

## Analisis Desain Turbin PLTMH Wae Roa Terhadap Performa Daya dan Debit Air dengan Simulasi CAD

Andreas Perwira Yudi<sup>1✉</sup>, Leonard Lisapaly<sup>2</sup>, Togar Pangaribuan<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Magister Teknik Elektro, Program Pascasarjana, Universitas Kristen Indonesia, Indonesia

<sup>2,3</sup> Magister Teknik Elektro, Program Pascasarjana, Universitas Kristen Indonesia, Indonesia

### Informasi Artikel

#### Riwayat Artikel

Diserahkan : 15-05-2024

Direvisi : 20-05-2024

Diterima : 24-05-2024

#### Kata Kunci:

Bucket, mikrohidro, pelton

#### Keywords :

Bucket, microhydro,  
pelton

### ABSTRAK

Untuk menghadapi kebutuhan energi nasional yang diperkirakan akan semakin tinggi dan mencapai target bauran energi pada tahun 2050, diperlukan suatu perencanaan yang matang oleh pemerintah dan pemerhati usaha yang bergerak di bidang energi. Selain dari energi fosil, yaitu minyak, gas, dan batubara, suplai energi juga datang dari sumber-sumber energi terbarukan. Mikrohidro merupakan salah satu energi terbarukan yang dapat dikembangkan di Indonesia mengingat alam Indonesia yang berlimpah dengan air dan dataran tinggi yang cocok untuk membuat pembangkit listrik mikrohidro. Sebelum suatu proyek energi dibangun, adalah lazim untuk melakukan sebuah studi kelayakan untuk memperkirakan potensi daya yang dapat dihasilkan oleh proyek tersebut. Untuk mendapatkan studi kelayakan yang tepat, sebuah simulasi dengan CAD telah dilakukan pada PLTMH Wae Roa yang telah beroperasi dengan tujuan untuk melihat akurasi hasil simulasi dengan kenyataan. Diharapkan, simulasi dengan CAD nantinya dapat diterapkan sebelum PLTMH baru dibangun.

### ABSTRACT

*To face national energy needs which are expected to increase and achieve the energy mix target by 2050, careful planning is needed by the government and business observers operating in the energy sector. Apart from fossil energy, namely oil, gas and coal, energy supply also comes from renewable energy sources. Microhydro is one of the renewable energies that can be developed in Indonesia considering that Indonesia's nature is abundant with water and the highlands are suitable for making microhydro power plants. Before an energy project is built, it is common to conduct a feasibility study to estimate the potential power that the project can produce. To obtain a proper feasibility study, a CAD simulation has been carried out at the Wae Roa PLTMH which has been operating with the aim of seeing the accuracy of the simulation results with reality. It is hoped that simulations using CAD can later be applied before the new PLTMH is built.*

#### Corresponding Author :

Andreas Perwira Yudi

Magister Teknik Elektro, Program Pascasarjana, Universitas Kristen Indonesia, Indonesia

Jl. Diponegoro 84-86, Jakarta 10430

Email: [diasperwira@gmail.com](mailto:diasperwira@gmail.com)

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Waduk yang besar di Indonesia antara lain yaitu PLTA Jatiluhur atau PLTA Saguling. Jumlah daya dari PLTA ini sangat besar bisa mencapai ratusan Mega Watt. Sedangkan mikro hidro hanya mencapai ribuan Kilo Watt saja dayanya. Dengan adanya program pemerintah untuk mencapai daya 35000 MW maka semua potensi sumber daya di Indonesia harus dioptimalkan. Mengingat banyaknya sumber mata air dan jumlah air yang berlimpah di seluruh pulau di Indonesia.

Pembangunan bendungan oleh pemerintah melalui Kementerian PU akan dikembangkan untuk menarik kerja sama karena merupakan bagian dari program pemerintah. Sehingga investor dapat menyewa lahan untuk bisa memproduksi listrik. Penyedia infrastruktur ini dapat bekerja sama dengan PLN sesuai dengan Permen ESDM No. 50 /2017 tentang pemanfaatan sumber energi terbarukan untuk penyediaan tenaga listrik.

