

The Effect of Turbine Blades on Turbine Output Power at Tonsealama Hydropower Plant

Pengaruh Sudu - Sudu Terhadap Daya Output Turbin di PLTA Tonsealama

Alvin Afrianto, Lily S. Patras, Stanley Tangkuman

Dept. of Electrical Engineering, Sam Ratulangi University Manado, Kampus Bahu St., 95115, Indonesia

e-mail: alvinafrianto002@gmail.com, lily_spatras@unsrat.ac.id, st75@unsrat.ac.id

Received: [date]; revised: [date]; accepted: [date] (Times New Roman 11)

Abstract — *This study aims to analyze the effect of variations in blade shape, number, and angle on the output power of the turbine and generator at the Tonsealama Hydroelectric Power Plant (PLTA), which utilizes a Francis-type turbine. The blades, including both guide vanes and runner blades, play a crucial role in the conversion of water's potential energy into mechanical energy, which is then transformed into electrical energy by the generator. The research was conducted through calculations of turbine and generator power output based on combinations of blade shape variations (curved, straight, airfoil), blade quantities (12, 18, 24), and blade angles (60°, 75°, 90°). The results show that the combination of airfoil-shaped blades with a quantity of 24 and a 90° angle produced the highest turbine and generator power outputs, at 4,226,775 Watts and 4,015,436 Watts, respectively. Conversely, the combination of straight blades with a quantity of 12 and a 60° angle yielded the lowest power output. These findings confirm that blade shape, number, and angle significantly affect the energy conversion efficiency in hydroelectric systems and can serve as a reference for optimizing turbine and generator performance.*

Key words— Turbine Blades; Turbine Power; Generator Power

Abstrak — Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi bentuk, jumlah, dan sudut sudu terhadap daya output turbin dan daya output generator pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Tonsealama yang menggunakan turbin tipe Francis. Sudu, baik sudu pengarah (guide vane) maupun sudu gerak (runner), merupakan komponen penting dalam proses konversi energi potensial air menjadi energi mekanik, yang selanjutnya dikonversi menjadi energi listrik oleh generator. Metode penelitian dilakukan melalui perhitungan daya turbin dan daya generator berdasarkan kombinasi variasi bentuk sudu (lengkung, lurus, airfoil), jumlah sudu (12, 18, 24), dan sudut sudu (60°, 75°, 90°). Hasil analisis menunjukkan bahwa kombinasi sudu berbentuk airfoil dengan jumlah 24 dan sudut 90° menghasilkan daya turbin dan daya generator tertinggi, masing-masing sebesar 4.226.775 Watt dan 4.015.436 Watt. Sebaliknya, kombinasi sudu berbentuk lurus dengan jumlah 12 dan sudut 60° memberikan hasil daya terendah. Temuan ini menunjukkan bahwa bentuk, jumlah, dan sudut sudu memiliki pengaruh signifikan terhadap efisiensi konversi energi pada sistem PLTA, dan dapat menjadi dasar dalam optimalisasi kinerja turbin dan generator.

Kata kunci — Sudu Turbin; Daya Turbin; Daya Generator

I. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang banyak dimanfaatkan di Indonesia. PLTA bekerja dengan mengubah energi potensial

dan kinetik dari aliran air menjadi energi mekanik melalui turbin, kemudian dikonversi menjadi energi listrik oleh generator. Salah satu jenis turbin yang umum digunakan dalam PLTA adalah turbin Francis, yang dirancang untuk mengakomodasi aliran air pada tekanan menengah hingga tinggi.

Efisiensi kerja turbin dalam sistem PLTA sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya adalah karakteristik sudu (blade) pada turbin, baik sudu pengarah (guide vane) maupun sudu gerak (runner). Sudu memiliki peran penting dalam mengarahkan dan menerima aliran air sehingga proses konversi energi dapat berlangsung optimal. Parameter utama sudu seperti bentuk, jumlah, dan sudut kemiringan terbukti memiliki pengaruh signifikan terhadap performa turbin dan, secara tidak langsung, terhadap daya output generator.

PLTA Tonsealama merupakan salah satu pembangkit yang memanfaatkan turbin Francis dalam sistemnya. Namun, dalam upaya meningkatkan efisiensi konversi energi, perlu dilakukan analisis lebih lanjut terhadap desain sudu yang digunakan. Pemahaman terhadap pengaruh variasi bentuk, jumlah, dan sudut sudu menjadi penting sebagai acuan dalam pengembangan desain turbin yang lebih optimal.

Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi bagaimana kombinasi variasi sudu mempengaruhi output daya turbin dan generator pada PLTA Tonsealama. Fokus utama dari studi ini adalah untuk mengetahui sejauh mana efisiensi sistem dapat ditingkatkan dengan melakukan optimasi terhadap karakteristik sudu turbin. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat memberikan kontribusi nyata dalam peningkatan kinerja sistem PLTA serta menjadi referensi teknis bagi pengembangan turbin Francis di masa mendatang.

A. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

Energi kebutuhan primer pada perkembangan teknologi sekarang ini, dimana manusia sangat tergantung pada energi listrik. Di dalam menjalankan aktivitasnya disamping itu juga kebutuhan energi listrik yang semakin lama semakin meningkat sejalan dengan perkembangan teknologi yang ada, yang secara tidak langsung menyatakan bahwasannya sistem kelistrikan harus di perhatikan secara khusus [1].

PLTA memanfaatkan energi potensial dan energi kinetik dari air baik dari bendungan, air terjun maupun aliran sungai.



gambar 1 Siklus PLTA (Sumber : lestari.kompas.com)

Energi potensial dan energi kinetik dari air dirubah menjadi energi mekanik oleh turbin air dan kemudian energi mekanik dirubah menjadi energi listrik oleh generator [2].

Secara prinsip, Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) bekerja dengan mengubah energi potensial air menjadi energi listrik melalui beberapa tahapan konversi energi. Energi potensial yang dihasilkan akibat perbedaan ketinggian (head) diubah menjadi energi kinetik melalui aliran air. Energi kinetik tersebut kemudian menggerakkan turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi mekanik selanjutnya dikonversi menjadi energi listrik melalui putaran rotor pada generator. Besarnya energi listrik yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh dua parameter utama, yaitu tinggi jatuhnya air (head) dan debit aliran air [3].

Secara berurutan, proses konversi energi dalam PLTA meliputi:

- 1) Energi potensial, akibat perbedaan elevasi air,
- 2) Energi kinetik, dari kecepatan aliran air,
- 3) Energi mekanik, hasil dari putaran turbin,
- 4) Energi listrik, yang dihasilkan oleh generator melalui putaran rotor.

Sistem PLTA terdiri dari beberapa komponen utama yang mendukung proses konversi energi air menjadi energi listrik [4]. Komponen-komponen tersebut meliputi :

- 1) Intake
Berfungsi sebagai pintu masuk air ke sistem, intake dirancang untuk menaikkan permukaan air sungai guna menciptakan tinggi jatuh (head) dan dapat dibangun dari berbagai material seperti tanah, batu, atau beton.
- 2) Reservoir
Bertugas menyimpan air dan meningkatkan elevasi permukaan air, sehingga energi potensial air yang akan dialirkan ke turbin menjadi lebih besar.
- 3) Penstock
Merupakan pipa pesat yang mengalirkan air dari reservoir menuju turbin. Penstock biasanya dibuat dari baja atau beton agar mampu menahan tekanan aliran air yang tinggi.
- 4) Turbin
Komponen ini mengubah energi kinetik air menjadi energi mekanik. Terdapat dua jenis utama turbin, yaitu turbin impuls (seperti Pelton, Turgo, Crossflow) dan turbin

reaksi (seperti Francis, Kaplan, dan Propeller).

- 5) Generator
Berfungsi mengubah energi mekanik dari turbin menjadi energi listrik melalui proses induksi elektromagnetik.
- 6) Transformator
Digunakan untuk menaikkan tegangan listrik keluaran dari generator, dari kisaran 6,3–11 kV menjadi tegangan transmisi seperti 20 kV atau 150 kV.

B. Generator

Generator merupakan perangkat yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik, baik dalam bentuk arus bolak-balik (AC) maupun arus searah (DC). Energi mekanik ini dapat berasal dari panas, air, uap, dan sumber lainnya. Prinsip kerja generator arus bolak-balik didasarkan pada Hukum Faraday, yang menyatakan bahwa perubahan medan magnet di sekitar konduktor akan membangkitkan gaya gerak listrik (GGL) yang menentang perubahan tersebut [5].

Generator yang digunakan pada PLTA Tonselama adalah generator AC 3 Fasa, dan mempunyai penguat medan magnet berupa Exiter (Sistem Eksitasi). Sistem eksitasi adalah sistem pasokan listrik DC sebagai penguatan pada generator listrik atau sebagai pembangkit medan magnet, sehingga suatu generator dapat menghasilkan energi listrik dengan besar tegangan keluaran generator bergantung pada besarnya arus eksitasinya [6].

Generator DC terdiri dua bagian, yaitu stator, yaitu bagian mesin DC yang diam, dan bagian rotor, yaitu bagian mesin DC yang berputar. Bagian stator terdiri dari: rangka motor, belitan stator, sikat arang, bearing dan terminal box. Sedangkan bagian rotor terdiri dari: komutator, belitan rotor, kipas rotor dan poros rotor [7].



gambar 2 Generator pada PLTA Tonselama

1) Komponen - komponen Generator

Berikut komponen – komponen utama generator :

1. Rotor

Rotor berfungsi untuk membangkitkan medan magnet. Rotor berputar bersama poros, karena gerakannya maka disebut dengan generator dengan medan magnet berputar [8].

Bagian – bagian Rotor :

- 1) Slip ring, cincin logam terisolasi pada poros rotor yang menghubungkan kumparan medan ke sumber arus searah (DC),
- 2) Kumparan medan, yang menghasilkan medan magnet sebagai hasil induksi dari arus DC,
- 3) Poros rotor, tempat kumparan medan dipasang dan membentuk jalur untuk interaksi magnetik dengan stator.

2. Stator

Stator merupakan bagian tetap (diam) dari generator yang berfungsi untuk menerima induksi magnetik dari rotor dan menghasilkan arus listrik bolak-balik (AC). Stator terdiri dari rangka silinder yang dililit dengan kawat konduktor (armatur), yang berperan sebagai tempat timbulnya gaya gerak listrik (GGL) akibat perubahan fluks magnet dari rotor. Lilitan armatur biasanya disusun dalam konfigurasi wye, dengan titik netral yang dihubungkan ke tanah untuk kestabilan sistem [9].

