Optimasi Desain Turbin Pelton Menggunakan 3 Nozzle Dan Variasi Kemiringan Sudu Hingga 15^0 Menggunakan Metode Taguchi

Rully Septiadi
**)Staff Engineering, PT.Archetype Indonesia, Jakarta*)*
Email :rully_septiadi23@yahoo.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa seberapa besar pengaruh jumlah *nozzle*, dan kemiringan sudut semprotan masuk *bucket* terhadap putaran *blade* turbin, menentukan bagaimana bentuk komposisi faktor-faktor tersebut yang paling optimum untuk menghasilkan performa turbin pelton yang maksimal, menghitung berapa besar titik parameter lari pada turbin pelton dengan kapasitas 3 *nozzle* dan kemiringan sudu -15^0, 0^0, dan 15^0 mengunakan metode taguchi.

Metode penelitian menggunakan metode taguchi L-9 (3^3) = 9 dengan menggunakan 9 kali eksperimen dan parameter yang digunakan adalah jumlah *Nozzle* (N), Diameter *Nozzle* (m), Kemiringan sudut semprotan masuk *bucket* (....0), dengan masing-masing level, jumlah *nozzle* yang digunakan 1 *nozzle*, 2 *nozzle*, 3 *nozzle*. Diameter yang digunakan 2 inchi, 1.5 inchi, dan 1 inchi. Sudut kemiringan sudu -15^0, 0^0, dan 15^0. Parameter pengujian yang diukur adalah tegangan dan putaran *blade*, serta pengaruh masing-masing faktor untuk mendapatkan komposisi variabel yang optimum dan titik parameter lari.

Berdasarkan pengujian dan analisis dengan menggunakan metode taguchi, komposisi parameter yang optimum adalah jumlah *nozzle* 3, diameter *nozzle* 1.5 inchi, sudut kemiringan sudu 0^0. Dari hasil analisis didapat pengaruh masing-masing faktor jumlah *nozzle* 781.29, diameter *nozzle* 800.78 dan kemiringan sudu 790.12. Daya yang dihasilkan turbin sebesar 40.24 Volt DC. Parameter lari di titik 4 dengan kecepatan 13.30 m/s, H_{turun} sebesar 7.89 m.

Kata kunci : sudu blade, turbin pelton, nozzle, PLTMH

Abstract

This research is aims to analyze how much influence the number of nozzle, and the slope of the bucket entering the bucket angle to the blade rotation of the turbine, determine how the optimum composition of these factors to produce maximum pelton turbine performance, calculate how many parameters run parameters on the pelton turbine with 3 nozzle capacity and slope of -15^0, 0^0 and 15^0 blade using taguchi method.

The research used the taguchi method L-9 (3^3) = 9 method using 9 experiments and the parameters used were the number of Nozzle (N), Nozzle Diameter (m), the slope of the spray angle entering the bucket (.... 0), with each - each level, number of nozzle used 1 nozzle, 2 nozzle, 3 nozzle. The diameter used is 2 inches,1.5 inches, and 1 inch. The slope angle of the -15^0, 0^0 and 15^0 blades. The measured test parameters are the voltage and blade rotation, and the influence of each factor to obtain the optimum variable composition and run parameter points.

Based on the testing and analysis using the Taguchi method, the optimum parameter composition is the number of nozzle 3, nozzle diameter 1.5 inches, blade slope angle 0^0. From the results of the analysis obtained the influence of each factor number nozzle 781.29, nozzle diameter 800.78 and the slope of the blade 790.12. The power produced by the turbine is 40.24 Volt DC. Running parameters at point 4 with a speed of 13,30 m / s, H_{down} to 7.89 m.

