

TURBIN AIR PADA PLTA LARONA

Abdul Muis¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Tadulako

Abstract

Hydro turbine is one of turbines that used to rotate electricity generator that using limited speed of water to produce mechanical energy. This research aimed to find out hydro turbine characteristics of the hydro electric power plant of Larona by observation of variation of the water flow toward to the electric generator output. The results show that flow escalation will increase head loss along penstock pipe but will increase turbine efficiency and power of turbine and finally also will increase power output of the generator. In this research maximum turbine efficiency is 92.51% and 58.16 MW power of the turbine at rate flow 47.53 m³/s.

Abstrak

Turbin air adalah salah satu turbin yang digunakan untuk memutar generator untuk menghasilkan tenaga listrik yang menggunakan fluida air pada kecepatan tertentu untuk menghasilkan energi mekanis/putaran turbin. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik turbin air yang digunakan pada pembangkit listrik tenaga air (PLTA) Larona dengan mengamati pengaruh variasi laju aliran (debit) air terhadap daya generator yang dihasilkan oleh generator. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan debit aliran air akan meningkatkan kerugian head sepanjang pipa pesat/penstock namun akan meningkatkan efisiensi dan daya turbin sehingga juga meningkatkan daya output generator. Efisiensi turbin maksimal yang dicapai pada penelitian ini adalah 92.51% dengan daya turbin 58.16 MW pada laju aliran air 47.5 m³/s.

Kata kunci: turbin, debit, efisiensi, daya, generator.

I. Pendahuluan

Ketersediaan energi listrik sudah merupakan keharusan bagi keberlanjutan pembangunan setiap negara. Energi listrik adalah merupakan kebutuhan primer dan telah hampir menyamai tingkat kebutuhan terhadap sandang, pangan dan papan. Karenanya setiap negara berlomba untuk membangun pembangkit tenaga listrik yang bersesuaian dengan kondisi geografis dan sumber daya alam yang tersedia.

Indonesia sebagai negara yang berada pada garis khatulistiwa yang beriklim tropis memiliki cadangan hutan yang berlimpah yang menyediakan mata air/sumber air yang membentuk danau, dan sungai yang mengalirkan air sepanjang tahun. Air yang mengalir tersebut merupakan sumber energi yang salah satu manfaatnya untuk memutar turbin air untuk menghasilkan tenaga listrik.

Beberapa keunggulan pembangkit listrik tenaga air (PLTA) adalah terjaminnya ketersediaan listrik tanpa batasan waktu selama intensitas aliran air dapat dipertahankan sesuai kebutuhan

turbin/pembangkit, tidak menimbulkan polusi sehingga aman bagi lingkungan dan juga pengaturan air dari fasilitas pembangkit dapat digunakan sebagai sumber pengairan bagi lahan pertanian.

PT Inco sorowako sebagai salah satu produsen nickel di Indonesia yang berlokasi di Sorowako, Sulawesi selatan dalam desain pabriknya menyadari betul keunggulan PLTA tersebut sehingga telah membangun dan menggunakan dua PLTA dan saat ini juga sementara telah membangun PLTA yang ketiga. PLTA yang telah beroperasi saat ini yang salah satunya adalah PLTA Larona.

1.1 Turbin Air dan Klasifikasinya

Turbin air merupakan turbin dengan air sebagai fluida kerjanya. Sifat air mengalir dari tempat yang tinggi ke tempat yang lebih rendah yang membuatnya memiliki energi potensial. Dalam proses aliran di dalam pipa energy potensial tersebut berangsur-angsur berubah menjadi energi kinetik. Di dalam turbin energi kinetik air dirubah menjadi energi mekanis, dimana air memutar turbin.

Secara umum turbin air dapat digolongkan dalam dua golongan utama berdasarkan prinsip perubahan momentum fluida kerjanya yaitu:

1. Turbin impuls, semua energi potensial air pada turbin ini dirubah menjadi menjadi energi kinetis sebelum air masuk/ menyentuh sudu-sudu runner oleh alat pengubah yang disebut nozel. Yang termasuk jenis turbin ini antara lain : Turbin Pelton dan Turbin Cross-Flow
2. Turbin reaksi, seluruh energi potensial dari air dirubah menjadi energi kinetis pada saat air melewati lengkungan sudu-sudu pengarah, dengan demikian putaran runner disebabkan oleh perubahan momentum oleh air. Yang termasuk jenis turbin reaksi diantaranya : Turbin Francis, Turbin Kaplan dan Turbin Propeller.

