

OPTIMASI KINERJA TURBIN PELTON RESPON KEMIRINGAN BUCKET

by

Din Aswan Amran Ritonga , Junaidi ,

Rizky Gunawan

OPTIMASI KINERJA TURBIN PELTON RESPON KEMIRINGAN BUCKET

Din Aswan Amran Ritonga

Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Komputer, Universitas Harapan Medan
din.aswan@gmail.com,

Junaidi

Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Komputer, Universitas Harapan Medan
junaidi413@yahoo.com

Rizky Gunawan

Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Komputer, Universitas Harapan Medan

Abstrak

Air merupakan sumber energi yang dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik dengan memanfaatkan tenaga potensialnya. Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) adalah salah satu teknologi sudah terbukti ramah lingkungan dan tidak merusak lingkungan. Penggunaan turbin tergantung pada potensi head yang dimiliki. Seperti dalam hal ini turbin pelton yang menggunakan prinsip impuls memerlukan head yang cukup tinggi. Turbin jenis ini bekerja dengan memanfaatkan air jatuh ataupun ketinggian (*head*), kecepatan aliran, sudut sudu jumlah nosel, ukuran aliran dan jumlah sudu. Pengujian turbin pelton dengan beberapa kombinasi parameter antara lain: diameter nosel, jumlah nosel, jumlah sudu, dan kemiringan sudu. Analisa optimasi menggunakan *Software* Statistika. Berdasarkan pengujian ataupun penelitian yang dilakukan terhadap turbin pelton dengan memvariasikan kemiringan Bucket, Jumlah Bucket, Diameter Nozzel dan jumlah Nozzel Dengan menggunakan Metode Taguchi, Maka dapat disimpulkan bahwa Efisiensi turbin dengan menggunakan 2 nozzle yang sudah dikelola efisiensi turbin maksimum dihasilkan dengan daya 460 watt dengan efisiensi sebesar 28 %, terdapat pada kemiringan bucket 8⁰ pada Diameter nozzle 19 mm. Sedangkan efisiensi turbin minimum dihasilkan dengan daya 220 watt pada kemiringan bucket -8⁰ dengan efisiensi turbin sebesar 6 % pada Diameter nozzle 25 mm. Daya output maksimal turbin pelton dengan Pengujian menggunakan 2 nozzle dengan *flow* air 375 l/menit pada head 8 m dengan daya sebesar 490,5 watt. Berdasarkan Hasil Dari Grafik Pengujian Turbin Pelton dengan menggunakan metode Taguchi, Respon kemiringan bucket dengan Diameter nosel Putaran Maksimal yaitu pada kemiringan Bucket -8⁰ Menghasilkan Putaran Turbin Sebesar 416,7 Rpm dengan Diameter Nosel 19 mm. Sedangkan Dengan Power maksimal kemiringan Bucket 8⁰ Menghasilkan Beban Turbin Sebesar 405 watt dengan Diamater 22 mm.

Kata Kunci : Optimasi, Turbin Pleton

Abstract

Water is a source of energy that can be used as a power plant by utilizing its potential power. Hydroelectric power plant (PLTA) is a technology that has been proven to be environmentally friendly and does not damage the environment. The use of the turbine depends on the potential head it has. As in this case the Pelton turbine which uses the impulse principle requires a fairly high head. This type of turbine works by utilizing falling water or head, flow velocity, blade angle, number of nozzles, flow size and number of blades. Pelton turbine testing with several combinations of parameters including: nozzle diameter, number of nozzles, number of blades, and blade slope. Optimization analysis using Statistical Software. Based on tests or research conducted on Pelton turbines by varying the bucket slope, number of buckets, diameter of nozzles and number of nozzles using the Taguchi method, it can be concluded that the efficiency of the turbine using 2 nozzles that have been managed for maximum turbine efficiency is produced with a power of 460 watts with efficiency of 28%, found at a bucket slope of 80 at a nozzle diameter of 19 mm. While the maximum turbine efficiency is generated with a power of 220 watts at a bucket slope of -80 with a turbine efficiency of 6% at a nozzle diameter of 25 mm. The maximum output power of the Pelton turbine is by testing using 2 nozzles with a water flow of 375 l/minute at a head of 8 m with a power of 490.5 watts. Based on the results of the Pelton Turbine Test Graph using the Taguchi method, the response of the bucket slope with the Maximum Rotation Nozzle Diameter is at -80 Bucket Inclination Producing a Turbine Rotation of 416.7 Rpm with a Nozzle Diameter of 19 mm. Meanwhile, with a maximum power of 80 bucket slope, it produces a turbine load of 405 watts with a diameter of 22 mm.