Key word : sudu blade, pelton turbine, nozzle, PLTMH

I. PENDAHULUAN

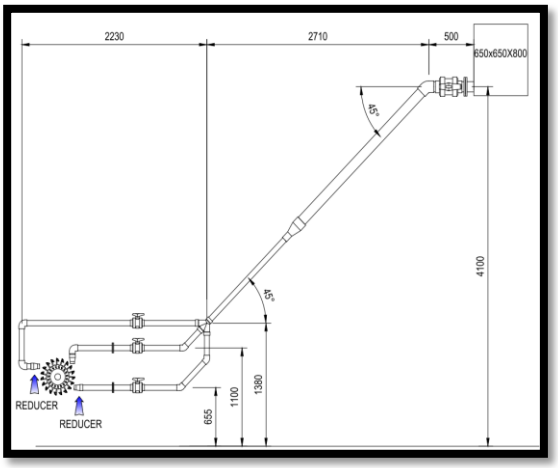
Turbin Pelton adalah mesin penggerak, dimana energi fluida kerja dipergunakan langsung untuk memutar roda turbin. Dari prinsip kerjanya, turbin dapat dikatakan sebagai mesin yang digerakkan oleh fluida yang *berdensity konstan.*Pemakaian turbin sangat luas baik di dunia industri maupun kehidupan sehari-hari. Suatu turbin didesain dan disesuaikan dengan instalasi serta keadaan di lapangan, sehingga untuk mendesain turbinnya pada kondisi tertentu sehingga pemanfaatannya lebih fleksibel dan lebih luas.Turbin air merupakan suatu peralatan konversi energi fluida kerja air, dan proses yang terjadi adalah perubahan energi kinetik air menjadi energi mekanis yang berupa putaran poros.

Banyaknya sumber daya alam yang ada di Indonesia, yakni salah satunya adalah sumber daya alam berupa air yang sangat potensial untuk membangkitkan sebuah energi terbarukan berupa energi listrik. Banyak penelitian telah dilakukan diantaranya analisis pengaruh perubahan beban terhadap kinerja turbin crossflow [3]**.** Aplikasi pembangkit listrik mikrohidro untuk penerangan lingkungan masyarakat di kecamatan ciwidey kabupaten bandung [4].Analisis performansi sistem pembangkit listrik tenaga air jenis turbin pelton dengan variasi bukaan katup dan beban lampu menggunakan inverter [5].Analisa kerugian head pada pembangkit mikrohidro skala laboratorium [6].Kajian eksperimen optimasi tipe lekuk sudu turbin pelton sudu basis konstruksi *elbow* pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro [7].

Laboratorium Universitas Pancasila merancang dan membangun Turbin Pelton Skala Laboratorium, setelah dilakukan pengujian ternyata hasil kurang maksimal, karena tegangan yang dihasilkan hanya 37.78 Volt dengan putaran blade 430 rpm. Mengingat hasil putaran *blade* turbin yang kecil, sementara turbin tersebut sebenarnya bisa menghasilkan putaran *blade* yang lebih cepat. Salah satu cara untuk meningkatkan putaran *blade* turbin yaitu melakukan optimasi design turbin pelton menggunakan metode Taguchi.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian menggnuanakan sistem rangkaian Turbin Pelton Skala Laboratorium di Universitas Pancasila. Skema alat penguian terlihat pada Gambar 1. Pengujian menggunakan variasi parameter jumlah *nozzle* 3 yaitu 1 *nozzle*, 2 *nozzle*, 3 *nozzle*. Diameter nozzle yang digunakan 2 inchi, 1.5 inchi, dan 1 inchi. Sudut kemiringan sudu yang digunakan -15°, 0°, dan 15°. Tabel parameter penelitian terlihat pada Tabel 1. Metode pungujian menggunakan metode Taguchidengan L-9 (3^3) = 9 eksperimen/pengujian. babel pengujian terlihat pada Tabel 2. Putaran turbin diukur menggunakan tachometer. tegangan listrik yang dihasilkan pada generator diukur menggunakan multimeter.



