

## OPTIMASI PARAMETER KINCIR AIR TIPE UNDERSHOT DENGAN METODE TAGUCHI

Dian Ridlo Pamuji<sup>\*1)</sup>, Galang Sandy Prayogo<sup>\*2)</sup>, Mohamad Dimiyati Ayatullah<sup>\*3)</sup>  
<sup>\*1,2,3)</sup>Politeknik Negeri Banyuwangi, Banyuwangi  
E-mail ridlodian@poliwangi.ac.id

### ABSTRAK

Air merupakan sumber energy yang melimpah di Indonesia yang didalamnya tersimpan energi yang dapat dimanfaatkan untuk pembangkit listrik. Komponen utama dari pembangkit listrik tenaga Air (PLTA) adalah kincir air yang berfungsi merubah energy mekanik menjadi energi listrik. Untuk mendapatkan output dari kincir air seperti daya yang optimal, maka diperlukan pengaturan parameter-parameter kincir air yang tepat. Hal ini bertujuan meminimalkan waktu dan biaya yang diakibatkan oleh proses coba-coba. Penelitian tentang penentuan pengaturan kombinasi parameter kincir air tipe *undershot* yang tepat untuk mendapatkan respon optimal telah dilakukan. Parameter-parameter kincir air yang divariasikan adalah jenis sudu (lurus dan sudut), kedalaman pencelupan (2 cm, 5 cm, dan 7 cm) dan Berat *flywheel* ( 3 kg, 5 kg dan 8 kg). Parameter respon yang diamatai adalah daya output generator. Matrik orthogonal yang digunakan adalah  $L_{18}$  dan metode optimasi yang digunakan adalah Taguchi. Hasil peneltian menunjukkan bahwa untuk mendapatkan respon yang berupa daya output generator yang optimal, maka bentuk sudu dipilih dengan menggunakan bentuk lurus, kedalaman pencelupan diatur sebesar 7 cm dan berat berat *flywheel* diatur seberar 8 Kg.

**Kata Kunci:** kincir air, optimasi, Taguchi, *undershot*.

### ABSTRACT

Water is an abundant source of energy in Indonesia in which energy is stored which can be used for electricity generation. The main component of a hydroelectric power plant (PLTA) is a waterwheel which functions to convert mechanical energy into electrical energy. To get the output from the waterwheel such as optimal power, it is necessary to set the right waterwheel parameters. This aims to minimize the time and costs caused by the trial and error process. Research on determining the right combination of waterwheel parameter settings to get the optimal response has been carried out. The waterwheel parameters that were varied were the type of blade (straight and angle), immersion depth (2 cm, 5 cm, and 7 cm) and flywheel weight (3 kg, 5 kg and 8 kg). The response parameter observed is the generator output power. The orthogonal matrix used is  $L_{18}$  and the optimization method used is Taguchi. The results showed that to get a response in the form of optimal generator output power, the blade shape was chosen using a straight shape, the immersion depth was set at 7 cm and the flywheel weight was set at 8 Kg.

**Keywords:** optimization, Taguchi, *undershot*, watter wheel.

### PENDAHULUAN

Pemanfaatan energi alternatif sekarang sedang digalakkan untuk menggantikan ketergantungan terhadap energi fosil seperti batu bara. Saat ini, melalui Peraturan Menteri

ESDM No. 53/2018, pemerintah mendorong pemanfaatan energi terbarukan seperti pemanfaatan tenaga air sebagai pembangkit listrik. Air merupakan sumber energy yang melimpah di Indonesia yang didalamnya tersimpan energi yang dapat dimanfaatkan untuk pembangkit listrik. *Hydropower* adalah energi yang didapatkan dari air yang mengalir maupun air yang jatuh dari ketinggian. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) dan Pembangkit Listrik Tenaga Pico Hydro (PLTPH) merupakan pembangkit listrik dengan memanfaatkan energi air baik energi potensialnya maupun energi kinetiknya. Pembangkit listrik *micro hydro* daya yang dihasilkan sebesar 5-100 KW sedangkan *pico hydro* daya yang dihasilkan kurang dari 5 Kw (Fulford, dkk. 2000; Quaranta, dkk. 2018). Komponen utama dari pembangkit listrik tenaga Air (PLTA) adalah kincir air yang berfungsi merubah energy mekanik menjadi energi listrik.