Parameter yang umum digunakan dalam pemilihan turbin yang akan digunakan dalam desain pembangkit listrik tenaga air adalah kecepatan spesifik (n_s). Kecepatan spesifik adalah kecepatan turbin dimana dapat menghasilkan daya 1 horse power (hp) untuk setiap head (h) = 1 ft. Dalam bentuk persamaan, kecepatan spesifik dapat dinyatakan sebagai:

$$n_s = \frac{n\sqrt{P_t}}{(h_{eff.})^{5/4}} \dots\dots\dots(1)$$

dimana:

- n_s = kecepatan spesifik
- P_t = daya turbin (hp)
- n = kecepatan turbin pada efisiensi maksimum (rpm)
- $h_{eff.}$ = head efektif/tinggi air jatuh (ft)

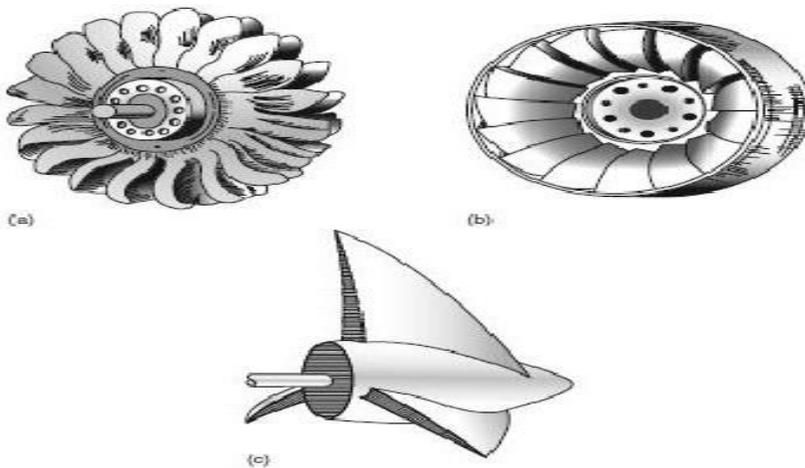
Dengan demikian untuk kondisi air dan topografi tertentu (Q dan $h_{eff.}$ tertentu) dengan berdasarkan kecepatan spesifiknya dapat ditentukan jenis turbin yang sebaiknya digunakan agar dapat diperoleh efisiensi yang maksimum. Untuk hal tersebut dapat dipergunakan sebagai pedoman tabel 1.

Berdasarkan tabel 1 nampak bahwa turbin pelton (impuls) adalah turbin air dengan kecepatan spesifik terendah dan bekerja pada head yang paling tinggi. Sedangkan turbin propeller

adalah turbin air dengan kecepatan spesifik yang tinggi, sehingga cocok untuk head yang rendah namun debit air (Q) yang tinggi.

Tabel 1. Jenis turbin air dan kecepatan spesifiknya.

Jenis turbin	Kecepatan spesifik $n_s (rpm)$	Efisiensi $\eta_t (\%)$	Head/Tinggi air jatuh $H (ft)$
Impuls (Pelton)	2 - 4 4	85 - 90 90	6000 - 2000 2000
Francis	4 - 7 30 - 82 82 - 90	90 - 82 90 - 94 94 - 93	2000 - 400 500 500 - 70 70 - 45
Propeler	100 - 140 140 - 250	94 94 - 85	100 - 15 15 - 10



Gambar 1: Turbin tenaga air a.Pelton, b. Francis, c. Propeller

I.2 Komponen utama PLTA Larona

PLTA Larona mendapatkan suplai air dari sungai Larona yang merupakan akhir dari akumulasi tiga danau yang berlokasi di daerah Kecamatan Nuha Kabupaten Luwu Timur yaitu Danau Matano di Sorowako, Danau Mahalona dan Danau Towuti di Timampu. Air dari sungai Larona tersebut kemudian diarahkan ke bendungan/dam yang dikenal dengan nama bendungan Batu Besi.

Dari bendungan ini air dialirkan melalui kanal terbuka berpenampang persegi dengan panjang sekitar 7 km, lebar 14 m dan tinggi 5 meter. Pada ujung kanal dibuat saluran transisi untuk mengalirkan air dari kanal ke dalam tiga buah pipa pesat/penstock yang masing-masing berukuran kurang lebih panjang 1331,9 meter dan diameter 3.66 hingga 2.6 meter. Penyempitan diameter pada

pipa pesat tersebut dimaksudkan untuk meningkatkan kecepatan pada air saat nanti memasuki spiral turbin.