Dengan meningkatnya produksi mesin lokal di banyak Negara berkembang. Banyak tersedia mesin-mesin, peralatan dan tenaga terampil, namun masih kurang adanya informasi dan pengetahuan. Salah satu kategori yang dapat diproduksi lokal adalah turbin air dengan produksi, pemasangan dan pengoperasian kincir air kecil. Hal ini dapat mendorong pengembangan lebih lanjut yaitu dengan membuat simulasi dari peralatan turbin air yaitu jenis turbin pelton. Torsi dari turbin pelton berasal dari jet turbin/jet water yang dapat menghasilkan defleksi pada runnet bucket, atau kata lain dari turbin pelton adalah free jet turbin,

Untuk mendapatkan hasil maka digunakan simulasi dan perhitungan pada letak geografis turbin, ketinggian head, debit air dan lain-lain. Data-data penelitian digunakan untuk membuat perhitungan efisiensi pembangkit. Turbin pelton dapat bekerja dengan baik jika mempunyai ketinggian dan debit air yang rendah. Selain turbin ini yaitu turbin francis tidak bisa dapat efisiensi jika debit air rendah.

### Literatur Pembangkit

Waduk yang besar di Indonesia antara lain yaitu PLTA Jatiluhur atau PLTA Saguling. Jumlah daya dari PLTA ini sangat besar bisa mencapai ratusan Mega Watt. Sedangkan mikro hidro hanya mencapai ribuan Kilo Watt saja. Dengan adanya program pemerintah untuk mencapai daya 35000 MW maka semua potensi sumber daya di Indonesia harus dioptimalkan. Mengingat banyaknya sumber mata air dan jumlah air yang berlimpah di seluruh pulau di Indonesia.

Pembangkit listrik tenaga air adalah sumber energi terbarukan yang mempunyai nilai ekonomis dan dapat diandalkan untuk energi jangka panjang. Pembangkit listrik tenaga air dengan skala besar dipengaruhi oleh kurangnya tempat situs yang potensial disamping memerlukan modal biaya dan waktu pengembangan yang lama. Namun dengan adanya pembangkit mikrohidro masalah ini dapat diatasi dengan mengumpulkan data kecepatan aliran air yang ada di darah dataran tinggi dan disungai-sungai.

Nilai ekonomis sebagian besar tergantung pada lokasi yang dipilih dan karakteristik hidrologi. Ukuran sistem dan parameter desain harus dipilih secara cermat agar mengoptimalkan operasi pembangkit listrik. Adapun operasi turbin dan generator berfungsi sebagai penambah pasokan listrik PLN. Maka dengan itu harus memiliki efisiensi yang baik dalam jangkauannya dan melakukan sinkronisasi dengan jaringan tersebut.

### Potensi Daya

Berdasarkan data yang dimiliki kementerian ESDM total keseluruhan potensi tenaga air yang dimiliki Indonesia sebesar 75 GW dan baru dimanfaatkan sebesar 10 %. PLN sudah memetakan 89 lokasi sebesar 12 GW. Masih banyak potensi yang belum dikaji dan dipetakan.