Stator terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu :

- 1) Kerangka Stator, terbuat dari besi tuang yang berfungsi untuk menyangga inti jangkar.
- 2) Inti stator, terbuat dari besi lunak (baja silikon).
- 3) Alur (slot) berfungsi sebagai tempat untuk meletakkan belitan (kumparan) stator. Ada 3 (tiga) bentuk alur stator, yaitu : terbuka, setengah terbuka, dan tertutup [10].

Prinsip kerja generator sinkron secara umum meliputi beberapa tahapan [9].

- 1) Kumparan medan pada rotor dihubungkan dengan sumber eksitasi arus searah, sehingga menghasilkan fluks magnetik yang konstan terhadap waktu.
- 2) Rotor diputar oleh penggerak mula (prime mover) hingga mencapai kecepatan nominal.
- 3) Perputaran rotor tersebut menghasilkan medan magnet berputar yang kemudian diinduksikan ke kumparan jangkar pada stator, sehingga menghasilkan gaya gerak listrik (GGL) atau tegangan induksi.

C. Turbin

Turbin francis merupakan jenis turbin reaksi. Turbin reaksi adalah jenis pengelompokan turbin selain pengelompokan turbin impuls yang memiliki cara kerja dengan merubah seluruh energi air yang tersedia menjadi energi mekanis. Pada turbin kelompok ini, perubahan energi potensial menjadi energi kinetis berlangsung pada guide dan pada rotor atau roda putar (runner), hal tersebut menyebabkan penurunan tekanan (pressure drop) ketika air melewati runner [11].

Turbin Francis merupakan jenis turbin tekanan lebih. Sudunya terdiri atas sudu pengarah dan sudu jalan yang keduanya terendam dalam air. Perubahan energi terjadi seluruhnya dalam sudu pengarah dan sudu gerak, dengan mengalirkan air ke dalam sebuah terusan atau dilewatkan ke



gambar 3 Turbin Air pada PLTA Tonselama dalam sebuah cincin yang berbentuk spiral atau rumah keong [12].

1) Komponen - komponen Turbin

Adapun komponen – komponen turbin francis yaitu :

1. Sudu (Blade)

Sudu (blade) merupakan komponen turbin yang berfungsi mengubah energi pancaran fluida kerja, seperti air, angin, atau uap, menjadi gerak rotasi. Proses ini melibatkan konversi energi, baik dari energi kinetik menjadi energi mekanik maupun dari energi potensial menjadi energi kinetik. Pada turbin tipe francis sudu terbagi menjadi 2 yaitu :

1) Runner (Sudu Gerak)

Runner adalah bagian yang berbentuk baling baling atau sudu yang dapat bergerak akibat adanya tumbukan air pada dinding sudu. Bagian ini terhubung dengan poros yang kemudian akan menghasilkan energi mekanik [13]. Factor-faktor sudu yang mempengaruhi turbin agar berkerja dengan optimal yaitu :

a. Kemiringan sudu

Pada runner kemiringan sudu Optimalnya sekitar 30° - 60°. Tentunya agar mengurangi kehilangan energy agar dalam proses konversi energi kinetik air ke energi mekanik menjadi lebih efisiensi.

b. Bentuk Sudu

Bentuk sudu disesuaikan tipe turbin. Pada turbin francis dengan bentuk sudu melengkung, tentunya agar dalam mengkonversi energi lebih maksimal.

c. Jumlah Sudu

Jumlahnya 14 – 20 sudu tergantung desain dan ukuran turbin serta head (ketinggian air). Jika jumlah sudu lebih banyak aliran lebih terkontrol, mengurangi kehilangan energy dan efisiensi lebih tinggi pada head tinggi tetapi gesekan lebih besar dan biaya produksi meningkat.

2) Guide Vane (Sudu Pengarah)

Sudu pengarah adalah bagian dari turbin Francis, dimana berfungsi sebagai distributor agar debit air mengalir merata dan pintu masuknya air yang dipasang didalam rumah spiral mengarah pada runner blade [14].

Factor-faktor sudu yang mempengaruhi turbin agar berkerja dengan optimal yaitu :

a. Kemiringan Sudu

Kemiringan sudu biasanya sekitar 15° - 90°, namun tergantung dengan spesifikasi dari turbin turbin tersebut. Penggunaan kemiringan sudut yang tepat untuk mengurangi kehilangan energy akibat turbulensi air.

b. Bentuk Sudu

Pada turbin francis dengan bentuk sudu melengkung, tentunya agar mengurangi kehilangan energy, mengarahkan air lebih efisien masuk ke runner. Bentuk sudu terbagi menjadi 3 yaitu lengkung, lurus dan airfoil. Namun, pada turbin francis lebih menggunakan bentuk sudu lengkung dan airfoil.

c. Jumlah Sudu

Jumlahnya 12 – 24 sudu tergantung desain dan ukuran turbin serta head (ketinggian air). Tentunya ketika aliran air yang datang dapat terarah dengan baik yang masuk ke runner [13].

3) Spiral Case

Rumah spiral (scroll-casing) yang menerima air dari pipa pesat dan mengarahkan aliran air ke turbin. Fungsi rumah spiral adalah membagi rata air yang diterima dari pipa pesat sekeliling. Didalam spiral case terdapat macam komponen turbin lainnya seperti runner (sudu gerak), guide vane (sudu pengarah), draft tube dan terhubung langsung di bawah spiral case [13].

4) Poros

Bagian ini bisa dibuat dalam dua bagian utama yaitu bagian atas generator shaft dan bagian bawah turbin shaft yang dikopling dengan kopling tetap yang dimana pada bagian turbin poros terhubung langsung dengan runner (sudu gerak) dan pada bagian generator poros terhubung langsung dengan rotor generator [13].

5) Draft Tube

Draft tube adalah komponen terakhir dari laluan air pada hydropower plant dan sangat penting untuk mengarahkan air keluar dari roda turbin menuju tailrace dimana air akan dikumpulkan di receiving body dikumpulkan di receiving body of water atau komponen yang mengarahkan air langsung ke pembuangan akhir dari turbin [13].

2) Prinsip Kerja Turbin

Prinsip kerja turbin Francis didasarkan pada konversi energi hidrokinetik dari aliran air menjadi energi mekanik, yang selanjutnya digunakan untuk menghasilkan listrik. Turbin ini bekerja berdasarkan hukum kekekalan energi, di mana energi hanya dapat diubah bentuknya.

Proses dimulai ketika air masuk melalui spiral casing dan mengalir ke runner, yaitu komponen utama turbin yang dilengkapi dengan sudu-sudu. Aliran air yang mengenai sudu-sudu menghasilkan gaya yang menyebabkan runner berputar.

Energi kinetik air tersebut kemudian dikonversi menjadi energi mekanik pada poros turbin. Poros ini terhubung dengan generator, yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Dengan demikian, energi potensial dan kinetik air diubah menjadi energi listrik yang siap digunakan [15].

D. Perhitungan Daya Hidraulik

$$P_{hidraulik} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (1)$$

Ket :

$P_{hidraulik}$	= Daya Hidraulik (W)
ρ	= Massa Jenis Air (kg/m ³)
g	= Gravitasi (m/s ²)
Q	= Debit Air (m ³ /s)
H	= Tinggi Terjun (m)

E. Perhitungan Efisiensi Turbin

$$\eta_{turbin} = \frac{P_{turbin}}{P_{hidraulik}} \times 100\% \quad (2)$$

Ket:

η_{turbin}	= Efisiensi Turbin (%)
P_{turbin}	= Daya Turbin (W)
$P_{hidraulik}$	= Daya Hidraulik (W)

F. Perhitungan Efisiensi Generator

$$\eta_{generator} = \frac{P_{output}}{P_{input}} \times 100\% \quad (3)$$

Ket:

$\eta_{generator}$	= Efisiensi Generator (%)
P_{output}	= Daya Output Generator (W)
P_{input}	= Daya Input Generator (W)

G. Perhitungan Daya Turbin Berdasarkan Efisiensi Relatif dari sudut dan jumlah serta bentuk sudu

$$P_{turbin} = \eta_{turbin} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} (\rho \cdot g \cdot Q \cdot H) \quad (4)$$

Ket:

P_{turbin}	= Daya Turbin (W)
η_{turbin}	= Efisiensi Turbin (%)
η_{bentuk}	= Efisiensi Bentuk Sudu (%)
η_{jumlah}	= Efisiensi Jumlah Sudu (%)
η_{sudut}	= Efisiensi Sudut Sudu (%)

H. Perhitungan Daya Generator Berdasarkan Efisiensi Relatif dari sudut dan jumlah serta bentuk sudu

$$P_{generator} = \eta_{turbin} \cdot \eta_{generator} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} (\rho \cdot g \cdot Q \cdot H) \quad (3)$$

Ket:

$P_{generator}$	= Daya Turbin (W)
η_{turbin}	= Efisiensi Turbin (%)
$\eta_{generator}$	= Efisiensi Turbin (%)
η_{bentuk}	= Efisiensi Bentuk Sudu (%)
η_{jumlah}	= Efisiensi Jumlah Sudu (%)
η_{sudut}	= Efisiensi Sudut Sudu (%)
$(\rho \cdot g \cdot Q \cdot H)$	= Daya Hidraulik (W)

II. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan mengetahui bagaimana pengaruh sudu dalam kinerja turbin di PLTA Tonsealama lebih tepatnya meneliti turbin francis dan generator unit 3. Data yang dianalisis merupakan data sekunder berupa catatan operasi turbin dan generator yang mencakup spesifikasi turbin, spesifikasi generator, dan spesifikasi turbin. Pengumpulan data dilakukan langsung dilapangan dengan diberikan oleh pihak operator PLTA. Daya

yang diperoleh kemudian dianalisis untuk melihat hubungan antara sudu dengan daya output turbin dan hubungan antara sudu dengan daya output generator.

A. Data Spesifikasi Generator

TABEL 1 SPESIFIKASI GENERATOR

Merek	Brown Boveri
Tipe / No Seri	WAV 190/63/10 / aw
	588695
Daya Semu	6800 kVA
Daya Aktif	5440 kW
Putaran	600 Rpm
Tegangan	6,3 kV
Arus	623 A
Tahun operasi	1981

Pada tabel 1 merupakan spesifikasi generator terlihat bahwa generator memiliki daya aktif 5440 kW dengan putaran 600 Rpm dan tegangan 6,3 kV.

B. Data Spesifikasi Generator

TABEL 2 SPESIFIKASI TURBIN

Merk	Andritz Escher Wyss
Tipe / No seri	Francis Vertical / 1216
Daya	5670 kW
Putaran	600 Rpm
Debit Air	6,77 m ³ /detik
Tinggi Terjun	93,25 m

Pada tabel 2 merupakan spesifikasi turbin terlihat bahwa turbin memiliki daya 5670 Kw dengan putaran 600 Rpm dan debit air 6,77 m³/detik pada tinggi terjun 93,25 m.