Keywords : Optimasi, Pleton Turbin

1. PENDAHULUAN

Energi fosil yang saat ini sedang digunakan harus dikurangi dengan cara mencari energi alternatif lainnya, seperti energi air [1]. Indonesia memiliki potensi besar dalam pengembangan energi air (energi baru terbarukan). Hal ini disebabkan kondisi daerah Indonesia yang mempunyai banyak gunung dan perbukitan yang banyak di aliri air yang cukup potensial untuk dijadikannya pembangkit listrik tenaga air (PLTA). Besar potensi energi air di Indonesia adalah 74.976 MW, sebanyak 70.776 MW ada di luar Jawa, yang sudah dimanfaatkan adalah sebesar 3.105,76 MW sebagian besar berada di Pulau Jawa [2].

Air merupakan sumber energi yang dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik dengan memanfaatkan tenaga potensialnya. Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) adalah salah satu teknologi sudah terbukti ramah lingkungan dan tidak merusak lingkungan. berbagai teknologi telah banyak diterapkan pada PLTA ini, baik dari sisi turbin maupun dari sisi instrumennya. Penggunaan turbin tergantung pada potensi head yang dimiliki. Seperti dalam hal ini turbin pelton yang menggunakan prinsip impuls memerlukan head yang cukup tinggi. Turbin jenis ini bekerja dengan memanfaatkan air jatuh ataupun ketinggian (*head*), kecepatan aliran, sudut sudu jumlah nosel, ukuran aliran dan jumlah sudu. Sejak munculnya turbin pelton, banyak kemajuan telah dibuat melalui penelitian metode percobaan laboratorium terutama pada parameter desain turbin seperti jumlah nosel, bukaan sudu pengarah, rasio diameter runner, lebar runner dan diameter nosel [3].

Rully Septiadi meneliti optimasi turbin pelton dengan menggunakan 3 nozzle dan variasi kemiringan hingga 15° dengan menggunakan metode taguchi. Dari penelitian tersebut didapat pengaruh masing – masing faktor jumlah nozzle 781,29, diameter nozzle 800,78 dan kemiringan sudu 790,12, dan daya yang dihasilkan turbin sebesar 40,24 volt [4]. Berdasarkan latar belakang diatas peneliti akan melakukan penelitian pengujian turbin pelton dengan beberapa kombinasi parameter antara lain: diameter nosel, jumlah nosel, jumlah sudu, dan kemiringan sudu. Analisa optimasi menggunakan *Software* Statistika.

2. HASIL PENELITIAN

Pengolahan data dilakukan untuk mengetahui nilai daya output turbin dan efisiensi turbin Kemiringan Bucket Dengan Diameter Nosel Menggunakan *Software* Statistika.

2.1. Data Hasil Pengujian

Data ini didapat dari hasil pengujian yang telah dilakukan beberapa waktu yang lalu, dimana pengujian dilakukan dengan cara bervariasi kemiringan bucket dengan Diameter Nosel menggunakan *Software* Statistika.

2.2. Data Penelitian

2.2.1. Kemiringan Bucket dengan Diameter Nosel

Perhitungan rata flow air (debit air) turbin pelton dilakukan dengan menggunakan alat flow meter. Pada pengujian ini dilakukan dengan menggunakan 2 nosel perbandingan kemiringan Bucket dengan Diameter Nosel. Pengujian dengan menggunakan 2 nosel pada perbandingan kemiringan Bucket dengan Diameter Nosel dapat mencapai daya output maksimal yaitu 416,7 Watt pada kemiringan Bucket -8° Flow airnya sebesar 0,8 Bar untuk diameter nosel 19 mm Daya output maksimal 414,8 watt Flow airnya sebesar 0,8 Bar.

