}$$

Sehingga perkiraan head efektif akan diperoleh sebesar:

$$H_{eff} = 4,9 - 0,49 = 4,41 \text{ m}$$

C. Pemilihan Jenis Turbin

Berdasarkan debit dan head yang tersedia, jenis turbin yang digunakan bisa dipilih dengan melihat grafik pada gambar 2. Sehingga dengan debit sebesar 9,19 m³/s dan head efektif 4,41 m, maka dipilihlah turbin jenis propeller (Irwanto Wahyu Kusumo, 2008).

D. Daya yang Dihasilkan

Dari data-data yang diperoleh, dapat dihitung potensi energi listrik dari desain turbin yang dirancang. Dengan menggunakan Persamaan 1, diperoleh energi listrik:

$$P = 1000 \times 4,41 \times 9,18 \times 9,8 \times 0,9 = 357 \text{ kW}$$

E. Perencanaan Bangunan Sipil

Bendungan yang digunakan pada PLTMH ini adalah tipe beton gravity. Panjang bendungan PLTMH membentang sepanjang lebar aliran sungai, yaitu 18,5 m, sedangkan tinggi bendungan dari dasar sungai adalah

2-3 meter. Pada salah satu sisi bendungan terdapat bangunan intake dengan lebar 1m.

Saluran pembawa yang digunakan untuk PLTMH ini adalah tipe beton. Lebar saluran adalah 1 m dan kedalaman 0,8 m. Panjang saluran dari pintu intake sampai ke bak penenang adalah 190 m.

Dimensi bak penenang yang digunakan adalah panjang 4 m, lebar 2 m, ketebalan 0,3 m, dan kedalaman 2 m. konstruksi terbuat dari bahan beton. Pada bak penenang terdapat spillway.

Jenis pipa penstock yang digunakan adalah welded steel. Panjang pipa adalah 15 m. Diameter minimum pipa pesat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2:

$$D = \left(\frac{10,3 \times n^2 \times Q^2 \times L}{H_{eff}} \right)^{0,1875} = 0,85 \text{ m}$$

Rumah pembangkit terbuat dari batu bata yang dipleter semen dengan ukuran 7 x 6 m.

F. Simulasi Turbnpro

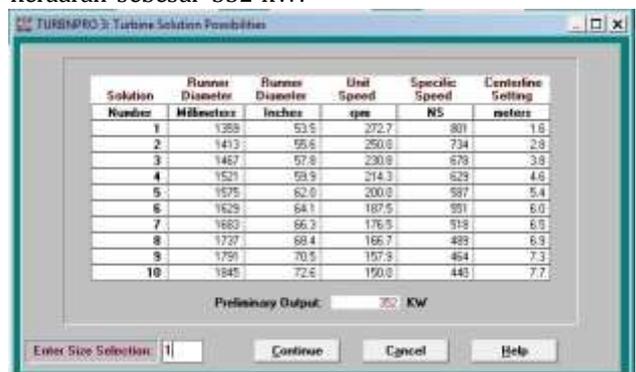
Dari perhitungan sebelumnya diperoleh data-data yang akan digunakan pada simulasi Turbnpro, seperti yang terlihat pada tabel 7.

Tabel 7. Data input untuk Simulasi Turbnpro

Parameter	Ukuran
Debit air	9,18 m ³ /s
Head efektif	4,41 m
Head gros lokasi	4,9 m
Elevasi lokasi	22 m
Temperatur air	22°C
Ketinggian turbin dari tailwater	1 m
Efisiensi output maksimum	0,7
Rasio head	3
Frekwensi sistem	50 H
Head efektif minimum	2 m

Berdasarkan data-data masukan pada tabel 8, akan didapat beberapa pilihan solusi ukuran dan kecepatan turbin seperti yang terdapat pada gambar 5.

Pada Gambar 5, terdapat 10 pilihan solusi yang dapat digunakan. Pilihan solusi yang sesuai dengan keadaan di lokasi adalah pilihan nomor 1. Dengan diameter 53,5 inchi, kecepatan 272,7 rpm, dan kecepatan spesifik 801 rpm. Disini juga diperoleh daya keluaran sebesar 352 kW.