C. Spesifikasi Runner (Sudu Gerak)

TABEL 3 SPESIFIKASI RUNNER (SUDU GERAK)

Jumlah sudu	15 sudu
Bentuk sudu	lengkung
Sudut/kemiringan sudu	60°

Pada tabel 3 merupakan spesifikasi runner (sudu gerak) terlihat bahwa sudu berjumlah 15 dengan bentuk sudu lengkung dan sudut sudu 60°.

D. Spesifikasi Guide Vane (Sudu Pengarah)

TABEL 4 SPESIFIKASI GUIDE VANE (SUDU PENGARAH)

Jumlah sudu	20 sudu
Bentuk sudu	lengkung
Sudut/kemiringan sudu	30° - 90°

Pada tabel 4 merupakan spesifikasi guide vane (sudu pengarah) terlihat bahwa sudu berjumlah 20 dengan bentuk sudu lengkung dan sudut sudu 30° - 90°.

E. Data Nilai Efisiensi Relatif Variasi Sudut Dan Bentuk Serta Jumlah Sudu

TABEL 5 DATA NILAI EFISIENSI RELATIF VARIASI SUDUT DAN BENTUK, SERTA JUMLAH SUDU

Variasi	kategori	Nilai Efisiensi Relatif
Bentuk sudu (Lengkung)	η_{bentuk}	0.70
Bentuk sudu (Lurus)	η_{bentuk}	0,65
Bentuk sudu (Airfoil)	η_{bentuk}	0,75
Jumlah sudu 12	η_{jumlah}	0.90
Jumlah sudu 18	η_{jumlah}	0,95
Jumlah sudu 24	η_{jumlah}	1,00
Sudut sudu 60°	η_{sudut}	0,90
Sudut sudu 75°	η_{sudut}	0,95
Sudut sudu 90°	η_{sudut}	1,00

Pada tabel 4 merupakan data efisiensi relatif variasi sudut dan bentuk serta jumlah sudu terlihat bahwa sudut sudu (60°, 75°, 90°) dan bentuk sudu (lengkung, lurus, airfoil) serta jumlah sudu (12, 18, 24) memiliki nilai efisiensi yang bervariasi.

F. Data Perhitungan

1) Perhitungan Daya Hidraulik

Diketahui :

$$\begin{aligned}\rho &= 1000 \text{ kg/m}^3 \\ g &= 9,81 \text{ m/s}^2 \\ Q &= 6,77 \text{ m}^3/\text{s} \\ H &= 93,25 \text{ m}\end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}P_{hidraulik} &= \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \\ P_{hidraulik} &= 1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25 \\ P_{hidraulik} &= 6.193.077 \text{ W}\end{aligned}$$

2) Perhitungan Efisiensi Turbin

Diketahui :

$$\begin{aligned}P_{turbin} &= 5.670.000 \text{ W} \\ P_{hidraulik} &= 6.193.077 \text{ W}\end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}\eta_{turbin} &= \frac{P_{turbin}}{P_{hidraulik}} \times 100\% \\ \eta_{turbin} &= \frac{5.670.000}{6.193.077} \times 100\% \\ \eta_{turbin} &= 91\%\end{aligned}$$

3) Perhitungan Efisiensi Generator

Diketahui :

$$\begin{aligned}P_{output} &= 5.440.000 \text{ W} \\ P_{input} &= 5.670.000 \text{ W}\end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}\eta_{generator} &= \frac{P_{output}}{P_{input}} \times 100\% \\ \eta_{generator} &= \frac{5.440.000}{5.670.000} \times 100\% \\ \eta_{generator} &= 95\%\end{aligned}$$

4) Perhitungan Daya Turbin Berdasarkan Efisiensi Relatif dari sudut, jumlah, dan bentuk sudu

- Bentuk lengkung, jumlah 12, sudut 60°

Diketahui :

$$\begin{aligned}\eta_{turbin} &= 0,91 \\ \eta_{bentuk} &= 0,70 \\ \eta_{jumlah} &= 0,90 \\ \eta_{sudut} &= 0,90\end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}P_{turbin} &= \eta_{turbin} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g Q H) \\ P_{turbin} &= 0,91 \cdot 0,70 \cdot 0,90 \cdot 0,90 \cdot (\rho g Q H) \\ P_{turbin} &= 0,51597 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25) \\ P_{turbin} &= 0,51597 \cdot 6.193.077 \\ P_{turbin} &= 3.195.441 \text{ W}\end{aligned}$$

- Bentuk lengkung, jumlah 12, sudut 75°

Diketahui :

$$\begin{aligned}\eta_{turbin} &= 0,91 \\ \eta_{bentuk} &= 0,70 \\ \eta_{jumlah} &= 0,90 \\ \eta_{sudut} &= 0,95\end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}P_{turbin} &= \eta_{turbin} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g Q H) \\ P_{turbin} &= 0,91 \cdot 0,70 \cdot 0,90 \cdot 0,95 \cdot (\rho g Q H) \\ P_{turbin} &= 0,544635 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25) \\ P_{turbin} &= 0,544635 \cdot 6.193.077 \\ P_{turbin} &= 3.372.966 \text{ W}\end{aligned}$$

- Bentuk lengkung, jumlah 12, sudut 90°

Diketahui :

$$\begin{aligned}\eta_{turbin} &= 0,91 \\ \eta_{bentuk} &= 0,70 \\ \eta_{jumlah} &= 0,90 \\ \eta_{sudut} &= 1,00\end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}P_{turbin} &= \eta_{turbin} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g Q H) \\ P_{turbin} &= 0,91 \cdot 0,70 \cdot 0,90 \cdot 1,00 \cdot (\rho g Q H) \\ P_{turbin} &= 0,5733 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25) \\ P_{turbin} &= 0,51597 \cdot 6.193.077 \\ P_{turbin} &= 3.550.491 \text{ W}\end{aligned}$$

- Bentuk lengkung, jumlah 18, sudut 60°

Diketahui :

$$\begin{aligned}\eta_{turbin} &= 0,91 \\ \eta_{bentuk} &= 0,70 \\ \eta_{jumlah} &= 0,95 \\ \eta_{sudut} &= 0,90\end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}P_{turbin} &= \eta_{turbin} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g Q H) \\ P_{turbin} &= 0,91 \cdot 0,70 \cdot 0,95 \cdot 0,90 \cdot (\rho g Q H) \\ P_{turbin} &= 0,544635 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25) \\ P_{turbin} &= 0,544635 \cdot 6.193.077 \\ P_{turbin} &= 3.372.966 \text{ W}\end{aligned}$$

- Bentuk lengkung, jumlah 18, sudut 75°

Diketahui :

$$\begin{aligned}\eta_{turbin} &= 0,91 \\ \eta_{bentuk} &= 0,70 \\ \eta_{jumlah} &= 0,95 \\ \eta_{sudut} &= 0,95\end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}P_{turbin} &= \eta_{turbin} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g Q H) \\ P_{turbin} &= 0,91 \cdot 0,70 \cdot 0,95 \cdot 0,95 \cdot (\rho g Q H) \\ P_{turbin} &= 0,5748925 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25) \\ P_{turbin} &= 0,5748925 \cdot 6.193.077 \\ P_{turbin} &= 3.560.353 \text{ W}\end{aligned}$$

- Bentuk lengkung, jumlah 18, sudut 90°

Diketahui :

$$\begin{aligned}\eta_{turbin} &= 0,91 \\ \eta_{bentuk} &= 0,70 \\ \eta_{jumlah} &= 0,95 \\ \eta_{sudut} &= 1,00\end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}P_{turbin} &= \eta_{turbin} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g Q H) \\ P_{turbin} &= 0,91 \cdot 0,70 \cdot 0,95 \cdot 1,00 \cdot (\rho g Q H) \\ P_{turbin} &= 0,60515 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25) \\ P_{turbin} &= 0,60515 \cdot 6.193.077 \\ P_{turbin} &= 3.747.740 \text{ W}\end{aligned}$$

- Bentuk lengkung, jumlah 24, sudut 60°

Diketahui :

$$\begin{aligned}\eta_{turbin} &= 0,91 \\ \eta_{bentuk} &= 0,70 \\ \eta_{jumlah} &= 1,00 \\ \eta_{sudut} &= 0,90\end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}P_{turbin} &= \eta_{turbin} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g Q H) \\ P_{turbin} &= 0,91 \cdot 0,70 \cdot 1,00 \cdot 0,90 \cdot (\rho g Q H) \\ P_{turbin} &= 0,5733 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25) \\ P_{turbin} &= 0,5733 \cdot 6.193.077 \\ P_{turbin} &= 3.550.491 \text{ W}\end{aligned}$$

- Bentuk lengkung, jumlah 24, sudut 75°

Diketahui :

$$\begin{aligned}\eta_{turbin} &= 0,91 \\ \eta_{bentuk} &= 0,70 \\ \eta_{jumlah} &= 1,00 \\ \eta_{sudut} &= 0,95\end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}P_{turbin} &= \eta_{turbin} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g Q H) \\ P_{turbin} &= 0,91 \cdot 0,70 \cdot 1,00 \cdot 0,95 \cdot (\rho g Q H) \\ P_{turbin} &= 0,60515 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25) \\ P_{turbin} &= 0,60515 \cdot 6.193.077 \\ P_{turbin} &= 3.747.740 \text{ W}\end{aligned}$$

- Bentuk lengkung, jumlah 24, sudut 90°

Diketahui :

$$\begin{aligned}\eta_{turbin} &= 0,91 \\ \eta_{bentuk} &= 0,70 \\ \eta_{jumlah} &= 1,00 \\ \eta_{sudut} &= 1,00\end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}P_{turbin} &= \eta_{turbin} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g Q H) \\ P_{turbin} &= 0,91 \cdot 0,70 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot (\rho g Q H) \\ P_{turbin} &= 0,637 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25) \\ P_{turbin} &= 0,637 \cdot 6.193.077 \\ P_{turbin} &= 3.944.990 \text{ W}\end{aligned}$$