Gambar 1. Skema alat pengujian

Tabel 1. Parameter penelitian

Faktor/Variabel	Level 1	Level 2	Level 3
(A) Jumlah Nozzle (N)	1	2	3
(B) ØNozzle (m)	0,0508	0,0381	0,0254
(C) Kemiringan sudut blade (…^{0})	-15	0	15

Tabel 2. Pengujian metode TaguchiL-9 (3^3)

Pengujian	Jumlah Nozzle	Diameter Nozzle	Kemiringan Sudut blade (….^{0})
1	1	0,0508	-15
2	1	0,0381	0
3	1	0,0254	15
4	2	0,0508	0
5	2	0,0381	15
6	2	0,0254	-15
7	3	0,0508	15
8	3	0,0381	-15
9	3	0,0254	0

III. HASIL DAN DISKUSI

Hasil pengujian turbin pelton dengan metode taguchi disajikan pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian dengan metode taguchi

Pengujian	Tegangan (Volt)	Putaran *Blade* (rpm)	Daya (Watt)

1	30,3	593,8	17,99
2	37,7	829,56	31,27
3	32,4	756,25	24,51
4	36,35	811,27	29,49
5	33,7	782,3	26,36
6	31,2	750,3	23,41
7	30,8	608,6	18,74
8	35,3	790,5	27,91
9	40,24	885,3	35,62

Berdasarkan Tabel 3 di atas, maka dapat dianalisis hasil pengujian sebagai berikut:

1. Pengaruh rata-rata dari berbagai kombinasi variabel

$$= \frac{593,8 + 829,56 + 756,25 + 811,27 + 782,3 + 750,3 + 608,6 + 790,5 + 885,3}{9}$$

= 756,453 rpm

2. Pengaruh rata-rata diameter *Nozzle* 2 inch = 0,0508 m = 50,8 mm

$$= \frac{593,8 + 811,27 + 608,6}{3}$$

= 671,223 rpm

3. Pengaruh rata-rata diameter *Nozzle* 1,5 inch = 0,0381 m = 38,1 mm

$$= \frac{829,56 + 782,3 + 790,5}{3}$$

= 800,786 rpm

4. Pengaruh rata-rata diameter *Nozzle* 1 inch = 0,0254 m = 25,4 mm

$$= \frac{756,25 + 750,3 + 885,3}{3}$$

= 797,23 rpm

5. Pengaruh rata-rata kemiringan sudu -15^0

$$= \frac{593,8 + 750,3 + 790,5}{3}$$

= 711,533 rpm

6. Pengaruh rata-rata kemiringan sudu 0^0

$$= \frac{829,56 + 811,27 + 885,3}{3}$$

= 842,043 rpm

7. Pengaruh rata-rata kemiringan sudu 15^0

$$= \frac{756,25 + 782,3 + 608,6}{3}$$

= 715,716 rpm

8. Pengaruh rata-rata jumlah *Nozzle*level 1

$$= \frac{593,8 + 829,56 + 756,25}{3}$$

= 726,536 rpm

9. Pengaruh rata-rata jumlah *Nozzle*level 2

$$= \frac{608,6 + 790,5 + 885,3}{3}$$

= 761,466 rpm

10. Pengaruh rata-rata jumlah *Nozzle*level 3

$$= \frac{811,27 + 782,3 + 750,3}{3}$$

= 781,29 rpm

Berdasarkan data hasil pengaruh masing-masing faktor di atas, maka dapat dibuat tabel respon pengaruh masing-masing faktor, seperti di Tabel 4 bawah ini:

Tabel 4.Respon pengaruh rata-rata dari masing-masing factor

	Faktor Pengaruh		
	Jumlah *Nozzle* (N)	**Diameter *Nozzle* (m)**	**Kemiringan blade ($\ldots.^0$)**
Level 1	726,538	671,223	711,533
Level 2	761,466	800,786	842,043
Selisih	**34,93**	**128,563**	**130,51**
Ranking			
Level 1	726,538	671,223	711,533
Level 3	781,29	797,283	715,716
Selisih	**54,754**	**126,06**	**4,183**
Ranking			
Level 2	761,466	800,786	842,043
Level 3	781,29	797,283	715,716
Selisih	**19,824**	**3,503**	**126,327**
Ranking			

Dari Table 4 respon pengaruh masing-masing faktor didapat pada *Nozzle*kecepatan putaran *blade*, menghasilkan putaran turbin sebesar 781,29 rpm; untuk diameter *nozzle* level 2, menghasilkan putaran turbin sebesar 800,786 rpm; dan pada kemiringan sudu/*bucket* level 2menghasilkan putaran turbin sebesar 842,043 rpm.