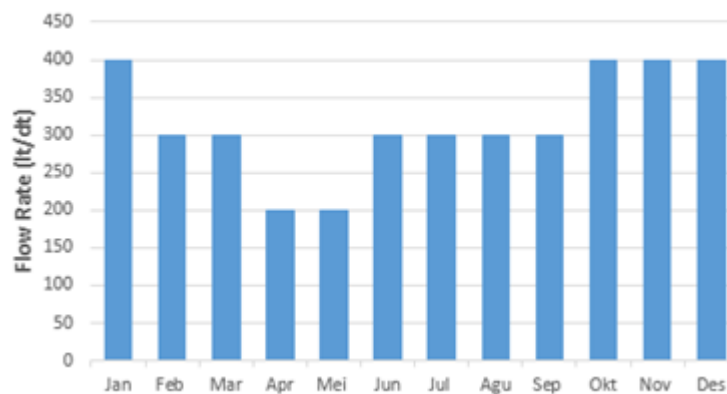


**Gambar 1.** Sungai dan air terjun di dataran tinggi.

Contoh pemanfaatan adalah pada Gambar 1. Masih banyak sungai-sungai di alam Indonesia belum dikembangkan sebagai penghasil listrik. Tetapi untuk melakukan pembangunan tersebut haruslah dengan tidak merusak keindahan alam dan lingkungan hidup sesuai amdal. Studi kelayakan oleh lembaga-lembaga dan masyarakat peduli lingkungan sangat mempengaruhi konsep suatu pekerjaan instalasi yang dibangun terhadap dampak lingkungan yang terjadi.

## METODE PENELITIAN

Tampak pada data dari formula turbin pelton mempunyai pilihan desain secara khusus sesuai dengan situs pada pembangkit listrik yang akan dibuat. Maka untuk mendapatkan simulasi dari efisiensi adalah dengan menghitung dimensi turbin dan memperkirakan rata-rata debit air setiap bulan dan ketinggian *head*. Gambar 2 memperlihatkan data debit air setiap bulan dalam satu tahun.



**Gambar 2.** Data debit air setiap bulan.

Dari Gambar 2 terlihat bahwa rata-rata debit air di lokasi adalah 300 lt/dt. Beberapa metode adalah dengan membuat sample data debit air dan perhitungan ketinggian *head*. Sungai dengan debit air sebesar 20 lt/dt masih dapat menghasilkan listrik. Walaupun debit air kecil masih dapat dibuat dengan mengubah ukuran diameter jet water.

Manufakturing turbin pelton mempunyai gaya hidrolis dan batas dinamik dengan maksimum *head* 200-300 meter, minimum *head* 10 meter, dan mempunyai diameter jet 4 mm – 80 mm. Pada keseluruhan sistem efisiensi berlaku minimum 72,2 % yang bisa diharapkan sesuai dengan kebutuhan pasar. Persamaan power input sesuai dengan kalkulasi daya turbin hidro adalah:

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

Pengaruh dari gaya hidrolis yang masuk berdasarkan besarnya grafitasi. Kekuatan tekanan hidro pada jet water power mengakibatkan tekanan gaya dorong pada turbin. Dengan kalkulasi persamaan power output pada turbin generator.

$$F = \eta \rho Q (C_1 - Un)(1 + \cos\beta) \dots (2)$$

$$P = \eta \rho Q (UnC_1 - Un^2)(1 + \cos\beta) \dots (3)$$

Kecepatan jet water ketika defleksi dengan bucket turbin.

$$C_1 = k_c \sqrt{2gH} \dots (4)$$

dimana  $k_c$  = Nozzle Koefisien (0,96...0,98).

Energi kinetik jet water mengubah menjadi energi mekanik sehingga dapat menggerakkan turbin. Desain dengan menggunakan persamaan momentum kecepatan bucket atau turbin adalah setengah dari kecepatan jet water. Realitas optimal kecepatan turbin ditentukan 0,48 kali.

$$Un = 0,48C_1 \dots (5)$$

Diameter dari jet water dapat dihitung dengan persamaan:

$$d = \sqrt{4Q / (\pi C_1)} \dots (6)$$

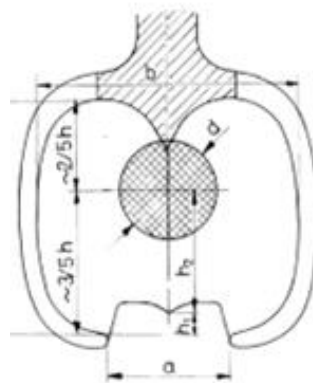
Pitch Circle Diameter (PCD) pada rotor mempunyai rotasi putaran per menit yang sama dengan yang putaran generator (RPM) yang sama. Sistem memiliki transmisi rasio ( $i=1$ ) karena generator ini menggunakan *direct coupling*.