Berdasarkan *head* dan *flow rate*, kincir air di bagi atas *undershot*, *breastshot* and *overshot* (Quaranta, dkk. 2015). Kincir air *undershot* jika bagian bawah dari kincir terkena aliran air atau air menghantam dinding sudu bagian bawah dari kincir. Kincir air tipe *under shot* ini digunakan pada perairan dengan ketinggian air yang rendah. Kincir air *overshot* kebalikan dari kincir air *under shot* yaitu jika bagian atas dari kincir terkena aliran air atau air menghantam dinding sudu bagian atas dari kincir. Sedangkan kincir air *breastshot* merupakan gabungan tipe *overshot* dan *undershot*.

Kincir air akan menghasilkan putaran dan torsi yang akan menghasilkan energi mekanik yang nantinya akan dirubah menjadi energi listrik melalui generator (Quaranta & Muller, 2019). Semakin besar putaran dan torsi yang dihasilkan oleh kincir, semakin besar pula daya yang dihasilkan. Bentuk sudu, jumlah sudu, berat kincir, diameter kincir, kedalaman sudut pencelupan kincir untuk tipe *undershot* dan jarak pencelupan kincir dari jatuhnya air untuk tipe *breastshot* merupakan parameter-parameter pada kincir air yang mempengaruhi output dari kincir air yang berupa torsi dan putaran (Sule, dkk. 2020; Nishi, dkk., 2019; Warjito, dkk., 2018). Untuk mendapatkan output dari kincir air seperti daya yang optimal, maka diperlukan pengaturan parameter-parameter kincir air yang tepat. Hal ini bertujuan meminimalkan waktu dan biaya yang diakibatkan oleh proses coba-coba.

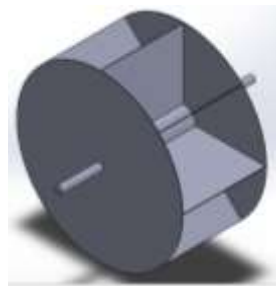
Penentuan kombinasi yang tepat dari parameter-parameter kincir air dapat menggunakan proses optimasi dengan metode Taguchi. Metode Taguchi merupakan

salah satu metode secara *offline* untuk mengendalikan kualitas produk secara efektif, yang dimulai dari perancangan hingga proses pembuatan produk.

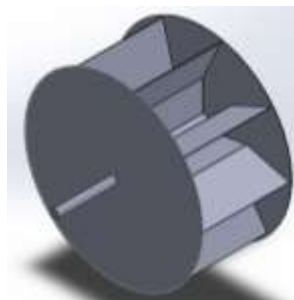
Berdasarkan pertimbangan maka perlu dilakukan penelitian tentang penentuan kombinasi variabel-variabel kincir air untuk mengoptimalkan respon daya output dari generator. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai referensi untuk membangun pembangkit listrik tenaga air dengan output yang optimal. Parameter-parameter kincir air yang digunakan pada penelitian ini adalah bentuk sudu, kedalaman pencelupan dan berat *fly wheel*. Metode optimasi yang akan digunakan adalah metode Taguchi.

### METODE

Kincir air yang digunakan pada penelitian ini menggunakan bentuk sudu lurus seperti ditunjukkan pada Gambar 1 dan sudu dengan sudut  $30^0$  seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Jumlah sudu kincir air pada penelitian ini 8 buah dengan diameter kincir 600 mm dan lebar 300 mm. sedangkan berat kincir 26 Kg.



Gambar 1. Sudu lurus



Gambar 2. Sudu sudut

Output dari penelitian ini berupa daya yang diukur dengan menggunakan alat ukur tegangan, arus dan daya seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Arus akan keluar setelah diberikan pembebanan. Beban yang digunakan pada penelitian ini menggunakan wirewound resistor dengan kapasitas maksimal 2 Kw seperti ditunjukkan pada Gambar 4.