Kombinasi dari faktor yang optimum ialah A3; B2; C2, artinya kerja *blade* turbin akan memberikan putaran *blade* yang paling baik apabila dioperasikan pada kombinasi:

A3 = Jumlah *nozzle* 3
B2 = Diameter *nozzle* 1,5 inch = 0,0381 m
C2 = Kemiringan sudu 0^0

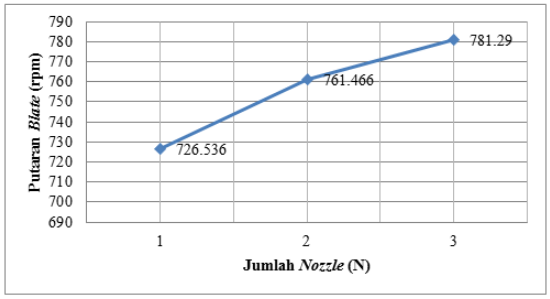
Blade turbin apabila dioperasikan pada kondisi optimum, putarannya akan disekitar harga Y_{opt} dengan rumus:

$$\mathbf{Y_{opt} = T + (A3 - T) + (B2 - T) + (C2 - T)}$$

Dimana, T adalah harga rata-rata putaranblade, A3 adalah harga rata-rata pengaruh faktor A3, B2 adalah harga rata-rata pengaruh faktor B2, C2 adalah harga rata-rata pengaruh faktor C2. Dengan menggunakan nilai-nilai tersebut di atas, maka dapat diperkirakan putaran blade berada disekitar:

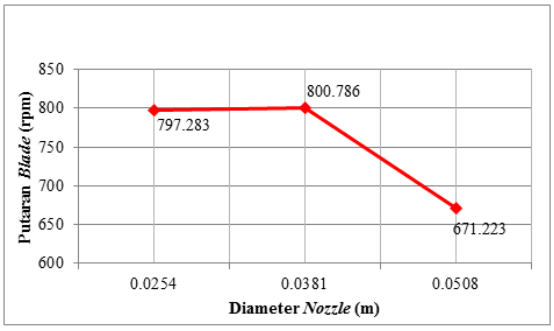
Y_{opt} = 756,453 + (781,29 – 756,453) + (800,786 – 756,453) + (842,043 – 756,453)
Y_{opt} = 911,213rpm
Y_{opt} = 911rpm

Sehingga, besarnya putaran yang dapat dicapai oleh *blade* bila dioperasikan pada kondisi optimal sebesar 911 rpm.



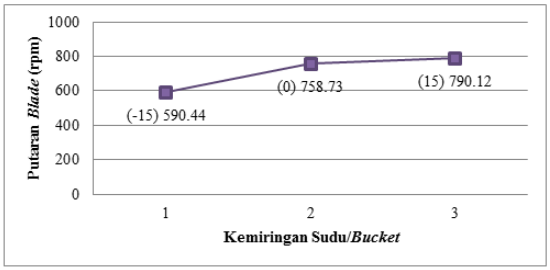
Gambar 2. PengaruhPutaran *Blade* terhadap Jumlah *Nozzle*

Berdasarkan Gambar 2 di atas, pengaruh putaran *blade* terhadap jumlah *nozzle*1, mempunyai rata-rata putaran *blade* sebesar 726,536 rpm; jumlah *nozzle*2, rata-rata putaran *blade* sebesar 761,466 rpm; dan jumlah *nozzle*3, rata-rata putaran *blade*sebesar 781,29 rpm.



Gambar 3. PengaruhPutaran *Blade* terhadap Diameter*Nozzle*

Berdasarkan Gambar 3 di atas, pengaruh putaran *blade* terhadap diameter *nozzle* 0,0254 mempunyai rata-rata putaran *blade* sebesar 797,283 rpm; diameter *nozzle* 0,0381 mempunyai rata-rata putaran *blade* sebesar 800,786 rpm; dan diameter *nozzle*0,0508 mempunyai rata-rata putaran *blade*sebesar 671,223 rpm.