$$D = \sqrt{60U_1 i / (\pi n_G)} \dots (7)$$

**Tabel 1.** Perbandingan diameter jet vs lebar bucket

Diameter jet (d)	Lebar bucket (b)
3 – 6 mm	19 mm
6 – 10 mm	30 mm
10 – 15 mm	45 mm
15 – 20 mm	60 mm
20 – 25 mm	75 mm
25 – 30 mm	90 ,,

Efisiensi turbin pelton dengan skala kecil biasanya tidak setinggi turbin skala besar. Dengan efisiensi turbin 0,72 – 0,85 akan mendapatkan efisiensi generator listrik 0,5 – 0,6. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi seperti susunan geometris dan bentuk bucket. Tabel 1 ini merupakan rekomendasi standar untuk ukuran bucket dan diameter jet water. Ukuran ada yang kecil dan besar untuk beberapa model sesuai dengan ukuran pelton turbin.



**Gambar 3.** Dimensi bucket

$$b=(2,5...3,2)d \dots (8)$$

$$h=(2,1...2,7)d \dots (9)$$

$$h1=(0...0,35)d$$

$$h2=(0,85...1,5)d$$

Bucket ini yang terpasang pada seluruh rotor dan berputar searah dengan pancaran dari jet water. Maka perlu dipasang dengan kondisi yang signifikan. Kecepatan dan PCD adalah linier seperti persamaan (7) yaitu putaran per menit. RPM dapat disesuaikan dengan mengubah diameter roda rotor. Ada kemungkinan turbin tidak mendapatkan kecepatan optimal, karena spesifikasi dari pabrikan yang sudah mempunyai standart PCD.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Simulasi

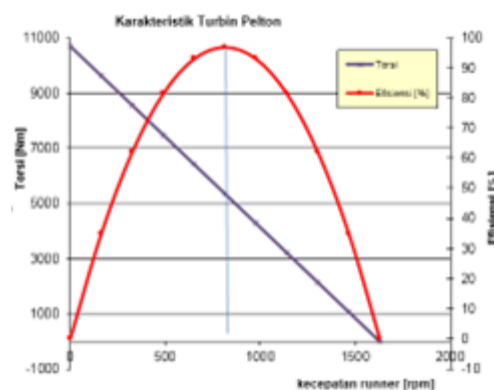
Penggunaan perhitungan turbin pelton yang ada di PLTMH Wae Roa mempunyai ketinggian *head* 160 meter dan debit air 200 400 liter/detik. Perkiraan kecepatan *jet water* adalah 56,03 m/dt.

**Tabel 2.** Daya turbin dengan spesifikasi jumlah debit air

Debit air	Diameter Jet Water	Daya Turbin
0,2	70 mm	302505,65 W
0,3	80 mm	453758,47 W
0,4	100 mm	605011,29 W

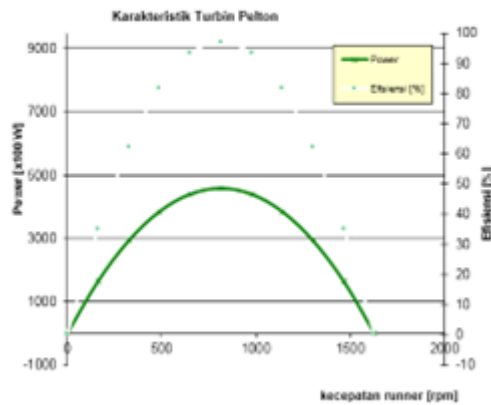
Pada Tabel 2 debit air berpengaruh pada daya yang dihasilkan turbin. Semakin besar debit air maka daya yang dihasilkan akan semakin bertambah. Generator yang berputar sesuai dengan poros turbin akan menghasilkan listrik dan memiliki nilai rpm yang optimum dan standar pabrikan.