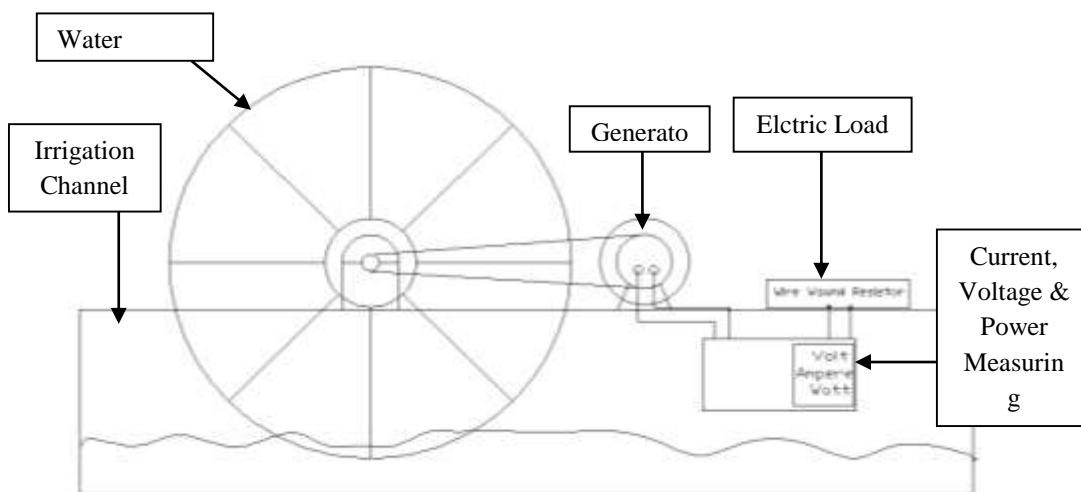


Gambar 3. Alat ukur tegangan, arus dan daya



Gambar 4. Wirewound resistor

Skema instalasi peralatan yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Skema instalasi peralatan penelitian.

Matriks ortogonal yang akan digunakan ditentukan berdasarkan jumlah level dari parameter-parameter proses yang telah ditetapkan pada penelitian ini. Jenis parameter, level dan nilai parameter yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 1. Parameter respon yang digunakan pada penelitian ini adalah daya output generator ( $P$ ).

Tabel 1. Parameter-parameter proses penelitian.

No.	Parameter-Parameter Proses	Level	Nilai Parameter		
1.	Bentuk sudu (BS)	2	lurus	sudut	-
2.	Kedalaman pencelupan (KP, Cm)	3	2	5	7
3.	Berat <i>flywheel</i> (BF, Kg)	3	3	5	8

Berdasarkan Tabel 1, dapat dilakukan perhitungan derajat kebebasan untuk menentukan matrik ortogonal yang akan digunakan seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Total derajat kebebasan variabel bebas dan levelnya.

No	Variabel Bebas	Jumlah Level	$v_{fi} (k-1)$
1	Bentuk Sudu	2	1
2	Kedalaman Pencelupan	3	2
3	Berat <i>flywheel</i>	3	2
Total derajat kebebasan			5

Total derajat kebebasan pada Tabel 2 adalah 5 dengan level campuran, maka dari itu matrik ortogonal yang akan digunakan harus lebih besar atau sama dengan 5 (Kumar, dkk. 2019). Berdasarkan pilihan yang disediakan, maka matriks ortogonal  $L_{18} (2^1 \times 3^3)$  dapat dijadikan sebagai rancangan percobaan seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Matriks ortogonal  $L_{18}$ .

Kombinasi	Variable Bebas		
	Bentuk sudu	Kedalaman pencelupan	Berat <i>flywheel</i>
1	1	1	1
2	1	1	2
3	1	1	3
4	1	2	1
5	1	2	2
6	1	2	3
7	1	3	1
8	1	3	2
9	1	3	3
10	2	1	1
11	2	1	2
12	2	1	3
13	2	2	1
14	2	2	2
15	2	2	3
16	2	3	1
17	2	3	2
18	2	3	3

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian berupa daya output generator (P) dapat dilihat pada Tabel 4. Berdasarkan Tabel 4, langkah selanjutnya melakukan perhitungan *signal to noise* (S/N) rasio untuk respon daya (P). *Signal to noise* (S/N) rasio digunakan untuk mengetahui level faktor mana yang berpengaruh pada hasil penelitian. Hasil penelitian berupa daya memiliki karakteristik kualitas semakin besar semakin baik.

Tabel 4. Data hasil penelitian

No.	Bentuk Sudu	Kedalaman Pencelupan (Cm)	Berat <i>flywheel</i> (Kg)	P (watt)		
				1	2	3
1	Lurus	2	3	0,56	0,56	0,56
2	Lurus	2	5	1,26	1,27	1,24
3	Lurus	2	8	1,18	1,21	1,21
4	Lurus	5	3	5,98	5,42	5,35
5	Lurus	5	5	5,16	5,28	5,28
6	Lurus	5	8	6,12	6,22	6,09
7	Lurus	7	3	5,68	5,72	5,7
8	Lurus	7	5	5,69	5,66	5,61
9	Lurus	7	8	6,36	5,93	5,9
10	Sudut	2	3	0,97	1,03	1,12
11	Sudut	2	5	0,81	0,75	0,71
12	Sudut	2	8	0,54	0,49	0,53
13	Sudut	5	3	6,85	6,3	6,81
14	Sudut	5	5	5,8	5,62	5,52
15	Sudut	5	8	5,59	5,56	5,48
16	Sudut	7	3	6,94	6,98	7,13
17	Sudut	7	5	5,83	5,79	5,98
18	Sudut	7	8	5,81	5,84	5,66