Gambar 4. Pengaruh Putaran *Blade* terhadap Kemiringan Sudu

Berdasarkan Gambar 4 di atas, pengaruh putaran *blade* terhadap kemiringan sudu-15^0 mempunyai rata-rata putaran *blade* sebesar 590,44 rpm; kemiringan sudu 0^0 mempunyai rata-rata putaran *blade* sebesar 758,73 rpm; dan kemiringansudu 15^0 mempunyai rata-rata putaran *blade* sebesar 790,12 rpm.

IV. KESIMPULAN

1. Berdasarkan pengujian dan analisis optimasi desain turbin pelton dengan menggunakan metode taguchi, respon pengaruh masing-masing faktor didapat pada *Nozzle* kecepatan putaran *blade*, menghasilkan putaran turbin sebesar 781,29 rpm; untuk diameter *nozzle* level 2, menghasilkan putaran turbin sebesar 800,786 rpm; dan pada kemiringan sudu/*bucket* level 2 menghasilkan putaran turbin sebesar 842,043 rpm.Jadi besarnya putaran yang dapat dicapai oleh *blade* bila dioperasikan pada kondisi optimal sebesar 911 rpm.
   Berdasarkan pengaruh putaran *blade* terhadap jumlah *nozzle* 1, mempunyai rata-rata putaran *blade* sebesar 726,536 rpm; jumlah *nozzle* 2, rata-rata putaran *blade* sebesar 761,466 rpm; dan jumlah *nozzle* 3, rata-rata putaran *blade* sebesar 781,29 rpm.
   Berdasarkan pengaruh putaran blade terhadap diameter *nozzle* 0,0254 mempunyai rata-rata putaran *blade* sebesar 797,283 rpm; diameter *nozzle* 0,0381 mempunyai rata-rata putaran *blade* sebesar 800,786 rpm; dan diameter *nozzle* 0,0508 mempunyai rata-rata putaran *blade* sebesar 671,223 rpm;

Berdasarkan pengaruh putaran blade terhadap kemiringan sudu -150 mempunyai rata-rata putaran *blade* sebesar 590,44 rpm; kemiringan sudu 0^0mempunyai rata-rata putaran blade sebesar 758,73 rpm; dan kemiringan sudu 150 mempunyai rata-rata putaran blade sebesar 790,12 rpm.

Jadi berdasarkan pengujian dan analisis optimasi desain turbin pelton menggunakan metode taguchi, komposisi parameter yang optimum adalah jumlah *nozzle* 3; diameter *nozzle*1,5 inch; sudut kemiringan sudu 0^0.

2. Pengaruh masing-masing faktor, bahwa untuk jumlah 3 *nozzle* mendapatkan putaran *blade* dengan putaran tercepatnya 781,29 rpm; untuk diameter *nozzle*, putaran *blade* dengan level 2 menghasilkan putaran 800,78 rpm; dan untuk kemiringan sudu/*bucket* 0^0 dengan level 2 menghasilkan putaran 842,04 rpm.
3. Tegangan yang dihasilkan oleh turbin sebesar 40,24 Volt DC, dengan daya 35,62 Watt pada jumlah *nozzle* 3; diameter *nozzle*1 inch; kemiringan sudut semprotan masuk sudu/*bucket* 0^0. Jadi dari hasil pengujian alat, yang paling besar adalah tegangan yang dihasilkan oleh turbin.
4. Titik parameter lari di titik 4 dengan H_{turun} = 7,98 m; dan dengan kecepatan 13,30 m/s dan besaran torsi sebesar = 1891,55 N.m.

DAFTAR PUSTAKA

[1] R. Roy. (1990). *A primer on Taguchi Method.* Michigan: American Suplier Institute.

[2] I. Soejanto. (2009). *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

[3] Hatib, Rustan dan A. L. Andi. *Pengaruh Perubahan Beban terhadap Kinerja Turbin Crossflow*. Jurnal Mekanikal, Vol. 4 No. 2 (2013), 416 – 421.