Debit air pada aliran sungai akan selalu berubah karena adanya perubahan cuaca. Musim kemarau dan musim hujan adalah suatu faktor yang perlu diperhitungkan. Sistem turbin pelton ini dapat disesuaikan diameter jet water-nya karena tergantung dari banyaknya debit air sungai yang mengalir. Asumsi debit air rata rata adalah 0,3 m<sup>3</sup>/dt. Perencanaan untuk pemakaian generator dengan kapasitas 500 kVA. Didapatkan melalui simulasi perhitungan dengan nilai PCD sebesar 660 mm.



**Gambar 4.** Grafik perhitungan kecepatan vs torsi dan efisiensi dengan nilai PCD 660 mm.

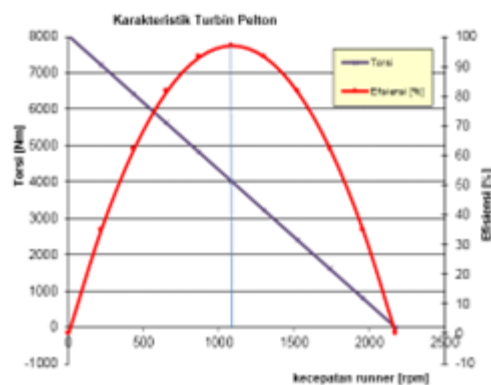
Pada Gambar 4 diperlihatkan perhitungan torsi berdasarkan kecepatan turbin ( $U_n$ ) dari gaya tekanan yang berasal dari jet water. Efisiensi Turbin memperoleh nilai sebesar 72 %.



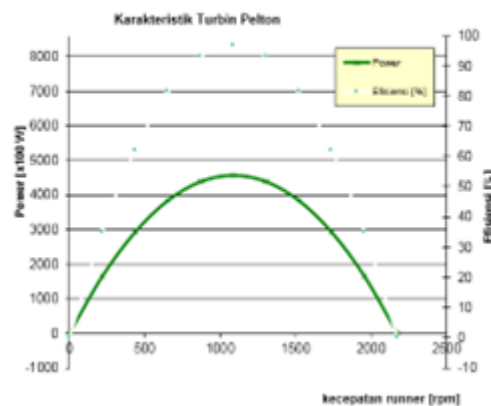
**Gambar 5.** Grafik perhitungan power vs efisiensi dengan nilai PCD 660 mm.

Gambar 5 memperlihatkan optimasi kecepatan runner berdasarkan grafik garis torsi adalah sebesar 750 rpm. Hasil efisiensi generator mempunyai nilai 46-48 % dan nilai torsi sebesar 5348 Nm.

Nilai suatu PCD dapat mengubah nilai torsi. Tetapi untuk mengubah daya generator tergantung dari jumlah debit air. Perhitungan torsi dari nilai PCD sebesar 490 mm seperti tampak pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Grafik perhitungan kecepatan vs torsi dan efisiensi dengan nilai PCD 490 mm.



**Gambar 7.** Grafik perhitungan power vs efisiensi dengan nilai PCD 490 mm.

Gambar 7 memperlihatkan grafik kecepatan runner optimum sebesar 1080 rpm. Hasil efisiensi generator mempunyai nilai 50 - 52 % dengan nilai torsi sebesar 4012 Nm. Maka dari simulasi kedua ukuran PCD 660 mm dan 490 mm mempunyai efisiensi generator yang berbeda. Terlihat pada grafik adanya perubahan pada rpm, torsi dan efisiensi. Perhitungan ini untuk

pemilihan generator yang telah disesuaikan dengan kontur dan tata letak geografis. Kedua ukuran PCD tersebut dapat dipakai walaupun untuk PCD 660 mm turbin tersebut efisiensi generatornya dibawah 50 % yaitu sekitar 250 kW. Tetapi generator tetap menghasilkan daya sebesar 438,41 kW.