- Bentuk lurus, jumlah 12, sudut 60°

Diketahui :

$$\begin{aligned}\eta_{turbin} &= 0,91 \\ \eta_{bentuk} &= 0,70 \\ \eta_{jumlah} &= 0,90\end{aligned}$$

$$\eta_{sudut} = 0,90$$

Maka :

$$P_{turbin} = \eta_{turbin} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{turbin} = 0,91 \cdot 0,65 \cdot 0,90 \cdot 0,90 \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{turbin} = 0,479115 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25)$$

$$P_{turbin} = 0,479115 \cdot 6.193.077$$

$$P_{turbin} = 2.967.196 \text{ W}$$

- Bentuk lurus jumlah 12, sudut 75°

Diketahui :

$$\eta_{turbin} = 0,91$$

$$\eta_{bentuk} = 0,70$$

$$\eta_{jumlah} = 0,90$$

$$\eta_{sudut} = 0,95$$

Maka :

$$P_{turbin} = \eta_{turbin} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{turbin} = 0,91 \cdot 0,70 \cdot 0,90 \cdot 0,95 \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{turbin} = 0,5057325 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25)$$

$$P_{turbin} = 0,5057325 \cdot 6.193.077$$

$$P_{turbin} = 3.132.040 \text{ W}$$

- Bentuk lurus, jumlah 12, sudut 90°

Diketahui :

$$\eta_{turbin} = 0,91$$

$$\eta_{bentuk} = 0,70$$

$$\eta_{jumlah} = 0,90$$

$$\eta_{sudut} = 1,00$$

Maka :

$$P_{turbin} = \eta_{turbin} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{turbin} = 0,91 \cdot 0,65 \cdot 0,90 \cdot 1,00 \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{turbin} = 0,53235 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25)$$

$$P_{turbin} = 0,53235 \cdot 6.193.077$$

$$P_{turbin} = 3.296.884 \text{ W}$$

- Bentuk lurus, jumlah 18, sudut 60°

Diketahui :

$$\eta_{turbin} = 0,91$$

$$\eta_{bentuk} = 0,65$$

$$\eta_{jumlah} = 0,95$$

$$\eta_{sudut} = 0,90$$

Maka :

$$P_{turbin} = \eta_{turbin} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{turbin} = 0,91 \cdot 0,65 \cdot 0,95 \cdot 0,90 \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{turbin} = 0,5057325 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25)$$

$$P_{turbin} = 0,5057325 \cdot 6.193.077$$

$$P_{turbin} = 3.132.040 \text{ W}$$

- Bentuk lengkung, jumlah 18, sudut 75°

Diketahui :

$$\eta_{turbin} = 0,91$$

$$\eta_{bentuk} = 0,65$$

$$\eta_{jumlah} = 0,95$$

$$\eta_{sudut} = 0,95$$

Maka :

$$P_{turbin} = \eta_{turbin} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{turbin} = 0,91 \cdot 0,65 \cdot 0,95 \cdot 0,95 \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{turbin} = 0,53382875 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25)$$

$$P_{turbin} = 0,53382875 \cdot 6.193.077$$

$$P_{turbin} = 3.306.042 \text{ W}$$

- Bentuk lurus, jumlah 18, sudut 90°

Diketahui :

$$\eta_{turbin} = 0,91$$

$$\eta_{bentuk} = 0,65$$

$$\eta_{jumlah} = 0,95$$

$$\eta_{sudut} = 1,00$$

Maka :

$$P_{turbin} = \eta_{turbin} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{turbin} = 0,91 \cdot 0,65 \cdot 0,95 \cdot 1,00 \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{turbin} = 0,561925 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25)$$

$$P_{turbin} = 0,561925 \cdot 6.193.077$$

$$P_{turbin} = 3.480.044 \text{ W}$$

- Bentuk lurus, jumlah 24, sudut 60°

Diketahui :

$$\eta_{turbin} = 0,91$$

$$\eta_{bentuk} = 0,65$$

$$\eta_{jumlah} = 1,00$$

$$\eta_{sudut} = 0,90$$

Maka :

$$P_{turbin} = \eta_{turbin} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{turbin} = 0,91 \cdot 0,65 \cdot 1,00 \cdot 0,90 \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{turbin} = 0,53235 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25)$$

$$P_{turbin} = 0,53235 \cdot 6.193.077$$

$$P_{turbin} = 3.296.884 \text{ W}$$

- Bentuk lurus, jumlah 24, sudut 75°

Diketahui :

$$\eta_{turbin} = 0,91$$

$$\eta_{bentuk} = 0,65$$

$$\eta_{jumlah} = 1,00$$

$$\eta_{sudut} = 0,95$$

Maka :

$$P_{turbin} = \eta_{turbin} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{turbin} = 0,91 \cdot 0,65 \cdot 1,00 \cdot 0,95 \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{turbin} = 0,561925 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25)$$

$$P_{turbin} = 0,561925 \cdot 6.193.077$$

$$P_{turbin} = 3.480.044 \text{ W}$$

- Bentuk lurus, jumlah 24, sudut 90°

Diketahui :

$$\eta_{turbin} = 0,91$$

$$\eta_{bentuk} = 0,65$$

$$\eta_{jumlah} = 1,00$$

$$\eta_{sudut} = 1,00$$

Maka :

$$P_{turbin} = \eta_{turbin} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{turbin} = 0,91 \cdot 0,65 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{turbin} = 0,5915 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25)$$

$$P_{turbin} = 0,5915 \cdot 6.193.077$$

$$P_{turbin} = 3.663.205 \text{ W}$$

- Bentuk Airfoil, jumlah 12, sudut 60°

Diketahui :

$$\eta_{turbin} = 0,91$$

$$\eta_{bentuk} = 0,75$$

$$\eta_{jumlah} = 0,90$$

$$\eta_{sudut} = 0,90$$

Maka :

$$P_{turbin} = \eta_{turbin} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{turbin} = 0,91 \cdot 0,75 \cdot 0,90 \cdot 0,90 \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{turbin} = 0,552825 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25)$$

$$P_{turbin} = 0,552825 \cdot 6.193.077$$

$$P_{turbin} = 3.423.687 \text{ W}$$

- Bentuk Airfoil, jumlah 12, sudut 75°

Diketahui :

$$\begin{aligned}\eta_{turbin} &= 0,91 \\ \eta_{bentuk} &= 0,75 \\ \eta_{jumlah} &= 0,90 \\ \eta_{sudut} &= 0,95\end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}P_{turbin} &= \eta_{turbin} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g Q H) \\ P_{turbin} &= 0,91 \cdot 0,75 \cdot 0,90 \cdot 0,95 \cdot (\rho g Q H) \\ P_{turbin} &= 0,5835375 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25) \\ P_{turbin} &= 0,5835375 \cdot 6.193.077 \\ P_{turbin} &= 3.613.892 \text{ W}\end{aligned}$$

- Bentuk Airfoil, jumlah 12, sudut 90°

Diketahui :

$$\begin{aligned}\eta_{turbin} &= 0,91 \\ \eta_{bentuk} &= 0,75 \\ \eta_{jumlah} &= 0,90 \\ \eta_{sudut} &= 1,00\end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}P_{turbin} &= \eta_{turbin} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g Q H) \\ P_{turbin} &= 0,91 \cdot 0,75 \cdot 0,90 \cdot 1,00 \cdot (\rho g Q H) \\ P_{turbin} &= 0,61425 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25) \\ P_{turbin} &= 0,61425 \cdot 6.193.077 \\ P_{turbin} &= 3.804.097 \text{ W}\end{aligned}$$

- Bentuk Airfoil, jumlah 18, sudut 60°

Diketahui :

$$\begin{aligned}\eta_{turbin} &= 0,91 \\ \eta_{bentuk} &= 0,75 \\ \eta_{jumlah} &= 0,95 \\ \eta_{sudut} &= 0,90\end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}P_{turbin} &= \eta_{turbin} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g Q H) \\ P_{turbin} &= 0,91 \cdot 0,75 \cdot 0,95 \cdot 0,90 \cdot (\rho g Q H) \\ P_{turbin} &= 0,5835375 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25) \\ P_{turbin} &= 0,5835375 \cdot 6.193.077 \\ P_{turbin} &= 3.613.892 \text{ W}\end{aligned}$$

- Bentuk Airfoil, jumlah 18, sudut 75°

Diketahui :

$$\begin{aligned}\eta_{turbin} &= 0,91 \\ \eta_{bentuk} &= 0,75 \\ \eta_{jumlah} &= 0,95 \\ \eta_{sudut} &= 0,95\end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}P_{turbin} &= \eta_{turbin} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g Q H) \\ P_{turbin} &= 0,91 \cdot 0,75 \cdot 0,95 \cdot 0,95 \cdot (\rho g Q H) \\ P_{turbin} &= 0,61595625 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25) \\ P_{turbin} &= 0,61595625 \cdot 6.193.077 \\ P_{turbin} &= 3.814.664 \text{ W}\end{aligned}$$

- Bentuk Airfoil, jumlah 18, sudut 90°

Diketahui :

$$\begin{aligned}\eta_{turbin} &= 0,91 \\ \eta_{bentuk} &= 0,75 \\ \eta_{jumlah} &= 0,90 \\ \eta_{sudut} &= 1,00\end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}P_{turbin} &= \eta_{turbin} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g Q H) \\ P_{turbin} &= 0,91 \cdot 0,75 \cdot 0,90 \cdot 1,00 \cdot (\rho g Q H) \\ P_{turbin} &= 0,648375 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25)\end{aligned}$$

$$P_{turbin} = 0,648375 \cdot 6.193.077$$

$$P_{turbin} = 4.015.436 \text{ W}$$

- Bentuk Airfoil, jumlah 24, sudut 60°

Diketahui :

$$\begin{aligned}\eta_{turbin} &= 0,91 \\ \eta_{bentuk} &= 0,75 \\ \eta_{jumlah} &= 1,00 \\ \eta_{sudut} &= 0,90\end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}P_{turbin} &= \eta_{turbin} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g Q H) \\ P_{turbin} &= 0,91 \cdot 0,75 \cdot 1,00 \cdot 0,90 \cdot (\rho g Q H) \\ P_{turbin} &= 0,61425 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25) \\ P_{turbin} &= 0,61425 \cdot 6.193.077 \\ P_{turbin} &= 3.804.097 \text{ W}\end{aligned}$$

- Bentuk Airfoil, jumlah 24, sudut 75°

Diketahui :

$$\begin{aligned}\eta_{turbin} &= 0,91 \\ \eta_{bentuk} &= 0,75 \\ \eta_{jumlah} &= 1,00 \\ \eta_{sudut} &= 0,95\end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}P_{turbin} &= \eta_{turbin} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g Q H) \\ P_{turbin} &= 0,91 \cdot 0,75 \cdot 1,00 \cdot 0,95 \cdot (\rho g Q H) \\ P_{turbin} &= 0,648375 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25) \\ P_{turbin} &= 0,648375 \cdot 6.193.077 \\ P_{turbin} &= 4.015.436 \text{ W}\end{aligned}$$

- Bentuk Airfoil, jumlah 24, sudut 90°

Diketahui :

$$\begin{aligned}\eta_{turbin} &= 0,91 \\ \eta_{bentuk} &= 0,75 \\ \eta_{jumlah} &= 1,00 \\ \eta_{sudut} &= 1,00\end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}P_{turbin} &= \eta_{turbin} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g Q H) \\ P_{turbin} &= 0,91 \cdot 0,75 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot (\rho g Q H) \\ P_{turbin} &= 0,6825 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25) \\ P_{turbin} &= 0,6825 \cdot 6.193.077 \\ P_{turbin} &= 4.226.775 \text{ W}\end{aligned}$$