Gambar 2: Bendungan Batu Besi dan kanal terbuka



Gambar 3: Penstock dan lokasi turbin PLTA Larona

I.3 Turbin Air Larona

Turbin air yang digunakan pada PLTA Larona adalah jenis Turbin Francis yang bersesuaian dengan kondisi topografi lokasi PLTA yang menghasilkan total net head 148,5 meter. Ada tiga unit turbin yang digunakan dengan tipe poros tegak yang dikopel dengan generator buatan Hitachi Limited. Adapun spesifikasi data turbin air PLTA Larona:

Daya nominal	: 87,750 HP	Diameter poros	: 635 milimeter
Head	: 140 meter	Putaran nominal	: 272,5 rpm
Diameter inlet spiral turbin	: 2600 milimeter	Putaran liar	: 504 rpm
Diameter runner turbin	: 2847 milimeter	Putaran kritis	: 761 rpm

I.4 Generator Larona

Generator yang terpasang pada PLTA Larona adalah tipe Umbrella dengan jenis Synchronous dengan poros tegak. Spesifikasi dari masing-masing generator adalah sebagai berikut:

Type	: vertical sharp	Maximum rating	: 75000 KVA
------	------------------	----------------	-------------

Phasa	: 3 phasa	Rated voltage	: 11000 volt
Speed	: 272.5 rpm	Temp. rise at rated load	: 60°C
Overload	: 115%	Temp. rise at over load	: 80°C
Pole	: 22	Ambient temperature	: 40°C
Rated Cavacity	: 65000 KVA	Exciter rating	: 250 A
Rated current	: 3412 A	Maximum exciter ampere	: 748 A
Frequency	: 50 Hz		

I.5 Head Loss Pada PLTA Larona

Aliran air dalam sebuah wadah/penampang tertutup akan mengalami penurunan energi atau head total di sepanjang arah aliran. Head yang hilang tersebut disebabkan oleh gesekan fluida dengan permukaan penampang (major losses) dan head yang hilang yang disebabkan oleh gangguan yang dialami aliran dalam penampang (minor losses) misalnya pemasangan sambungan, katup belokan dan lainnnya. Kerugian head yang disebabkan oleh gesekan tersebut akan berbanding lurus dengan panjang pipa serta kuadrat kecepatan cairan dan berbanding terbalik dengan diameter pipa. Dapat dituliskan dalam persamaan:

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g} \dots\dots\dots(2)$$

dimana:

- | | | | |
|-------|----------------------------|-----|------------------------|
| h_f | = head loss akibat gesekan | D | = diameter pipa |
| f | = factor gesekan Darcy | V | = kecepatan aliran air |
| L | = panjang pipa | g | = percepatan gravitasi |

Sedangkan kerugian head akibat gangguan pada aliran sebanding dengan kuadrat kecepatan cairan dan faktor gangguan aliran. Dapat dituliskan dalam persamaan:

$$h_m = k \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(3)$$

dimana:

- | | | | |
|-------|------------------------------------|-----|------------------------|
| h_m | = head loss akibat gangguan aliran | V | = kecepatan aliran air |
| k | = faktor gangguan aliran | g | = percepatan gravitasi |

Pada PLTA Larona kerugian head tersebut terjadi di dalam pipa pesat (pipa penstock) yang diakibatkan oleh:

- a. Gesekan antara aliran air dengan permukaan dalam pipa dengan panjang total 1331,9 meter dengan diameter yang bervariasi dari 3,66 hingga 2,6 meter. Material pipa yang digunakan adalah pipa baja komersil.
- b. Kerugian akibat pemasangan saringan air pada ujung pipa masuk.
- c. Kerugian akibat perubahan penampang pada ujung pipa.
- d. Kerugian akibat belokan pada pipa.
- e. Kerugian akibat perubahan diameter pipa.

Untuk menentukan head efektif pada PLTA larona digunakan persamaan:

$$h_{eff.} = h_{tot} - h_f + h_m \quad \dots\dots\dots(4)$$

dimana:

- | | | | |
|------------|----------------|-------|------------------------------------|
| $h_{tot.}$ | = head total | h_f | = head loss akibat gesekan |
| $h_{eff.}$ | = head efektif | h_m | = head loss akibat gangguan aliran |

I.6 Karakteristik Turbin

Karakteristik turbin digunakan untuk mengetahui kinerja turbin yang terdiri dari dua hal yaitu efesiensi dan daya turbin.