Tabel 1 Kemiringan Bucket dengan Diameter Nosel

Q (L/Min)	P.bar	A.Bucket	D.nozle	Rpm	Power	P (watt)
300	0.7	8	19	390	340	1750
300	0.7	8	22	408	360	2510
300	0.7	8	25	420	200	2270
300	0.8	8	19	390	460	1670
300	0.8	8	22	412	440	2600
300	0.8	8	25	385	340	2380
375	0.7	8	19	400	460	1670
375	0.7	8	22	412	440	2600
375	0.7	8	25	355	460	2420
375	0.8	8	19	400	460	1670
375	0.8	8	22	412	440	2600
375	0.8	8	25	355	460	2420

300	0.7	-8	19	400	250	3780
300	0.7	-8	22	412	290	3700
300	0.7	-8	25	422	220	3570
300	0.8	-8	19	426	340	3830
300	0.8	-8	22	423	340	3750
300	0.8	-8	25	415	290	3640
375	0.7	-8	19	400	250	3780
375	0.7	-8	22	416	320	2960
375	0.7	-8	25	422	220	3570
375	0.8	-8	19	426	340	3830
375	0.8	-8	22	423	340	3750
375	0.8	-8	25	415	290	3640

2.3. Analisa Data

Data hasil pengujian turbin pelton diatas merupakan data yang belum dikelola. Untuk dapat menarik suatu kesimpulan, maka data diatas akan dikelola. Adapun pengolahan data terkait antara daya output dan efesiensi turbin.

2.3.1. Daya listrik output turbin (watt)

Daya Listrik atau dalam bahasa Inggris disebut dengan *Electrical Power* adalah jumlah energi yang diserap atau dihasilkan dalam sebuah sirkuit/rangkaian. Didalam pengujian ini peneliti meneliti daya yang dihasilkan oleh turbin, dalam hal ini peneliti juga melakukan pengujian dengan cara memvariasikan kemiringan bucket dan memvariasikan flow atau debit aliran yang masuk kedalam turbin. Berikut rumus untuk menghitung daya yang dihasilkan oleh turbin :

$$P_{out} = \rho \cdot Q \cdot g \cdot h \dots\dots\dots(1)$$

Dimana ;

- P_{out} = Daya output turbin (watt)
- ρ = Massa jenis (kg/m³)
- Q = Flow air (m³/sec)
- g = Gravitasi (9,81 m/s²)
- h = head (m)

Pengujian menggunakan 2 nozzle dengan flow air 300 Liter/menit pada head 7 m :

$$P_{out} = \rho \cdot Q \cdot g \cdot h$$

$$P_{out} = 1000 \times 0,005 \times 9,81 \times 7$$

$$P_{out} = 343,35 \text{ watt}$$

Pengujian menggunakan 2 nozzle dengan flow air 300 L/menit pada head 8 m :

$$P_{out} = \rho \cdot Q \cdot g \cdot h$$

$$P_{out} = 1000 \times 0,005 \times 9,81 \times 8$$

$$P_{out} = 392,4 \text{ watt}$$

Pengujian menggunakan 2 nozzle dengan flow air 375 L/menit pada head 7 m :

$$P_{out} = \rho \cdot Q \cdot g \cdot h$$

$$P_{out} = 1000 \times 0,00625 \times 9,81 \times 7$$

$$P_{out} = 429,18 \text{ watt}$$

Pengujian menggunakan 2 nozzle dengan flow air 375 L/menit pada head 8 m :

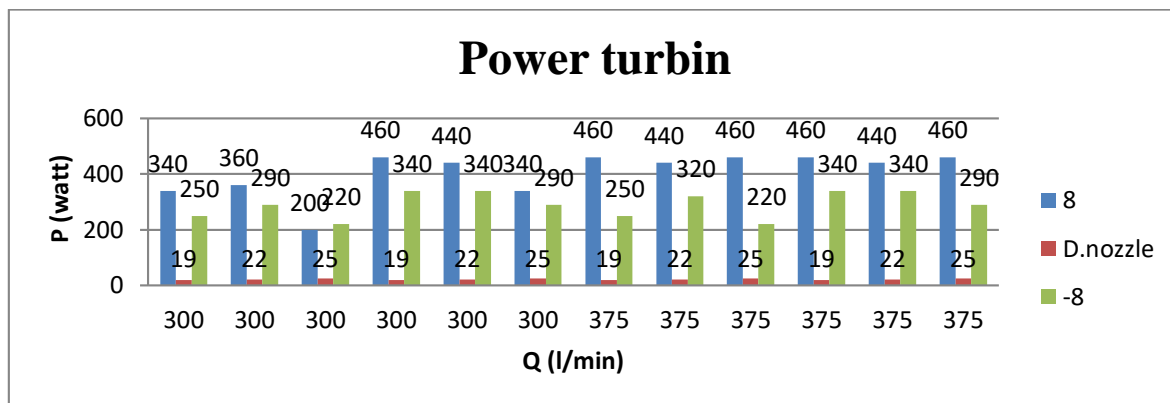
$$P_{out} = \rho \cdot Q \cdot g \cdot h$$