5) Perhitungan Daya Turbin Berdasarkan Efisiensi Relatif dari sudut, jumlah, dan bentuk sudu

- Bentuk lengkung, jumlah 12, sudut 60°

Diketahui :

$$\begin{aligned}\eta_{turbin} &= 0,91 \\ \eta_{generator} &= 0,95 \\ \eta_{bentuk} &= 0,70 \\ \eta_{jumlah} &= 0,90 \\ \eta_{sudut} &= 0,90\end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}P_{generator} &= \eta_{turbin} \cdot \eta_{generator} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g Q H) \\ P_{generator} &= 0,91 \cdot 0,95 \cdot 0,70 \cdot 0,90 \cdot 0,90 \cdot (\rho g Q H) \\ P_{generator} &= 0,4901715 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25) \\ P_{generator} &= 0,62275122 \cdot 6.193.077 \\ P_{generator} &= 3.035.669 \text{ W}\end{aligned}$$

- Bentuk lengkung, jumlah 12, sudut 75°

Diketahui :

$$\begin{aligned}\eta_{\text{turbin}} &= 0,91 \\ \eta_{\text{generator}} &= 0,95 \\ \eta_{\text{bentuk}} &= 0,70 \\ \eta_{\text{jumlah}} &= 0,90 \\ \eta_{\text{sudut}} &= 0,95 \\ \text{Maka :}\end{aligned}$$

$$P_{\text{generator}} = \eta_{\text{turbin}} \cdot \eta_{\text{generator}} \cdot \eta_{\text{bentuk}} \cdot \eta_{\text{jumlah}} \cdot \eta_{\text{sudut}} \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{\text{generator}} = 0,91 \cdot 0,95 \cdot 0,70 \cdot 0,90 \cdot 0,95 \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{\text{generator}} = 0,51740325 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25)$$

$$P_{\text{generator}} = 0,51740325 \cdot 6.193.077$$

$$P_{\text{generator}} = 3.204.318 \text{ W}$$

- Bentuk lengkung, jumlah 12, sudut 90°

Diketahui :

$$\begin{aligned}\eta_{\text{turbin}} &= 0,91 \\ \eta_{\text{generator}} &= 0,95 \\ \eta_{\text{bentuk}} &= 0,70 \\ \eta_{\text{jumlah}} &= 0,90 \\ \eta_{\text{sudut}} &= 1,00 \\ \text{Maka :}\end{aligned}$$

- Bentuk lengkung, jumlah 18, sudut 60°

Diketahui :

$$P_{\text{generator}} = \eta_{\text{turbin}} \cdot \eta_{\text{generator}} \cdot \eta_{\text{bentuk}} \cdot \eta_{\text{jumlah}} \cdot \eta_{\text{sudut}} \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{\text{generator}} = 0,91 \cdot 0,95 \cdot 0,70 \cdot 0,95 \cdot 1,00 \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{\text{generator}} = 0,544635 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25)$$

$$P_{\text{generator}} = 0,544635 \cdot 6.193.077$$

$$P_{\text{generator}} = 3.372.966 \text{ W}$$

- Bentuk lengkung, jumlah 18, sudut 60°

$$\begin{aligned}\eta_{\text{turbin}} &= 0,91 \\ \eta_{\text{generator}} &= 0,95 \\ \eta_{\text{bentuk}} &= 0,70 \\ \eta_{\text{jumlah}} &= 0,95 \\ \eta_{\text{sudut}} &= 0,90 \\ \text{Maka :}\end{aligned}$$

$$P_{\text{generator}} = \eta_{\text{turbin}} \cdot \eta_{\text{generator}} \cdot \eta_{\text{bentuk}} \cdot \eta_{\text{jumlah}} \cdot \eta_{\text{sudut}} \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{\text{generator}} = 0,91 \cdot 0,95 \cdot 0,70 \cdot 0,95 \cdot 0,90 \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{\text{generator}} = 0,51740325 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25)$$

$$P_{\text{generator}} = 0,51740325 \cdot 6.193.077$$

$$P_{\text{generator}} = 3.204.318 \text{ W}$$

- Bentuk lengkung, jumlah 18, sudut 75°

Diketahui :

$$\begin{aligned}\eta_{\text{turbin}} &= 0,91 \\ \eta_{\text{generator}} &= 0,95 \\ \eta_{\text{bentuk}} &= 0,70 \\ \eta_{\text{jumlah}} &= 0,95 \\ \eta_{\text{sudut}} &= 0,95 \\ \text{Maka :}\end{aligned}$$

$$P_{\text{generator}} = \eta_{\text{turbin}} \cdot \eta_{\text{generator}} \cdot \eta_{\text{bentuk}} \cdot \eta_{\text{jumlah}} \cdot \eta_{\text{sudut}} \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{\text{generator}} = 0,91 \cdot 0,95 \cdot 0,70 \cdot 0,95 \cdot 0,95 \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{\text{generator}} = 0,546147875 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25)$$

$$P_{\text{generator}} = 0,546147875 \cdot 6.193.077$$

$$P_{\text{generator}} = 3.382.335 \text{ W}$$

- Bentuk lengkung, jumlah 18, sudut 90°

Diketahui :

$$\begin{aligned}\eta_{\text{turbin}} &= 0,91 \\ \eta_{\text{generator}} &= 0,95 \\ \eta_{\text{bentuk}} &= 0,70 \\ \eta_{\text{jumlah}} &= 0,95 \\ \eta_{\text{sudut}} &= 1,00 \\ \text{Maka :}\end{aligned}$$

$$P_{\text{generator}} = \eta_{\text{turbin}} \cdot \eta_{\text{generator}} \cdot \eta_{\text{bentuk}} \cdot \eta_{\text{jumlah}} \cdot \eta_{\text{sudut}} \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{\text{generator}} = 0,91 \cdot 0,95 \cdot 0,70 \cdot 0,95 \cdot 1,00 \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{\text{generator}} = 0,5748925 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25)$$

$$P_{\text{generator}} = 0,5748925 \cdot 6.193.077$$

$$P_{\text{generator}} = 3.560.353 \text{ W}$$

- Bentuk lengkung, jumlah 24, sudut 60°

Diketahui :

$$\begin{aligned}\eta_{\text{turbin}} &= 0,91 \\ \eta_{\text{generator}} &= 0,95 \\ \eta_{\text{bentuk}} &= 0,70 \\ \eta_{\text{jumlah}} &= 1,00 \\ \eta_{\text{sudut}} &= 0,90 \\ \text{Maka :}\end{aligned}$$

$$P_{\text{generator}} = \eta_{\text{turbin}} \cdot \eta_{\text{generator}} \cdot \eta_{\text{bentuk}} \cdot \eta_{\text{jumlah}} \cdot \eta_{\text{sudut}} \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{\text{generator}} = 0,91 \cdot 0,95 \cdot 0,70 \cdot 1,00 \cdot 0,90 \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{\text{generator}} = 0,544635 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25)$$

$$P_{\text{generator}} = 0,544635 \cdot 6.193.077$$

$$P_{\text{generator}} = 3.372.966 \text{ W}$$

- Bentuk lengkung, jumlah 24, sudut 75°

Diketahui :

$$\begin{aligned}\eta_{\text{turbin}} &= 0,91 \\ \eta_{\text{generator}} &= 0,95 \\ \eta_{\text{bentuk}} &= 0,70 \\ \eta_{\text{jumlah}} &= 1,00 \\ \eta_{\text{sudut}} &= 0,95 \\ \text{Maka :}\end{aligned}$$

$$P_{\text{generator}} = \eta_{\text{turbin}} \cdot \eta_{\text{generator}} \cdot \eta_{\text{bentuk}} \cdot \eta_{\text{jumlah}} \cdot \eta_{\text{sudut}} \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{\text{generator}} = 0,91 \cdot 0,95 \cdot 0,70 \cdot 1,00 \cdot 0,95 \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{\text{generator}} = 0,57489225 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25)$$

$$P_{\text{generator}} = 0,57489225 \cdot 6.193.077$$

$$P_{\text{generator}} = 3.560.353 \text{ W}$$

- Bentuk lengkung, jumlah 24, sudut 90°

Diketahui :

$$\begin{aligned}\eta_{\text{turbin}} &= 0,91 \\ \eta_{\text{generator}} &= 0,95 \\ \eta_{\text{bentuk}} &= 0,70 \\ \eta_{\text{jumlah}} &= 1,00 \\ \eta_{\text{sudut}} &= 1,00 \\ \text{Maka :}\end{aligned}$$

$$P_{\text{generator}} = \eta_{\text{turbin}} \cdot \eta_{\text{generator}} \cdot \eta_{\text{bentuk}} \cdot \eta_{\text{jumlah}} \cdot \eta_{\text{sudut}} \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{\text{generator}} = 0,91 \cdot 0,95 \cdot 0,70 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{\text{generator}} = 0,60515 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25)$$

$$P_{\text{generator}} = 0,60515 \cdot 6.193.077$$

$$P_{generator} = 3.747.740 \text{ W}$$

- Bentuk lurus, jumlah 12, sudut 60°

Diketahui :

$$\eta_{turbin} = 0.91$$

$$\eta_{generator} = 0,95$$

$$\eta_{bentuk} = 0,65$$

$$\eta_{jumlah} = 0,90$$

$$\eta_{sudut} = 0,90$$

Maka :

$$P_{generator} = \eta_{turbin} \cdot \eta_{generator} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g QH)$$

$$P_{generator} = 0,91 \cdot 0,95 \cdot 0,65 \cdot 0,90 \cdot 0,90 \cdot (\rho g QH)$$

$$P_{generator} = 0,45515925 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25)$$

$$P_{generator} = 0,45515925 \cdot 6.193.077$$

$$P_{generator} = 2.818.836 \text{ W}$$

- Bentuk lurus, jumlah 12, sudut 75°

Diketahui :

$$\eta_{turbin} = 0.91$$

$$\eta_{generator} = 0,95$$

$$\eta_{bentuk} = 0,65$$

$$\eta_{jumlah} = 0,90$$

$$\eta_{sudut} = 0,95$$

Maka :

$$P_{generator} = \eta_{turbin} \cdot \eta_{generator} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g QH)$$

$$P_{generator} = 0,91 \cdot 0,95 \cdot 0,65 \cdot 0,90 \cdot 0,95 \cdot (\rho g QH)$$

$$P_{generator} = 0,480445875 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25)$$

$$P_{generator} = 0,480445875 \cdot 6.193.077$$

$$P_{generator} = 2.975.438 \text{ W}$$

- Bentuk lurus, jumlah 12, sudut 90°

Diketahui :