Untuk menentukan efesiensi turbin digunakan persamaan:

$$n_t = \frac{N_g}{n_g \cdot Q \cdot \rho \cdot g \cdot h_{eff.}} \quad \dots\dots\dots(5)$$

dimana:

- | | | | |
|-------|-----------------------|------------|------------------------|
| n_t | = efesiensi turbin | ρ | = kerapatan fluida air |
| N_g | = daya generator | g | = percepatan gravitasi |
| n_g | = efesiensi generator | $h_{eff.}$ | = head efektif |
| Q | = debit aliran air | | |

Sedangkan daya turbin dapat diketahui dengan menggunakan persamaan:

$$P_t = \rho \cdot g \cdot Q \cdot h_{eff.} \cdot n_t \quad \dots\dots\dots(6)$$

dimana:

- | | | | |
|--------|------------------------|------------|--------------------|
| P_t | = daya turbin | Q | = debit aliran air |
| ρ | = kerapatan fluida air | $h_{eff.}$ | = head efektif |
| g | = percepatan gravitasi | n_t | = efesiensi turbin |

II. Metodologi

Eksperimen dilakukan dengan melakukan peninjauan langsung dan pengambilan data pada PLTA Larona selama sebulan (30 hari). Data yang digunakan adalah debit aliran (Q) pada tiap unit turbin satu serta daya yang dihasilkan oleh generator (P-gen).

III. Hasil dan Pembahasan

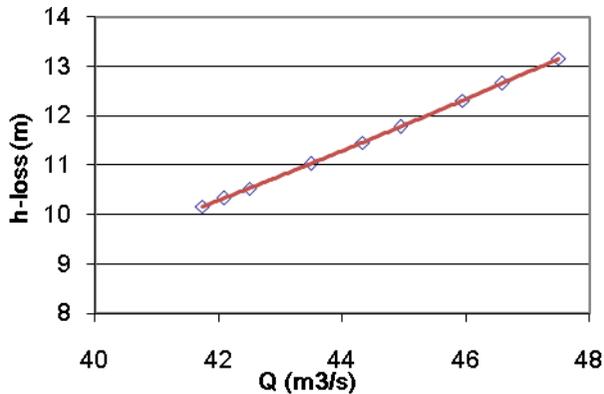
Data yang diperoleh kemudian diolah agar memudahkan dalam analisa. Hasil yang diperoleh sebagai berikut:

III.1. Hubungan antara Debit Aliran dengan Rugi Head

Debit aliran adalah volume air yang mengalir pada pipa dalam satuan waktu, dan berdasarkan perhitungan, hubungannya dengan rugi head sepanjang pipa pesat/penstock diperlihatkan pada gambar 4.

Pada gambar 4 memperlihatkan bahwa perubahan debit aliran dalam pipa pesat akan berpengaruh pada rugi head yang mana peningkatan debit aliran sepanjang pipa akan

meningkatkan rerugi head yang terjadi yang merupakan total rerugi head yang diakibatkan oleh major losses dan minor losses. Pada penelitian ini diperoleh laju aliran (debit) air minimum pada 41.74 m³/s yang menyebabkan rerugi head total sebesar 10.16 m dan laju aliran maksimum pada 47.5 m³/s dengan rerugi head total 13.16 m. Rerugi head yang disebabkan oleh gesekan (major losses) memberikan kontribusi yang signifikan terhadap total rerugi head yang terjadi. Pengaruh peningkatan kecepatan fluida air akibat meningkatnya debit aliran yang bergesekan sepanjang pipa adalah penyebabnya.



Gambar 4: Grafik hubungan antara debit aliran (Q) dengan rerugi head (h-loss).

Peningkatan kecepatan fluida ini diharapkan dapat meningkatkan daya putar fluida terhadap turbin saat menabrak sudu-sudu, karenanya jika diharapkan untuk lebih menekan rerugi head akibat gesekan tersebut disarankan untuk menurunkan tingkat kekasaran pada internal pipa dengan menggunakan material yang lebih halus dan juga penggunaan material yang tahan terhadap korosi yang disebabkan oleh fluida air dan zat-zat yang larut didalamnya, karena terjadinya korosi mengakibatkan permukaan menjadi kasar sehingga meningkatkan gaya gesek antara pipa dan fluida air dan dalam jangka panjang akan merusak pipa pesat tentunya.