$$P_{out} = 1000 \times 0,00625 \times 9,81 \times 8$$

$$P_{out} = 490,5 \text{ watt}$$

Melalui perhitungan secara teoritis menunjukkan daya output yang dihasilkan berubah-ubah mengikuti flow ataupun debit air .Daya tertinggi terdapat pada flow air 0.00625 m³/s yaitu 490,5 watt pada tinggi jatuh air 8 m. Sedangkan daya minimum terdapat pada flow air 0.005 m³/s yaitu 343,35 pada tinggi jatuh air 7 m.

Dari data yang didapat pada saat melakukan pengujian kemudian diplot dalam sebuah grafik.



Gambar 1 Grafik perbandingan daya output kemiringan bucket dengan diameter nozzle

Dari grafik diatas menunjukkan perbandingan daya output kemiringan bucket dengan diameter nozzle. Daya output maksimal turbin untuk kemiringan bucket 8° yaitu sebesar 460 watt sedangkan untuk Diameter nozzle Daya output maksimal turbin yaitu pada diameter nozzle 19 mm dan 22 mm.

2.3.2. Efisiensi Turbin

Efisiensi turbin adalah perbandingan daya yang dihasilkan dari generator dengan daya masuk. Daya masuk dihitung dari konsumsi daya listrik pompa air sebagai penyuplai air dimana dirumuskan sebagai berikut :

$$\eta_t = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

- η_t = Efisiensi Turbin
- P_{out} = Daya yang dihasilkan
- P_{in} = Daya masuk

Untuk perhitungan efisiensi daya output turbin pelton seperti berikut:

Q (L/min)	P.bar	A.Bucket	D.nozzle	Power	P (watt)
300	0.7	8	19	340	1750
300	0.7	8	22	360	2510
300	0.7	8	25	200	2270
300	0.8	8	19	460	1670
300	0.8	8	22	440	2600
300	0.8	8	25	340	2380
375	0.7	8	19	460	1670
375	0.7	8	22	440	2600
375	0.7	8	25	460	2420
375	0.8	8	19	460	1670
375	0.8	8	22	440	2600
375	0.8	8	25	460	2420
300	0.7	-8	19	250	3780
300	0.7	-8	22	290	3700
300	0.7	-8	25	220	3570
300	0.8	-8	19	340	3830
300	0.8	-8	22	340	3750
300	0.8	-8	25	290	3640
375	0.7	-8	19	250	3780
375	0.7	-8	22	320	2960

375	0.7	-8	25	220	3570
375	0.8	-8	19	340	3830
375	0.8	-8	22	340	3750
375	0.8	-8	25	290	3640

Data efisiensi turbin dengan menggunakan 2 nozzle yang sudah dikelola dengan kemudian disajikan dalam bentuk tabel. Pada tabel 4.3 ditunjukkan efisiensi turbin maksimum dihasilkan dengan daya 460 watt dengan efisiensi sebesar 28 %, terdapat pada kemiringan bucket 8⁰ pada Diameter nozzle 19 mm. Sedangkan efisiensi turbin minimum dihasilkan dengan daya 220 watt pada kemiringan bucket -8⁰ dengan efisiensi sebesar 6 % pada Diameter nozzle 25 mm.