### Perancangan

Metode dari hasil simulasi akan digunakan sebagai data yang penting untuk peninjauan letak geografis. Sehingga selanjutnya dibuat perencanaan infrastruktur yang akan dibangun sesuai dengan data perhitungan dan efisiensi tersebut. Setelah desain infrastruktur dan instalasi telah dibuat berguna sebagai perijinan. Kementerian PU adalah lembaga yang mendukung dan mengatur salah satu perijinan dan kelayakan pembangunan sarana dan pengairan.

**Tabel 3.** Data perancangan teknik

Uraian	Keterangan
Debit desain	300 liter/detik
Diameter jet water	0,07 meter
Diameter runner	0,49 meter
Tinggi head	160 meter
PCD	490 mm
Generator	
Daya output	438,41 kW
RPM	1000 RPM

Pada Tabel 3 adalah data desain *engineering* yaitu survei yang telah dilakukan dan juga data desain infrastruktur untuk kelengkapan dokumen. Sebagai bentuk kajian untuk proses pembangunan guna percepatan energi nasional.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Kemajuan teknologi merupakan salah satu upaya untuk percepatan energi nasional. Transisi energi nasional adalah suatu cara khusus dalam bidang teknologi masa depan yang ramah lingkungan untuk mencapai net zero emission pada tahun 2050. Disamping biaya operational yang murah tetapi terdapat biaya infrastruktur sangat mahal. Sehingga lembaga terkait perlu melakukan sinkronisasi untuk membuat kemudahan kebijakan dan menguntungkan.

Turbin pelton sangat cocok digunakan untuk letak geografis yang tinggi dan sungai yang debit airnya rendah. Blue-print dan Pembuatan rancangan infrastruktur penting dilakukan tentang bagaimana suatu keadaan kontur permukaan pegunungan, kondisi hutan dan jenis tanah di dekat lokasi pembangkit.

Simulasi perhitungan debit air, daya, rancangan turbin (PCD) dan efisiensi adalah salah satu cara persiapan data teknis untuk percepatan energi nasional. Dengan melakukan sinkronisasi antara lembaga yang berkelanjutan berdasarkan agenda pembangunan berkelanjutan tahun 2030.

Untuk menentukan dimensi PCD ukuran yang lebih kecil didapatkan hasil rpm generator semakin tinggi dan sebaliknya jika ukuran PCD lebih besar maka rpm generator semakin kecil. Torsi optimum hasilnya semakin rendah maka mempunyai efisiensi generator yang lebih baik. Torsi yang rendah juga mempunyai rpm yang tinggi

**REFERENSI**

1. Anuradha Wijesinghe & Loi Lei Lai. Small Hydro Power Plant Analysis and Development. State Grid Energy Research Institute, 2011.
2. Markus Eisenring. Micro Pelton Turbines, Harnessing Water Power on a Small Scale. SKAT, Swiss Center for Appropriate Technology, 1991.
3. Jeremy Thake. The Micro Hydro Pelton Turbine Manual, A Guide to the Design, Manufacture and Installation of Pelton Turbines for Small Scale Hydropower. Intermediate Technology Publication, 2000.
4. Felix, A. Ishola., Joseph Azeta., George Agbi., Obafemi, O. Olatunji., & Festus Oyawale. Simulation for Material Selection for a Pico Pelton Turbine's Wheel and Buckets. 2nd International Conference on Sustainable Materials Processing and Manufacturing, 2019.
5. N. Kholifah., A. C. Setyawan., D. S. Wijayanto., I. H. Widiastuti., & H. Saputro., Performance of Pelton Turbine for Hydroelectric Generation in Varying Design Parameters. The 2nd Annual Applied Science and Engineering Conference, 2018.