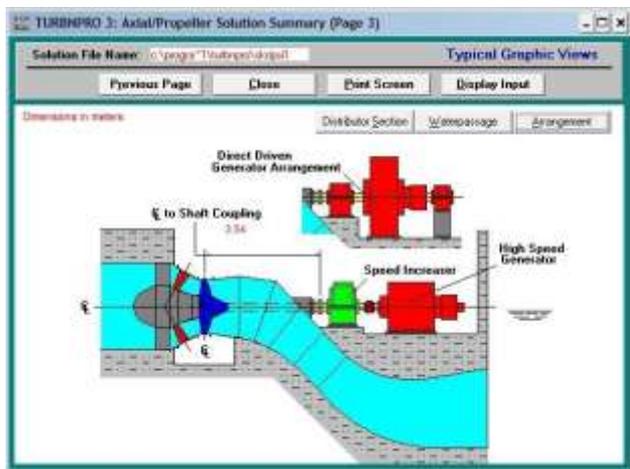


Gambar 5. Pilihan Solusi Turbin

Hasil ini berbeda dengan hasil perhitungan manual sebesar 357 kW. Perbedaan yang terjadi karena perbedaan efisiensi yang digunakan.

Susunan turbin yang dipilih adalah tubular, yang berorientasi horizontal. Susunan ini dipilih karena membutuhkan luas daerah yang lebih kecil dengan kedalaman draft tube lebih pendek dibandingkan dengan orientasi vertical, serta lebih mudah dalam perawatan generator dan bentuk Power House lebih sederhana.

Untuk regulasi turbin yang dipilih adalah jenis Kaplan yang dapat diatur gate dan bladanya. Kaplan dipilih karena didesain untuk dapat beroperasi secara optimal pada rentang debit yang lebar sehingga menghasilkan daya yang lebih besar. Kaplan memiliki efisiensi maksimum pada rentang head dan debit yang besar. Kaplan akan menghasilkan energi terbesar, terutama pada lokasi dengan variasi debit yang besar.



Gambar 6. Susunan Turbin dengan Generator

Berdasarkan gambar 6, dapat dilihat bahwa susunan turbin dengan generator adalah horizontal, dan bentuk draft tubenya adalah S, sehingga susunan turbin seperti itu sering juga disebut turbin tubular S-type.

Tabel 9 menunjukkan bahwa kondisi dengan efisiensi terbaik yaitu sebesar 92,1% terjadi pada saat debit sebesar 6,45 m³/s dengan energi yang dihasilkan sebesar 257 kW.

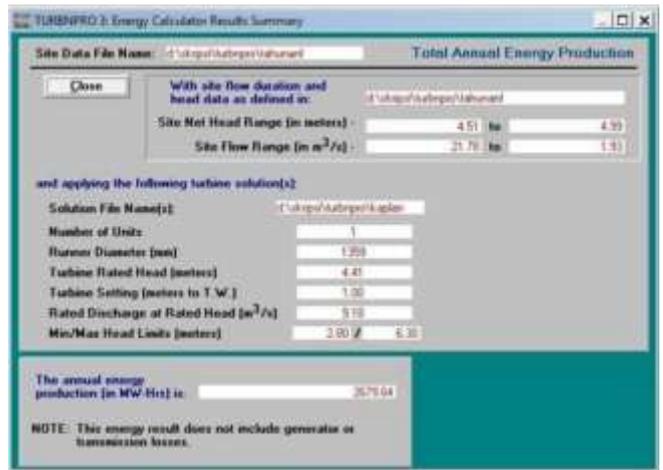
Table 9. Data Performa Turbin Pada Berbagai Debit Dengan Head Tetap

Power (kW)	Efisiensi (%)	Discharge (m ³ /s)	Notes
410	91,6	10,35	Cavitating operatoin!
406	91,7	10,24	Cacitating Power Limit
391	91,8	9,83	Additional Output Capability
371	92,0	9,32	Additional Output Capability
365	92,0	9,18	Rated Flow/Head Condition
350	92,0	8,80	-
330	92,1	8,28	-
309	92,1	7,76	-
289	92,1	7,25	-
268	92,1	6,73	-
257	92,2	6,45	Best Efficiency Condition
247	92,1	6,21	-
226	91,9	5,69	-
205	91,5	5,18	-
183	90,8	4,66	-

161	90,0	4,14	-
139	88,9	3,62	-
117	87,1	3,11	-
95	85,1	2,59	-
73	81,9	2,07	-
51	76,4	1,55	-
31	68,3	1,04	-
9	41	0,52	Low Efficiency, not use in Energy Calculation

Dapat dilihat juga bahwa kinerja turbin dibatasi oleh operasi kavitasi saat aliran debit sebesar 10,24 m³/s, dan kavitasi itu sendiri terjadi saat debit mengalir sebesar 10,35 m³/s, yang artinya turbin tidak boleh beroperasi pada besar debit tersebut. Sedangkan pada saat debit sebesar 0,52 m³/s, efisiensi yang dihasilkan rendah sehingga tidak digunakan pada perhitungan. Semua kondisi tersebut terjadi pada head tetap, yaitu sebesar 4,41 m.