$$\eta_{turbin} = 0.91$$

$$\eta_{generator} = 0,95$$

$$\eta_{bentuk} = 0,65$$

$$\eta_{jumlah} = 0,90$$

$$\eta_{sudut} = 1,00$$

Maka :

$$P_{generator} = \eta_{turbin} \cdot \eta_{generator} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g QH)$$

$$P_{generator} = 0,91 \cdot 0,95 \cdot 0,65 \cdot 0,90 \cdot 1,00 \cdot (\rho g QH)$$

$$P_{generator} = 0,5057325 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25)$$

$$P_{generator} = 0,5057325 \cdot 6.193.077$$

$$P_{generator} = 3.132.040 \text{ W}$$

- Bentuk lurus, jumlah 18, sudut 60°

Diketahui :

$$\eta_{turbin} = 0.91$$

$$\eta_{generator} = 0,95$$

$$\eta_{bentuk} = 0,65$$

$$\eta_{jumlah} = 0,95$$

$$\eta_{sudut} = 0,90$$

Maka :

$$P_{generator} = \eta_{turbin} \cdot \eta_{generator} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g QH)$$

$$P_{generator} = 0,91 \cdot 0,95 \cdot 0,65 \cdot 0,95 \cdot 0,90 \cdot (\rho g QH)$$

$$P_{generator} = 0,480445875 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25)$$

$$P_{generator} = 0,480445875 \cdot 6.193.077$$

$$P_{generator} = 2.975.438 \text{ W}$$

- Bentuk lurus, jumlah 18, sudut 75°

Diketahui :

$$\eta_{turbin} = 0.91$$

$$\eta_{generator} = 0,95$$

$$\eta_{bentuk} = 0,65$$

$$\eta_{jumlah} = 0,95$$

$$\eta_{sudut} = 0,95$$

Maka :

$$P_{generator} = \eta_{turbin} \cdot \eta_{generator} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g QH)$$

$$P_{generator} = 0,91 \cdot 0,95 \cdot 0,65 \cdot 0,95 \cdot 0,95 \cdot (\rho g QH)$$

$$P_{generator} = 0,5071373125 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25)$$

$$P_{generator} = 0,5071373125 \cdot 6.193.077$$

$$P_{generator} = 3.140.740 \text{ W}$$

- Bentuk lurus, jumlah 18, sudut 90°

Diketahui :

$$\eta_{turbin} = 0.91$$

$$\eta_{generator} = 0,95$$

$$\eta_{bentuk} = 0,65$$

$$\eta_{jumlah} = 0,95$$

$$\eta_{sudut} = 1,00$$

Maka :

$$P_{generator} = \eta_{turbin} \cdot \eta_{generator} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g QH)$$

$$P_{generator} = 0,91 \cdot 0,95 \cdot 0,65 \cdot 0,95 \cdot 1,00 \cdot (\rho g QH)$$

$$P_{generator} = 0,53382875 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25)$$

$$P_{generator} = 0,53382875 \cdot 6.193.077$$

$$P_{generator} = 3.306.042 \text{ W}$$

- Bentuk lurus, jumlah 24, sudut 60°

Diketahui :

$$\eta_{turbin} = 0.91$$

$$\eta_{generator} = 0,95$$

$$\eta_{bentuk} = 0,65$$

$$\eta_{jumlah} = 1,00$$

$$\eta_{sudut} = 0,90$$

Maka :

$$P_{generator} = \eta_{turbin} \cdot \eta_{generator} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g QH)$$

$$P_{generator} = 0,91 \cdot 0,95 \cdot 0,65 \cdot 1,00 \cdot 0,90 \cdot (\rho g QH)$$

$$P_{generator} = 0,5057325 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25)$$

$$P_{generator} = 0,5057325 \cdot 6.193.077$$

$$P_{generator} = 3.132.040 \text{ W}$$

- Bentuk lurus, jumlah 24, sudut 75°

Diketahui :

$$\eta_{turbin} = 0.91$$

$$\eta_{generator} = 0,95$$

$$\eta_{bentuk} = 0,65$$

$$\eta_{jumlah} = 1,00$$

$$\eta_{sudut} = 0,95$$

Maka :

$$P_{generator} = \eta_{turbin} \cdot \eta_{generator} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g QH)$$

$$P_{generator} = 0,91 \cdot 0,95 \cdot 0,65 \cdot 1,00 \cdot 0,95 \cdot (\rho g QH)$$

$$P_{generator} = 0,53382875 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 6,77 \cdot 93,25)$$

$$P_{generator} = 0,53382875 \cdot 6.193.077$$

$$P_{generator} = 3.306.042 \text{ W}$$

- Bentuk lurus, jumlah 24, sudut 90°

Diketahui :

$$\eta_{turbin} = 0.91$$

$$\eta_{generator} = 0.95$$

$$\eta_{bentuk} = 0.65$$

$$\eta_{jumlah} = 1.00$$

$$\eta_{sudut} = 1.00$$

Maka :

$$P_{generator} = \eta_{turbin} \cdot \eta_{generator} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{generator} = 0.91 \cdot 0.95 \cdot 0.65 \cdot 1.00 \cdot 1.00 \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{generator} = 0.561925 \cdot (1000 \cdot 9.81 \cdot 6.77 \cdot 93.25)$$

$$P_{generator} = 0.561925 \cdot 6.193.077$$

$$P_{generator} = 3.480.044 \text{ W}$$

- Bentuk airfol, jumlah 12, sudut 60°

Diketahui :

$$\eta_{turbin} = 0.91$$

$$\eta_{generator} = 0.95$$

$$\eta_{bentuk} = 0.75$$

$$\eta_{jumlah} = 0.90$$

$$\eta_{sudut} = 0.90$$

Maka :

$$P_{generator} = \eta_{turbin} \cdot \eta_{generator} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{generator} = 0.91 \cdot 0.95 \cdot 0.75 \cdot 0.90 \cdot 0.90 \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{generator} = 0.52518375 \cdot (1000 \cdot 9.81 \cdot 6.77 \cdot 93.25)$$

$$P_{generator} = 0.52518375 \cdot 6.193.077$$

$$P_{generator} = 3.252.503 \text{ W}$$

- Bentuk airfol, jumlah 12, sudut 75°

Diketahui :

$$\eta_{turbin} = 0.91$$

$$\eta_{generator} = 0.95$$

$$\eta_{bentuk} = 0.75$$

$$\eta_{jumlah} = 0.90$$

$$\eta_{sudut} = 0.95$$

Maka :

$$P_{generator} = \eta_{turbin} \cdot \eta_{generator} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{generator} = 0.91 \cdot 0.95 \cdot 0.75 \cdot 0.90 \cdot 0.95 \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{generator} = 0.554360625 \cdot (1000 \cdot 9.81 \cdot 6.77 \cdot 93.25)$$

$$P_{generator} = 0.554360625 \cdot 6.193.077$$

$$P_{generator} = 3.433.198 \text{ W}$$

- Bentuk airfol, jumlah 12, sudut 90°

Diketahui :

$$\eta_{turbin} = 0.91$$

$$\eta_{generator} = 0.95$$

$$\eta_{bentuk} = 0.75$$

$$\eta_{jumlah} = 0.90$$

$$\eta_{sudut} = 1.00$$

Maka :

$$P_{generator} = \eta_{turbin} \cdot \eta_{generator} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{generator} = 0.91 \cdot 0.95 \cdot 0.75 \cdot 0.90 \cdot 1.00 \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{generator} = 0.5835375 \cdot (1000 \cdot 9.81 \cdot 6.77 \cdot 93.25)$$

$$P_{generator} = 0.5835375 \cdot 6.193.077$$

$$P_{generator} = 3.613.892 \text{ W}$$

- Bentuk airfol, jumlah 18, sudut 60°

Diketahui :

$$\eta_{turbin} = 0.91$$

$$\eta_{generator} = 0.95$$

$$\eta_{bentuk} = 0.75$$

$$\eta_{jumlah} = 0.95$$

$$\eta_{sudut} = 0.90$$

Maka :

$$P_{generator} = \eta_{turbin} \cdot \eta_{generator} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{generator} = 0.91 \cdot 0.95 \cdot 0.75 \cdot 0.95 \cdot 0.90 \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{generator} = 0.554360625 \cdot (1000 \cdot 9.81 \cdot 6.77 \cdot 93.25)$$

$$P_{generator} = 0.554360625 \cdot 6.193.077$$

$$P_{generator} = 3.433.198 \text{ W}$$

- Bentuk airfol, jumlah 18, sudut 75°

Diketahui :

$$\eta_{turbin} = 0.91$$

$$\eta_{generator} = 0.95$$

$$\eta_{bentuk} = 0.75$$

$$\eta_{jumlah} = 0.95$$

$$\eta_{sudut} = 0.95$$

Maka :

$$P_{generator} = \eta_{turbin} \cdot \eta_{generator} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{generator} = 0.91 \cdot 0.95 \cdot 0.75 \cdot 0.95 \cdot 0.95 \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{generator} = 0.5851584375 \cdot (1000 \cdot 9.81 \cdot 6.77 \cdot 93.25)$$

$$P_{generator} = 0.5851584375 \cdot 6.193.077$$

$$P_{generator} = 3.623.931 \text{ W}$$

- Bentuk airfol, jumlah 18, sudut 90°

Diketahui :

$$\eta_{turbin} = 0.91$$

$$\eta_{generator} = 0.95$$

$$\eta_{bentuk} = 0.75$$

$$\eta_{jumlah} = 0.95$$

$$\eta_{sudut} = 1.00$$

Maka :

$$P_{generator} = \eta_{turbin} \cdot \eta_{generator} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{generator} = 0.91 \cdot 0.95 \cdot 0.75 \cdot 0.95 \cdot 1.00 \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{generator} = 0.61595625 \cdot (1000 \cdot 9.81 \cdot 6.77 \cdot 93.25)$$

$$P_{generator} = 0.61595625 \cdot 6.193.077$$

$$P_{generator} = 3.814.664 \text{ W}$$

- Bentuk airfol, jumlah 24, sudut 60°

Diketahui :

$$\eta_{turbin} = 0.91$$

$$\eta_{generator} = 0.95$$

$$\eta_{bentuk} = 0.75$$

$$\eta_{jumlah} = 1.00$$

$$\eta_{sudut} = 0.90$$

Maka :

$$P_{generator} = \eta_{turbin} \cdot \eta_{generator} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{generator} = 0.91 \cdot 0.95 \cdot 0.75 \cdot 1.00 \cdot 0.90 \cdot (\rho g Q H)$$

$$P_{generator} = 0.5835375 \cdot (1000 \cdot 9.81 \cdot 6.77 \cdot 93.25)$$

$$P_{generator} = 0.5835375 \cdot 6.193.077$$

$$P_{generator} = 3.613.892 \text{ W}$$

- Bentuk airfol, jumlah 24, sudut 75°

Diketahui :