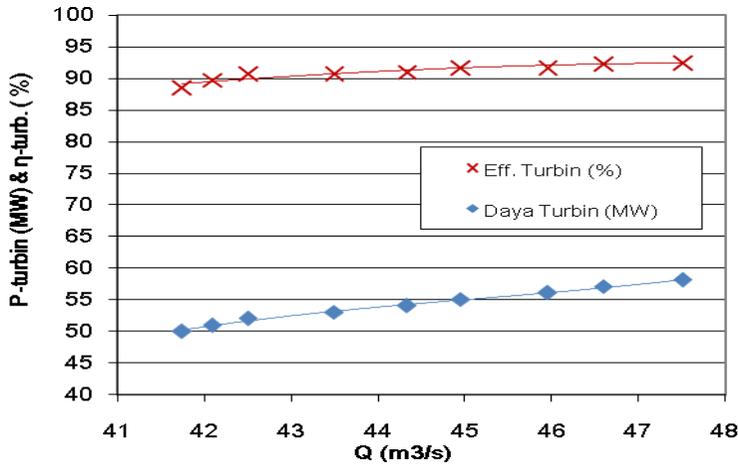
III.2. Kurva Karakteristik Turbin

Karakteristik turbin diindikasikan oleh debit aliran yang dibutuhkan, efisiensi (η_t) dan daya turbin (P_t) yang dihasilkan. Hubungan ketiga variabel tersebut akan menghasilkan kurva karakteristik turbin yang merupakan informasi vital dan sangat berguna ketika hendak mendisain sebuah PLTA.

Untuk kasus ini, dari hasil perhitungan, diperoleh kurva karakteristik yang diperlihatkan dalam gambar 5. Dari gambar 5 di atas menunjukkan bahwa dengan meningkatnya debit aliran dalam turbin juga akan meningkatkan efisiensi serta daya yang dihasilkan oleh turbin. Pada range debit aliran (Q) 41.74 (m³/s) hingga 47.505 (m³/s) akan menghasilkan efisiensi turbin (η_t) pada range 88.55% hingga 92.51% serta daya yang dihasilkan oleh turbin (P_{turb}) pada range 50,0 MW hingga 58.16 MW.

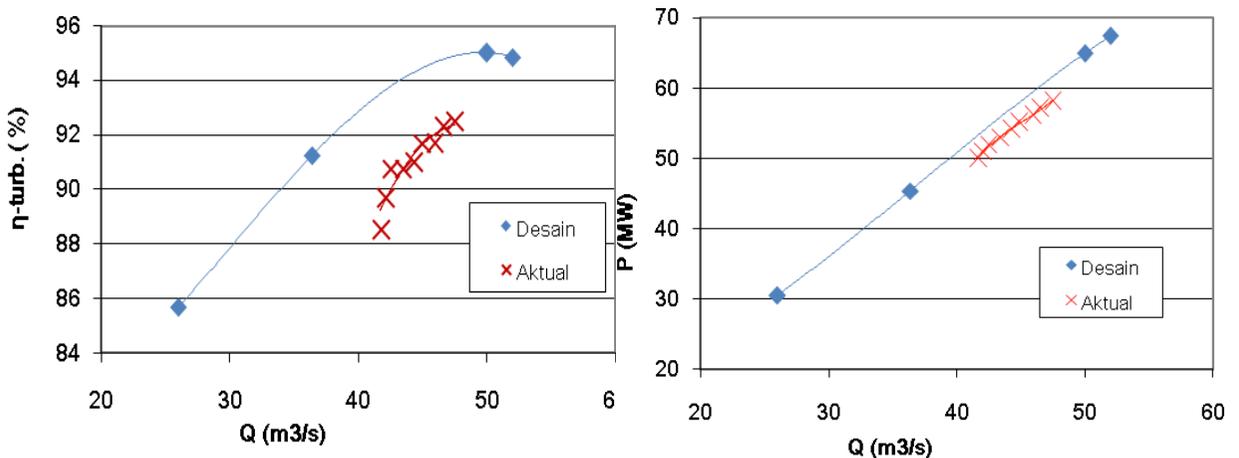
Kecepatan aliran air dalam pipa pesat adalah merupakan energi kinetik fluida air tersebut yang kemudian oleh turbin dirubah menjadi energi mekanis (putaran). Karenanya meningkatnya

kecepatan fluida air (energi kinetik fluida) yang diakibatkan oleh peningkatan debit aliran juga akan meningkatkan energi mekanis turbin yang ditandai dengan meningkatnya efisiensi dan daya turbin.