Berdasarkan desain turbin yang telah dibuat, dapat dihitung energi yang dihasilkan pertahunnya yang dapat digunakan untuk acuan dalam melakukan tinjauan ekonomi dan kelayakan. Hasil perhitungan energi pertahun atau total produksi energi pertahun, dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Total Produksi Energi pertahun

Pada gambar 7 dapat dilihat bahwa total produksi energi pertahun yang dihasilkan adalah sebesar 2679,64 MWH untuk besar head antara 4,51 m sampai 4,99 m dengan besar debit antara 21,78 m³/s sampai 1,93 m³/s.

Berdasarkan daya keluaran turbin cukup besar yaitu >30 kW, maka generator yang digunakan generator sinkron 3 fasa. Nilai kecepatan yang dipilih sebesar 1000 rpm, dengan frekuensi jaringan yang digunakan 50 Hz. Karena generator ini diaplikasikan untuk daya >100 KW, maka efisiensi generator adalah antara 0,9 - 0,95. Disini efisiensi yang digunakan untuk perhitungan dipilih yang terendah, yaitu 0,9.

Transmisi mekanik yang dipakai adalah jenis belt dengan efisiensi antara 95%-98%. Efisiensi yang digunakan adalah yang terendah, yaitu 95%. Sedangkan berdasarkan referensi yang ada, nilai Faktor daya (pf) yang digunakan sebesar 0,8 lagging, sehingga output generator adalah:

$$P_g (kVA) = \frac{P \times \eta_g \times \eta_d}{pf} = 381 \text{ kVA}$$

Berdasarkan besarnya output tersebut, dipilih generator dengan rating tegangan 380-440 V , 50 Hz, 1000 rpm dan rating daya 450 kVA. Generator ini mempunyai rating *overspeed* hingga 2200 rpm.

Dengan besar daya/energi yang dihasilkan sebesar 381 kVA, maka suplai listrik untuk 25 rumah adalah lebih dari cukup. Dengan asumsi tiap rumah mendapat pasokan daya sebesar 950 VA ($25 \times 950 = 23.750 \text{ VA}$). Sehingga dari hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa daya yang digunakan hanya berkisar 67% dari daya yang dihasilkan.

4. KESIMPULAN

Dengan debit sebesar 9,18 m³/s dan Heff sebesar 4,41 m, dipilih turbin jenis propeller yang digunakan untuk perencanaan Pembangkit Listrik Mikrohidro di Sungai Ciliman Kabupaten Pandeglang. Besar potensi yang dapat dibangkitkan berdasarkan perhitungan manual adalah sebesar 357 kW, sedangkan berdasarkan simulasi menggunakan *software Turbnpro* sebesar 352 kW. Untuk total produksi energi pertahun yang dihasilkan adalah sebesar 2679,64 MWH.

Output generator pada sistem PLTMH ini didapat sebesar 381 kVA, dan yang digunakan untuk menyuplai 25 rumah hanya sebesar 0,24 kVA atau sekitar 6,7%..

5. DAFTAR PUSTAKA

- Apip badarudin, Indarto, Deendarlianto, Hermawan, Aji Saka, M.Fikri Haykal Syarif, A.W., 2014. Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Head Rendah dan Portable Budi. *Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara*, (2008), pp.42-46.
- Ashal Abdussalam, DESAIN ULANG PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) WANGAN AJI GARUNG WONOSOBO Ashal.
- Celso Penche (1988) "Layman's Guidebook On How Develop a Small Hydro Sitte". Bruselas : European Small Hydropower Association.
- Gama Prayoga (2008) "Studi Potensi Pembangkit Listrik Mikrohidro Head Rendah Sungai Cisangkuy Kabupaten Bandung (Kajian Teknis)". Bandung: ITB
- Tim Integrated Microhydro Development and Application Program (2009). "Buku 2C Pedoman Studi Kelayakan Mekanikal Elektrikal". Direktorat Jenderal Listrik Dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi Dan Sumber Daya Mineral.
- Tim Integrated Microhydro Development and Application Program (2009). "Buku 2B Pedoman Studi Kelayakan Sipil". Direktorat Jenderal Listrik Dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi Dan Sumber Daya Mineral
- O.F Patty (1995) "Tenaga Air". Jakarta: Erlangga
- Irwanto Wahyu Kusumo (2008) "Metode Optimalisasi Pemilihan Sistem Turbin Low Head Hydro Power Studi Kasus Sungai Cisadane". Bandung: ITB