Tabel 3 Perbandingan Efesiensi turbin

Q (L/Min)	P.bar	A.Bucket	D.nozle	Power	P (watt)	Efesiensi
300	0.7	8	19	340	1750	19%
300	0.7	8	22	360	2510	14%
300	0.7	8	25	200	2270	9%
300	0.8	8	19	460	1670	28%
300	0.8	8	22	440	2600	17%
300	0.8	8	25	340	2380	14%
375	0.7	8	19	460	1670	28%
375	0.7	8	22	440	2600	17%
375	0.7	8	25	460	2420	19%
375	0.8	8	19	460	1670	28%
375	0.8	8	22	440	2600	17%
375	0.8	8	25	460	2420	19%
300	0.7	-8	19	250	3780	7%
300	0.7	-8	22	290	3700	8%
300	0.7	-8	25	220	3570	6%
300	0.8	-8	19	340	3830	9%
300	0.8	-8	22	340	3750	9%
300	0.8	-8	25	290	3640	8%
375	0.7	-8	19	250	3780	7%
375	0.7	-8	22	320	2960	11%
375	0.7	-8	25	220	3570	6%
375	0.8	-8	19	340	3830	9%
375	0.8	-8	22	340	3750	9%
375	0.8	-8	25	290	3640	8%

Data yang sudah diolah kemudian diplot dalam sebuah grafik. Dari grafik tersebut menunjukkan efisiensi terbesar terdapat pada kemiringan bucket 8⁰ dengan efisiensi sebesar 16 % pada Diameter nozzle 19 mm.

2.4. Analisa Menggunakan Metode Taguchi

Dalam penelitian ini peneliti juga menggunakan metode taguchi untuk menganalisa data yang dihasilkan pada saat pengujian dan nilai maksimal daya turbin yang digunakan.

a. Analisa data menggunakan taguchi L-36 (2³ dan 3¹)

Dalam penelitian menggunakan Maksud dari taguchi L-36 (2³ dan 3¹) yaitu :

L-36 = terdiri dari 36 baris

2³ = terdiri dari 2 level dalam 3 faktor

3¹ = terdiri dari 3 level dalam 1 faktor

Data penelitian menggunakan taguchi L-36 (2^3 dan 3^1).

Tabel 4 Kemiringan Bucket Dengan Diameter Nosel

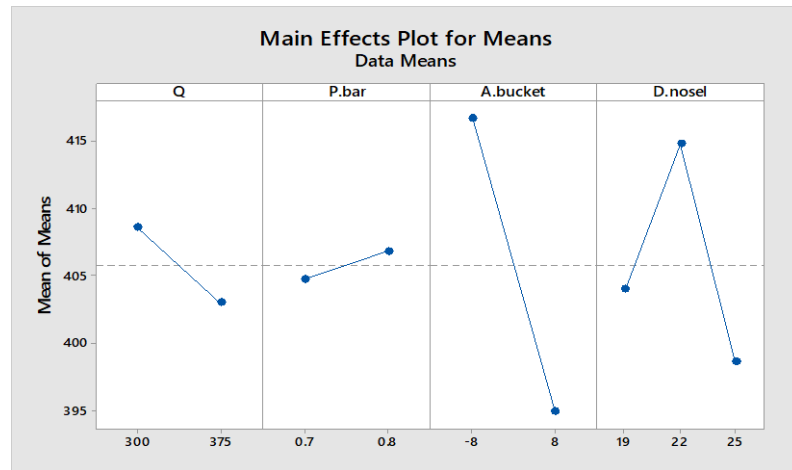
Q (L/Min)	P.bar	A.Bucket	D.nozle	Rpm	Power
300	0.7	8	19	390	340
300	0.7	8	22	408	360
300	0.7	8	25	420	200
300	0.7	8	19	390	340
300	0.7	8	22	408	360
300	0.7	8	25	420	200
300	0.7	-8	19	400	250
300	0.7	-8	22	412	290
300	0.7	-8	25	422	220
300	0.8	8	19	390	460
300	0.8	8	22	412	440
300	0.8	8	25	385	340
300	0.8	-8	19	426	340
300	0.8	-8	22	423	340
300	0.8	-8	25	415	290
300	0.8	-8	19	426	340
300	0.8	-8	22	423	340
300	0.8	-8	25	415	290
375	0.7	-8	19	400	250
375	0.7	-8	22	416	320
375	0.7	-8	25	422	220
375	0.7	-8	19	400	250
375	0.7	-8	22	416	320
375	0.7	-8	25	422	220
375	0.7	8	19	400	460
375	0.7	8	22	412	440
375	0.7	8	25	355	460
375	0.8	-8	19	426	340
375	0.8	-8	22	423	340
375	0.8	-8	25	415	290
375	0.8	8	19	400	460
375	0.8	8	22	412	440
375	0.8	8	25	355	460
375	0.8	8	19	400	460
375	0.8	8	22	412	440
375	0.8	8	25	355	460

Dari analisa menggunakan metode taguchi L-36 (2^3 dan 3^1) putaran (Rpm) maksimal generator terdapat pada kemiringan bucket -8^0 dengan Diameter Nosel 19 mm, pada tinggi jatuh air 8 m, dan flow air $300 \text{ m}^3/\text{s}$ dan putaran(Rpm) minumannya pada kemiringan bucket 8^0 , pada tinggi jatuh air 7 m dan flow air $375 \text{ m}^3/\text{s}$.