Gambar 5: Kurva karakteristik turbin

Dari penelusuran di lapangan, diperoleh data desain karakteristik turbin PLTA Larona dan membandingkannya dengan kondisi aktual yang diperoleh sebagai berikut:

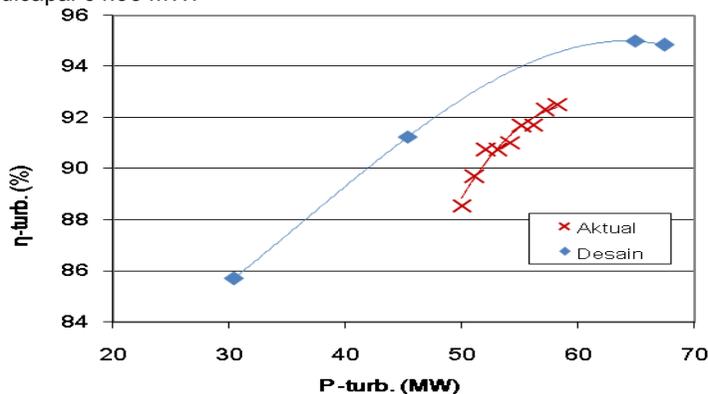


Gambar 6: Perbandingan kurva karakteristik turbin (desain & aktual)

Perbandingan kurva karakteristik menunjukkan bahwa efisiensi dan daya desain turbin lebih baik dari efisiensi dan daya aktual turbin. Kondisi ini terjadi karena data desain turbin menggunakan perhitungan rugi head pada kondisi pipa yang masih baru atau dengan kata lain factor gesekan yang lebih kecil dari kondisi aktual saat ini dimana pipa pesat telah beroperasi lebih dari dua puluh tahun yang menyebabkan permukaan pipa telah menjadi lebih kasar. Akibatnya rugi head total (total head loss) akan lebih besar pada laju aliran air (debit) yang sama, sehingga efisiensi dan daya turbin akan berkurang.

III.3. Efisiensi dan Daya Turbin

Hubungan antara efisiensi dan daya turbin dapat diperlihatkan dalam gambar 7. Grafik pada gambar 7 menunjukkan bahwa dengan semakin meningkatnya efisiensi turbin akibat peningkatan debit aliran maka daya yang dihasilkan oleh turbin pun akan semakin besar. Dari data operasional yang diperoleh efisiensi minimum turbin pada 88.55% akan menghasilkan daya 50 MW dan maksimum pada 92.51% dengan daya yang dihasilkan 58.16 MW. Akan tetapi pada grafik desain turbin memperlihatkan bahwa kecenderungan tersebut akan optimal pada efisiensi 95% dengan daya turbin yang bisa dicapai 64.93 MW.



Gambar 7: Grafik Efisiensi terhadap Daya Turbin

IV. Kesimpulan

Peningkatan debit aliran air akan meningkatkan kerugian head total pada aliran di sepanjang pipa pesat/penstock. Pada penelitian ini diperoleh laju aliran (debit) air minimum pada 41.74 m³/s yang menyebabkan kerugian head total sebesar 10.16 m dan laju aliran maksimum pada 47.5 m³/s dengan kerugian head total 13.16 m.

Efisiensi dan daya yang dihasilkan oleh turbin akan meningkat seiring dengan peningkatan laju aliran air. Pada range debit aliran (Q) 41.74 (m³/s) hingga 47.505 (m³/s) akan menghasilkan efisiensi turbin () pada range 88.55% hingga 92.51% serta daya yang dihasilkan oleh turbin () pada range 50,0 MW hingga 58.16 MW.

V. Ucapan Terima kasih

Terima kasih yang sebesar-besarnya kami haturkan kepada pimpinan PT Inco terkhusus pada departemen utilities yang memberikan akses untuk memperoleh data yang diperlukan untuk tulisan ini.

VI. Daftar Pustaka

1. Frank M. White, 1988, "Fluid Mechanics", McGraw Hill.
2. Robert W. Fox, Alan T. McDonald, Philip J. Pritchard, 2003 "Introduction to Fluid Mechanics", John Wiley & Sons, Inc.
3. W. Arismunandar, 2004, "Penggerak Mula Turbin", Penerbit ITB.