[4] A. Bahtiar, dkk. *Aplikasi Pembangkit Listrik Mikrohidro untuk Penerangan Lingkungan Masyarakat di Kecamatan Ciwidey Kabupaten Bandung*. Jurnal Aplikasi Ipteks untuk Masyarakat Vol. 4, No. 1 (2015), 15 – 17.

[5] I. Hery,dan Q. S. Rahmad, (2018). *Analisis Performansi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Air Jenis Turbin Pelton Dengan Variasi Bukaan Katup Dan Beban Lampu Menggunakan Inverter*. Jurnal Hasil Penelitian LPPM *Untag* Surabaya, Vol. 03, No. 01, hal 27- 31.

[6] A, Rochman. (2015). *Analisa Kerugian Head Pada Pembangkit Mikrohidro Laboratorium Universitas Pancasila*. Jakarta: Teknik Mesin Universitas Pancasila.

[7] Sahid. (2010). *Kajian Ekspemental Optimasi Tipe Lekuk Sudu Turbin Pelton Sudu Basis Kontruksi Elbow Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro.* Semarang: Proseding Seminar Nasional, Politeknik Semarang.

[8] Sularso, Kiyokatsu Suga. (2002). *Dasar Perencanaan danPemilihan ElemenMesin.* Jakarta: Pradnya Paramita.

[9] Kvicinsky S, JL Kueny, F Avellan, E Parkinson. (2002). *Experimental and Numerical Analysis of Free surface flows in A Rotating Bucket.* Proceedings of the xxi st IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems. Lausanne.

[10] Staubli T, dan HP Hauser. (2004). *Flow Visualization-Adiagnosis Tool for Pelton turbines*. Lucerne: IGHEM2004.

[11] Boyle. (2003). *Renewable Energy*, *2nd edition.* Oxford University Press.

[12] Elbatran A.H., Yaakob, O.B., Ahmed, Y.M., and Shabara, H.M. (2015).*Operation, performance and economic analysis of low head micro-hydropower turbines for rural and remote areas*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 43, hh. 40–50.

[13] Khurmi, R.E. (1984). *A Text Book of Hydraulic Machine*. RamNagar, Newdelhi:S. Chand andCompany LTD.

[14] Bono dan Indarto. (2008). *Karakterisasi Daya Turbin Pelton Mikro*. Yogyakarta:UGM.

[15] Loots, I., Dijk, M.V., Barta, B., Vuuren, S.J.V., and Bhagwn, J.N. (2015). *A review of low head hydropower technologies and applications in a South Africancontext*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 50 1254–1268.

[16] Simamora, Muhammad Saleh. (2017). *Perancangan Alat Uji Prestasi Turbin Pelton*. Jurnal perancangan alat uji prestasi turbin pelton, hh. 1-9.

[17] Tampubolon, Frans Ade Putra dan Tekad Sitepu. (2014). *Uji Performansi Turbin Pelton dengan 26 Sudu pada Head 5,21 Meter dengan menggunakan Satu Buah Nosel dan Analisa Perbandingan menggunakan Variasi Bentuk Sudu*. Jurnal *e*-Dinamis, Volume. 8,

No.4 Maret 2014, hh. 204-213. ISSN 2338-1035.

[18] Bono dan Gatot Suwoto. (2011). *Karakterisasi Daya Turbin Pelton Sudu Setengah Silinder dengan Variasi Perbandingan Lebar Sudu dengan Diameter Nosel pada Harga Perbandingan Jet Sebesar 18*. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi ke-2, Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang, hh. 13-18. ISBN. 978-602-99334-0-6.

[19] Hatib, Rustan dan Andi Ade Larasakti. (2013). *Pengaruh Perubahan Beban terhadap Kinerja Turbin Crossflow*. Jurnal Mekanikal, Vol. 4 No. 2: Juli 2013: 416 – 421. ISSN 2086 – 3403.

[20] Mafrudin dan Dwi Irawan. (2013). Pembuatan Turbin Mikrohidro Tipe Cross-Flow sebagai Pembangkit Listrik di Desa Bumi Nabung Timur. Jurnal TURBO. Vol. 3 N0. 2, hh. 7-12. ISSN 2301-6663.