2.5. Grafik Hasil Penelitian Menggunakan Metode Taguchi

2.5.1. Kemiringan Bucket Dengan Diameter Nosel

1. Grafik Penelitian Putaran (RPM)



Gambar 2 Grafik Putaran (Rpm) Kemiringan bucket dengan Diameter Nosel

Berdasarkan Hasil Dari Grafik Pengujian Turbin Pelton dengan menggunakan metode Taguchi, Respon kemiringan bucket dengan Diameter nosel Putaran Maksimal yaitu pada kemiringan Bucket -8 Menghasilkan Putaran Turbin Sebesar 416,7 Rpm dengan Diameter Nosel 19 mm.

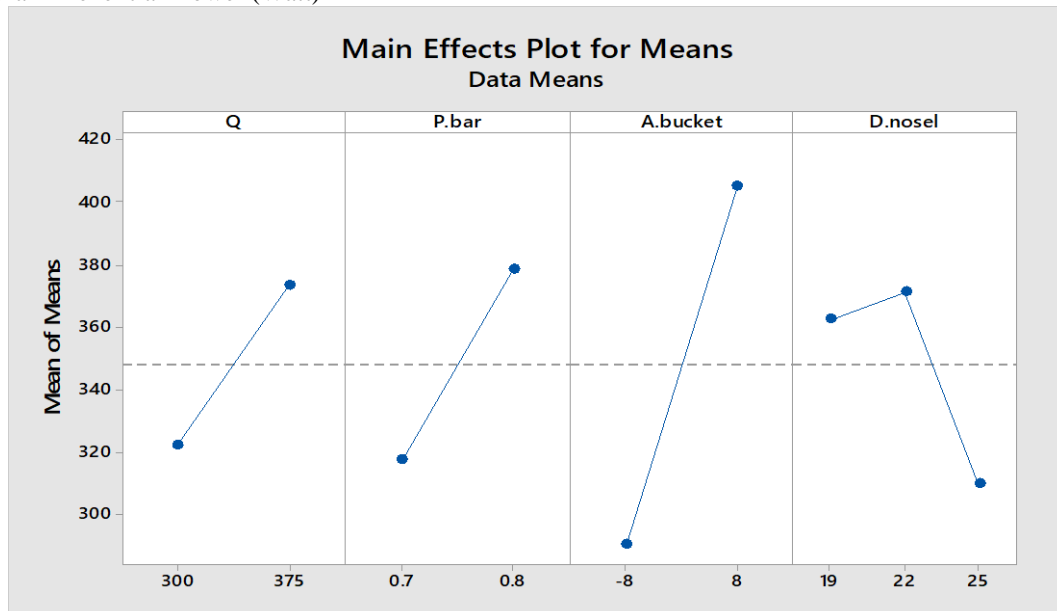
Tabel 5 putaran (Rpm) turbin menggunakan metode taguchi

Response Table for Means

Level	Q	P.bar	A.bucket	D.nosel
1	408,6	404,8	416,7	404,0
2	403,0	406,8	394,9	414,8
3				398,6
Delta	5,6	2,1	21,8	16,1
Rank	3	4	1	2

Dari analisa menggunakan metode taguchi L-36 (2^3 dan 3^1) putaran (Rpm) maksimal generator terdapat pada kemiringan bucket -8^0 dengan Diamater Nosel 19 mm, pada tinggi jatuh air 8 m, dan flow air $300 \text{ m}^3/\text{s}$ dan putaran(Rpm) minumumnya pada kemiringan bucket 8^0 , pada tinggi jatuh air 7 m dan flow air $375 \text{ m}^3/\text{s}$.