$$\eta_{turbin} = 0.91$$

$$\eta_{generator} = 0.95$$

$$\eta_{bentuk} = 0.75$$

$$\eta_{jumlah} = 1.00$$

$$\eta_{sudut} = 0.95$$

Maka :

$$P_{generator} = \eta_{turbin} \cdot \eta_{generator} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (pgQH)$$

$$P_{generator} = 0.91 \cdot 0.95 \cdot 0.75 \cdot 1.00 \cdot 0.95 \cdot (pgQH)$$

$$P_{generator} = 0.61595625 \cdot (1000 \cdot 9.81 \cdot 6.77 \cdot 93.25)$$

$$P_{generator} = 0.61595625 \cdot 6.193.077$$

$$P_{generator} = 3.814.664 \text{ W}$$

- Bentuk airfol, jumlah 24, sudut 90°

Diketahui :

$$\eta_{turbin} = 0.91$$

$$\eta_{generator} = 0.95$$

$$\eta_{bentuk} = 0.75$$

$$\eta_{jumlah} = 1.00$$

$$\eta_{sudut} = 1.00$$

Maka :

$$P_{generator} = \eta_{turbin} \cdot \eta_{generator} \cdot \eta_{bentuk} \cdot \eta_{jumlah} \cdot \eta_{sudut} \cdot (pgQH)$$

$$P_{generator} = 0.91 \cdot 0.95 \cdot 0.75 \cdot 1.00 \cdot 1.00 \cdot (pgQH)$$

$$P_{generator} = 0.648375 \cdot (1000 \cdot 9.81 \cdot 6.77 \cdot 93.25)$$

$$P_{generator} = 0.648375 \cdot 6.193.077$$

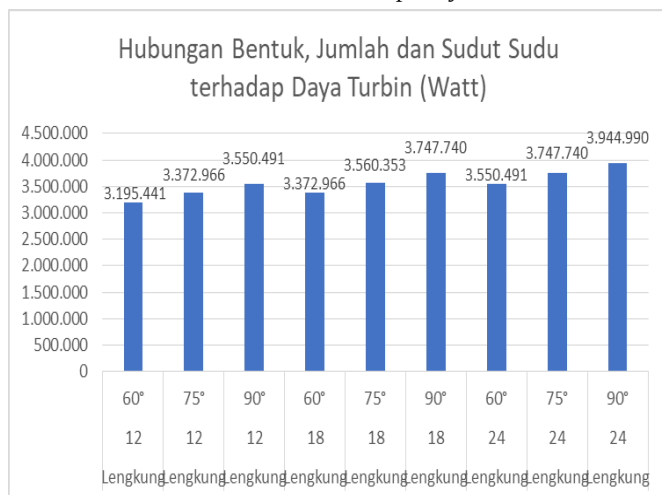
$$P_{generator} = 4.015.436 \text{ W}$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan data-data hasil penelitian dan pembahasannya

A. Analisa Bentuk Jumlah Sudut Sudu terhadap Daya Turbin

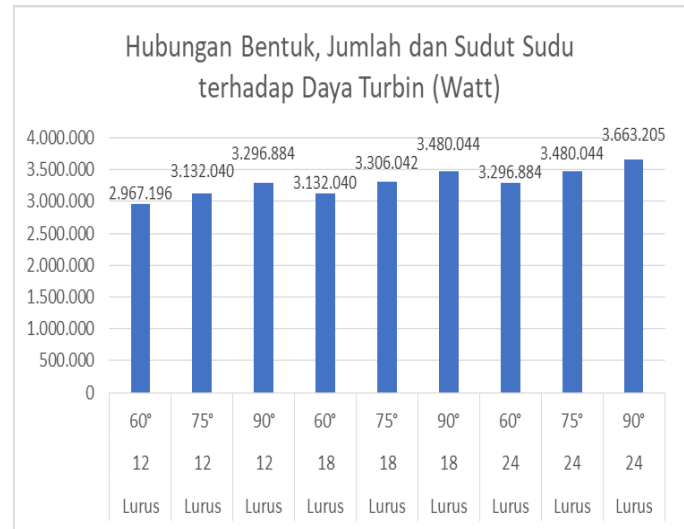
1) Analisa Kombinasi Sudu Bentuk Lengkung Jumlah 12, 18, 24 Sudut 60°, 75°, 90° Sudu terhadap Daya Turbin



gambar 5 Analisa Kombinasi Sudu Bentuk Lengkung Jumlah 12, 18, 24 Sudut 60°, 75°, 90° Sudu terhadap Daya Turbin

Dari gambar 5 terlihat bahwa daya turbin yang dihasilkan hampir mencapai 4.000.000 Watt. Pada kombinasi sudu bentuk lengkung dengan jumlah sudu 24 dan sudut 90° daya turbinnya adalah 3.944.990 Watt. Kemudian pada daya turbin terendahnya adalah 3.195.441 pada kombinasi sudu bentuk lengkung dengan jumlah 12 dan sudut 60°. Hal ini dapat dikatakan bahwa semakin banyak sudu dan semakin besar sudu sudu makan semakin besar pula daya yang dihasilkan oleh turbin.

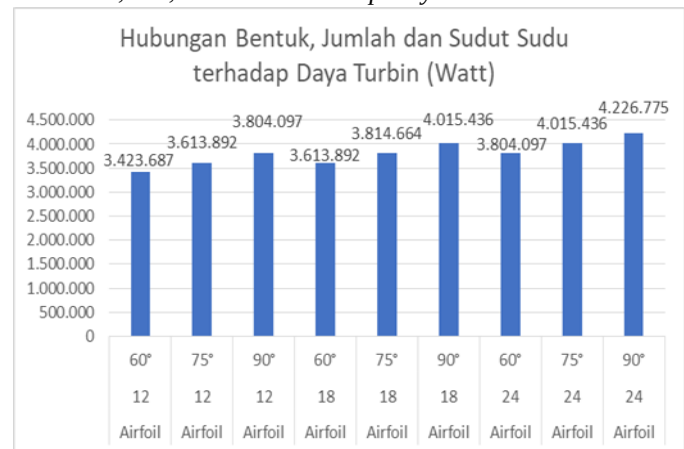
2) Analisa Kombinasi Sudu Bentuk Lurus Jumlah 12, 18, 24 Sudut 60°, 75°, 90° Sudu terhadap Daya Turbin



gambar 4 Analisa Kombinasi Sudu Bentuk lurus Jumlah 12, 18, 24 Sudut 60°, 75°, 90° Sudu terhadap Daya Turbin

Dari gambar 5 terlihat bahwa daya turbin tertingginya berada Pada kombinasi sudu bentuk lengkung dengan jumlah sudu 24 dan sudut 90° daya turbinnya adalah 3.663.205 Watt. Kemudian pada daya turbin terendahnya adalah 2.967.196 Watt pada kombinasi sudu bentuk lurus dengan jumlah 12 dan sudut 60°.

3) Analisa Kombinasi Sudu Bentuk Airfoil Jumlah 12, 18, 24 Sudut 60°, 75°, 90° Sudu terhadap Daya Turbin



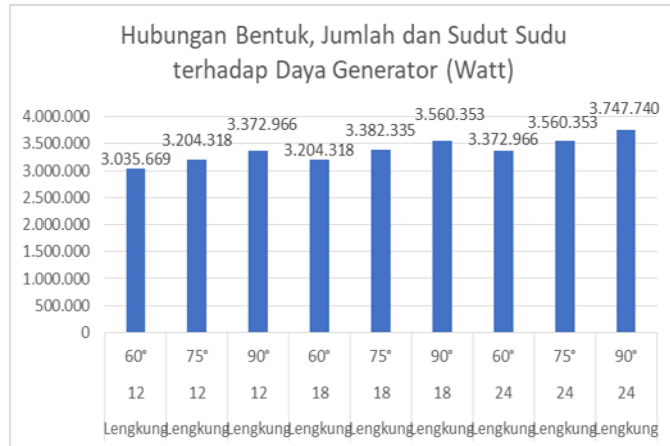
gambar 6 Analisa Kombinasi Sudu Bentuk Lengkung Jumlah 12, 18, 24 Sudut 60°, 75°, 90° Sudu terhadap Daya Turbin

Dari gambar 6 terlihat daya tertingginya adalah 4.226.775 Watt pada kombinasi sudu bentuk airfoil dengan jumlah sudu 24 dan sudut 90. Kemudian pada daya turbin terendahnya adalah 3.423.687 Watt pada kombinasi sudu bentuk lengkung

dengan jumlah 12 dan sudut 60° . Dari ketiga gambar diatas terlihat jelas bahwa bentuk, jumlah dan sudut sudu sangat mempengaruhi daya turbin.

B. Analisa Bentuk Jumlah Sudu Sudu terhadap Daya Generator

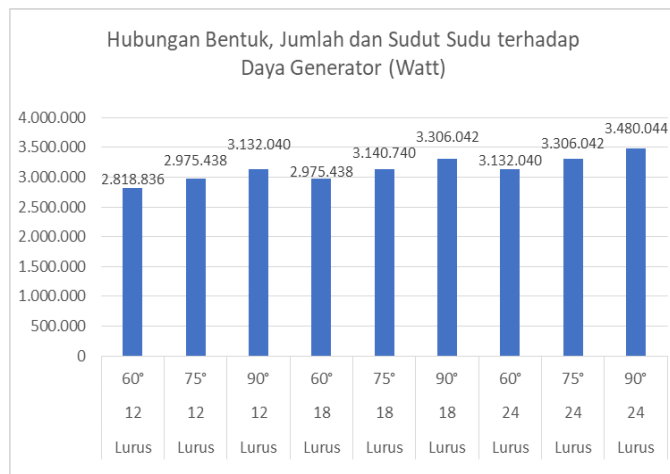
1) Analisa Kombinasi Sudu Bentuk Lengkung Jumlah 12, 18, 24 Sudut 60° , 75° , 90° Sudu terhadap Daya Generator



gambar 7 Analisa Kombinasi Sudu Bentuk Lengkung Jumlah 12, 18, 24 Sudut 60° , 75° , 90° Sudu terhadap Daya Generator

Dari data pada gambar 7 terlihat bahwa bentuk, jumlah dan sudut sudu sangat berpengaruh terhadap daya generator, semakin tinggi efisiensi dan penggunaan dari variasi (bentuk, jumlah, sudut) tepat maka akan semakin tinggi daya yang dihasilkan oleh generator. Pada bentuk sudu lengkung dengan jumlah sudu 24 dan sudut sudu 90° daya yang dihasilkan oleh generator mencapai 3.747.740 Watt. Kemudian pada bentuk sudu lengkung dengan jumlah sudu 12 dan sudut sudu 60° daya generator yang daya yang dihsilkan 3.035.669 Watt yang artinya penggunaan kombinasi sudu tersebut kurang efektif. Setiap kombinasi variasi sudunya saling selaras atau saling melengkapi.