2. Grafik Penelitian Power (Watt)



Gambar 3 Grafik Power (Watt) Kemiringan bucket dengan Diameter Nosel

Namun untuk daya output daya turbin hasil analisa menunjukan variabel yang berpengaruh pada daya output tubin maksimal berbeda yaitu pada kemiringan bucket 8^0 yang mencapai 405 watt dengan Diameter Nosel 22 mm.

Tabel 6 Power (watt) pada turbin menggunakan metode taguchi

Response Table for Means

Level	Q	P.bar	A.bucket	D.nosel
1	322,5	317,5	290,8	362,5
2	373,3	378,3	405,0	371,3
3				310,0
Delta	50,8	60,8	114,2	61,3
Rank	4	3	1	2

3. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian ataupun penelitian yang dilakukan terhadap turbin pelton dengan memvariasikan kemiringan Bucket, Jumlah Bucket, Diameter Nozzel dan jumlah Nozzel Dengan menggunakan Metode Taguchi, Maka dapat disimpulkan bahwa Efisiensi turbin dengan menggunakan 2 nozzle yang sudah dikelola efisiensi turbin maksimum dihasilkan dengan daya 460 watt dengan efisiensi sebesar 28 %, terdapat pada kemiringan bucket 8° pada Diameter nozzle 19 mm. Sedangkan efisiensi turbin minimum dihasilkan dengan daya 220 watt pada kemiringan bucket -8° dengan efisiensi turbin sebesar 6 % pada Diameter nozzle 25 mm. Daya output maksimal turbin pelton dengan Pengujian menggunakan 2 nozzle dengan *flow* air 375 l/menit pada head 8 m dengan daya sebesar 490,5 watt. Berdasarkan Hasil Dari Grafik Pengujian Turbin Pelton dengan menggunakan metode Taguchi, Respon kemiringan bucket dengan Diameter nosel Putaran Maksimal yaitu pada kemiringan Bucket -8° Menghasilkan Putaran Turbin Sebesar 416,7 Rpm dengan Diameter Nosel 19 mm. sedangkan Dengan Power maksimal kemiringan Bucket 8° Menghasilkan Beban Turbin Sebesar 405 watt dengan Diameter 22 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kristanto,Bambang,2016.Analisa Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Kinerja Turbin Kinetik Tipe Poros Vertikal.Prodi Teknik Mesin,Fakultas Teknik Universitas Nusantara PGRI Kediri.
- [2] Irawan,H., Syamsuri, and Rahmad, “Analisis Performansi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Air Jenis Turbin Pelton Dengan Variasi Buka-an Katup Dan Beban Lampu Menggunakan Inverter,” *J. Has. Penelit. LPPM Untag Surabaya*, vol. 03, no. 01, pp. 27–31, 2018.
- [3] Lubis,A., “Energi terbarukan dalam pembangunan berkelanjutan,” *J. Tek. Lingkung.*, vol. 8, no. 2, pp. 155–162, 2007.
- [4] Septiadi,R., “Optimasi Design Turbin Pelton Menggunakan 3 Nozzle Dan Varian Kemiringan Sudu Hingga 150 Menggunakan Metode Taguchi,”*Teknobi= j Ilm. Progr.Stud.Magister Tek. Mesin, Vol.9, no.1 , pp.13-18, Feb.2019, doi :10.35814/ teknobiz.v9i1.885.*
- [5] Abdulkadir, M. 2018. “PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN TERHADAP KINERJA TURBIN ULIR.” *KURVATEK* 2(1): 65–72. <https://journal.itny.ac.id/index.php/krvtk/article/view/555>.
- [6] L. B. Masalah, “Universitas Sumatera Utara 1,” pp. 1–12, 1993.
- [7] Juhro-din, Udin. 2013. *Analisis Data Menggunakan Minitab 16*.
- [8] Roy,Ranjit k.1990. *A Primer on The Taguchy Method*. New york: Van Nostrand Reinhold
- [9] Prapti,C. “Analisa Turbin Pelton Berskala Mikro Pada Pembuatan Instalasi Uji Laboratorium.”
- [10] Wahjudi,Didik dan Pramono,yohan.2001.*optimasi proses injeksi dengan metode Taguchi*.(online): (<http://www.puslit.petra.ac.id>)
- [11] Ishak,Aulia.2002,*Rekayasa kualitas*.Universitas Sumatera Utara, 2: 1-24
- [12] SmartStat. 2010. *Mengenal Boxplot and Whisker Plot*.