2) Analisa Kombinasi Sudu Bentuk Lurus Jumlah 12, 18, 24 Sudut 60° , 75° , 90° Sudu terhadap Daya Generator

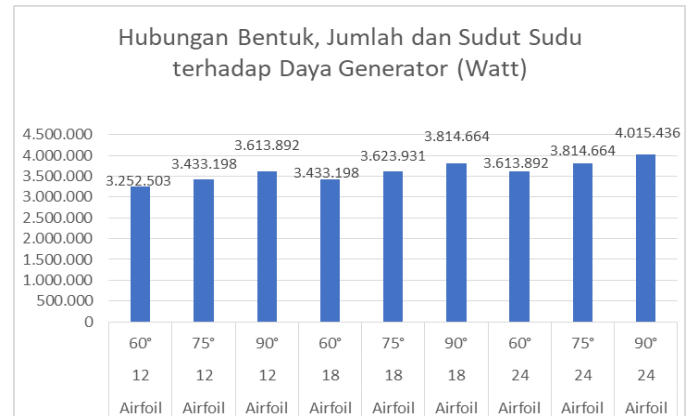


gambar 9 Analisa Kombinasi Sudu Bentuk Lurus Jumlah 12, 18, 24 Sudut 60° , 75° , 90° Sudu terhadap Daya Generator

Lalu pada data gambar 8 dapat dilihat bahwa penurunan daya generator sangat signifikan dari data gambar 8 diatas dan

artinya bentuk, jumlah, dan sudut sudu berpengaruh besar terhadap daya generator. Pada bentuk sudu lurus dengan jumlah sudu 24 dan sudut sudu 90° daya generator yang dihasilkan 3.480.044 Watt adalah daya tertinggi pada gambar 4.2 ini dan terbilang daya yang cukup besar. Kemudian pada bentuk sudu lurus dengan jumlah sudu 12 dan sudut sudu 60° menghasilkan daya generator hanya sebesar 2.818.836 Watt. Daya ini dapat dikatakan sangat kecil sekali untuk turbin francis dan kurang efektif. Maka dapat dikatakan bahwa bentuk sudu lurus cukup efektif tetapi kombinasi jumlah sudu dan sudutnya harus tepat.

3) Analisa Kombinasi Sudu Bentuk Airfoil Jumlah 12, 18, 24 Sudut 60° , 75° , 90° Sudu terhadap Daya Generator



gambar 8 Analisa Kombinasi Sudu Bentuk Airfoil Jumlah 12, 18, 24 Sudut 60° , 75° , 90° Sudu terhadap Daya Generator

Kemudian pada gambar 9 terlihat bahwa daya generator sangat tinggi. Tentunya bentuk, jumlah, dan sudut sudu sangat benar – benar mempengaruhi daya generator dalam mengkonversi energi. Pada bentuk sudu airfoil dengan jumlah sudu 24 dan sudut 90° daya generator yang dihasilkan mencapai 4.015.436 Watt. Itu merupakan angka daya generator yang tertinggi jika dibandingkan dengan daya generator lainnya dari setiap variasi kombinasi sudu. Dan jika untuk daya terendahnya pada bentuk sudu airfoil dengan jumlah sudu 12 dan sudut sudu 60° daya yang dihasilkan adalah 3.252.503 Watt yang artinya daya ini cukup besar.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dari hasil analisa kombinasi terbaik yang menghasilkan daya turbin tertinggi adalah bentuk airfoil, jumlah sudu 24, sudut sudu 90° dengan daya yang dihasilkan 4.226.775 Watt. Dan untuk daya generator terendahnya adalah 2.967.196 Watt dengan bentuk sudu lurus dan jumlah sudu 12 dan sudut sudu 60°. Hal ini menyatakan bahwa bentuk, jumlah, sudut sudu sangat mempengaruhi daya turbin dalam menghasilkan energi mekanik.
2. Dari hasil analisa kombinasi terbaik yang menghasilkan daya generator tertinggi adalah bentuk airfoil, jumlah sudu 24, sudut sudu 90° dengan daya yang dihasilkan 4.015.436 Watt. Dan untuk daya generator terendahnya adalah 2.818.836 Watt dengan bentuk sudu lurus dan jumlah sudu 12 dan sudut sudu 60°. Hal ini menyatakan bahwa bentuk, jumlah, sudut sudu sangat mempengaruhi daya generator dalam menghasilkan energi listrik.

B. Saran

Penelitian ini dapat menjadi acuan untuk perencanaan perancangan operasi turbin francis dengan kombinasi bentuk sudu airfoil dengan jumlah sudu 24 dan sudut 90° sehingga daya yang dihasilkan lebih tinggi dan efisien. Dan penelitian ini dapat menjadi acuan dalam mengkombinasikan variasi sudu (bentuk, Jumlah, sudut) dalam menentukan daya turbin yang dihasilkan hingga daya generator dalam menghasilkan listrik.

KUTIPAN

- [1] A. M. Simamora, J. Sinaga, P. Mutiara, L. Mariaty, and R. Sitohang, "Analisa Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Frekuensi Generator Satu Fasa," *Jesce*, vol. 7, no. 1, pp. 47–55, 2023. doi: 10.31289/jesce.v6i2.10194.
- [2] Basori, Wismanto Setyadi, and R. Ferdiana, "Analisis Unjuk Kerja Turbin Air Pada Pusat Listrik Tenaga Air (Plta) Dengan Kapasitas 70 Mw," *J. Konversi Energi dan Manufaktur*, vol. 3, no. 3, pp. 131–134, 2016. doi: 10.21009/jkem.3.3.3.
- [3] P. Y. Tangkilisan, "Analisa Perhitungan Specific WaterConsumption Pada Pembangkit Listrik Tenaga Air Di Sistem Minahasa," *E-Journal Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 4, no. 5, pp. 27–36, 2015.
- [4] W. Hidayat, "Prinsip Kerja dan Komponen - Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Wahyu Hidayat," 2019.
- [5] U. Amri, P. Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi Jurusan Teknik Elektro, and P. Negeri Lhokseumawe, "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (Pltph) (Analisis Daya Beban Ouput Pada Generator)," *J. Tektro*, vol. 5, no. 1, p. 100, 2021, [Online]. Available: <http://e-jurnal.pnl.ac.id/TEKTRO/article/view/2803>
- [6] B. Badaruddin and R. Noviali, "Perhitungan Penentuan Kerusakan Stator Generator Pada Pt. X," *J. Teknol. Elektro*, vol. 9, no. 1, pp. 46–49, 2018.
- [7] M. R. Faturrochman, I. Guntara, A. H. Andriawan, R.

Hartayu, I. A. W, and S. Santoso, "Pengaplikasian Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Tipe Turbin Screw di Desa Sendi, Pacet, Kabupaten Mojokerto," *El Sains J. Elektro*, vol. 3, no. 2, 2021, doi: 10.30996/elsains.v3i2.5981.

- [8] H. Asy and A. Ardiyatmoko, "Desain Generator Magnet Permanen Kecepatan Rendah Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin Atau Bayu (Pltb)," *Semin. Nas. Apl. Teknol. Inf.*, vol. 2020, no. Snati, pp. 15–16, 2020.
- [9] M. Farhan, "Pengaruh Pembebanan Terhadap Arus Eksitasi Generator Unit 2 PLTMH Curug," *J. simetrik*, vol. 11, no. 1, pp. 398–403, 2021.
- [10] R. Azharny, "Analisa Perbandingan Efisiensi Generator Sinkron Unit 1 Dan 2 Di Plta Sipansihaporas," Universitas Pembangunan Panca Budi Medan, 2021.
- [11] A. C. (2024). Sihombing, "Studi Plta Dengan Aplikasi Plta Pakkat 18 Megawatt," Universitas HKBP Nommensen, 2024.
- [12] M. Z. Arifin, "Analisa Unjuk Kerja Dan Tingkat Kavitasi Pada Turbin Francis Di PT PJB Unit Pembangkitan Brantas UNIT PLTA Sutami," *Inst. Teknol. Sepuluh Nop.*, pp. 8–14, 2017.
- [13] A. Syuhada, Hamdani, and Avinur, "Perancangan Turbin Francis untuk Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro di Lhok Sandeng Kabupaten Pidie Jaya," *Tek. Mesin Unsyiah*, vol. 1, no. 4, p. 23111, 2013.
- [14] M. Polban *et al.*, "Spiral Untuk Menentukan Optimasi Jumlah Sudu Pengarah Pada Turbin Francis," vol. 5, no. 02, pp. 1–7, 2011.
- [15] A. Aditia, N. Nasution, and F. F. Hasan, "ANALISIS PERFORMANSI TURBIN FRANCIS UNIT 1 KAPASITAS 22x4 MW DI PLTA PEUSANGAN 1 & 2 PT PLN (PERSERO) UPP," vol. 3, pp. 1066–1071, 2024.



Alvin Afrianto, penulis adalah anak pertama dari dua bersaudara, lahir di Kabupaten Berau, Kalimantan Timur, pada tanggal 02 April 2003. Penulis menempuh Pendidikan pertama di SD Plus Murung Pudak pada tahun 2009 hingga lulus 2015, melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 1 Tanjung pada tahun 2015 kemudian melanjutkan pendidikan di SMP Advent Mebali hingga lulus pada tahun 2018. Kemudian Penulis melanjutkan Pendidikan di SMA Kristen Makale pada tahun 2018 hingga lulus pada tahun 2021. Pada tahun 2021 penulis memulai Pendidikan di Universitas Sam Ratulangi, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro dengan mengambil konsentrasi minat Teknik Tenaga Listrik pada tahun 2023. Dalam menempuh Pendidikan, penulis telah melaksanakan Kerja Praktek di PLTA Tonsealama pada bulan Juli sampai September tahun 2024 yang berlokasi di Desa Tonsealama, Kecamatan Tondano Utara, Kabupaten Minahasa, dan mengikuti Kuliah Kerja Terpadu (KKT) pada bulan November sampai Desember pada KKT 141 Posko Kinilow, Kecamatan Tomohon Utara, Kota Tomohon. Kemudian pada bulan April

sampai Juni tahun 2025 melakukan penelitian dan pengambilan data di PLTA Tonsealama yang berlokasi di Desa Tonsealama, Kecamatan Tondano Utara, Kabupaten Minahasa. Penulis juga merupakan Anggota Himpunan Mahasiswa Elektro Universitas Sam Ratulangi Angkatan 2021 dan Penulis Menyelesaikan Pendidikan di Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado dengan Judul Penelitian “Pengaruh Sudu – Sudu terhadap Daya Output Turbin di PLTA Tonsealama”.