Perhitungan *Signal to noise* (S/N) rasio untuk respon daya output generator (P) pada kombinasi pertama adalah sebagai berikut:

$$S/N = -10 \log \left[ \sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{n} \right]$$

$$\begin{aligned}
 &= -10 \log \left[ \frac{\sum_{i=1}^n Y_i^2}{n} \right] \\
 &= -10 \log \left[ \frac{(0,56^2) + (0,56^2) + (0,56^2)}{3} \right] \\
 &= -5,04
 \end{aligned}$$

*Signal to noise* (S/N) rasio untuk kombinasi lainnya ditunjukkan pada Tabel 5. Desain eksperimen yang berupa matriks ortogonal memungkinkan untuk mengelompokkan pengaruh dari masing-masing variabel-variabel proses pada level yang berbeda.

Tabel 5. Nilai rasio S/N.

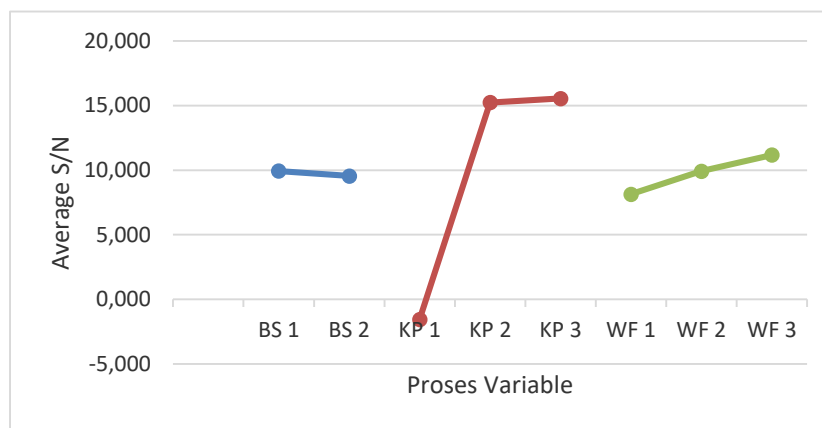
No.	Bentuk Sudu	Kedalaman Pencelupan (Cm)	Berat <i>flywheel</i> (Kg)	P (watt)			S/N Rasio
				1	2	3	
1	Lurus	2	3	0,56	0,56	0,56	-5,04
2	Lurus	2	5	1,26	1,27	1,24	1,98
3	Lurus	2	8	1,18	1,21	1,21	1,58
4	Lurus	5	3	5,98	5,42	5,35	14,91
5	Lurus	5	5	5,16	5,28	5,28	14,39
6	Lurus	5	8	6,12	6,22	6,09	15,77
7	Lurus	7	3	5,68	5,72	5,7	15,12
8	Lurus	7	5	5,69	5,66	5,61	15,05
9	Lurus	7	8	6,36	5,93	5,9	15,64
10	Sudut	2	3	0,97	1,03	1,12	0,30
11	Sudut	2	5	0,81	0,75	0,71	-2,46
12	Sudut	2	8	0,54	0,49	0,53	-5,70
13	Sudut	5	3	6,85	6,3	6,81	16,44
14	Sudut	5	5	5,8	5,62	5,52	15,03
15	Sudut	5	8	5,59	5,56	5,48	14,87
16	Sudut	7	3	6,94	6,98	7,13	16,92
17	Sudut	7	5	5,83	5,79	5,98	15,37
18	Sudut	7	8	5,81	5,84	5,66	15,22

Berdasarkan Tabel 5 dapat dihitung rata-rata nilai S/N rasio pada masing-masing level variabel proses seperti ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Rata-rata S/N rasio masing-masing level.

	Level 1	Level 2	Level 3
Bentuk Sudu	9.932	9.554	
Kedalaman Pencelupan	-1.556	15.234	15.552
Berat <i>flywheel</i>	9.774	9.892	9.563
Rata-rata		9.743	

Plotting rata-rata dari nilai *Signal to noise* (S/N) rasio pada masing-masing level dari parameter proses bentuk sudu, kedalaman pencelupan dan berat *flywheel* ditunjukkan pada Gambar 6.

Gambar 6. Plotting rata-rata *Signal to noise* (S/N) rasio.

Berdasarkan Gambar 6, dapat ditentukan kombinasi level-level parameter kincir air yang menghasilkan respon berupa daya output generator optimal seperti ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Kombinasi parameter proses yang menghasilkan respon optimal

Variabel proses	Level	Nilai
Bentuk sudu (BS)	1	Lurus
Kedalaman pencelupan (KP)	3	7 cm
Berat <i>flywheel</i> (BF)	3	8 Kg

Pengaruh variabel-variabel proses terhadap respon yang diteliti dapat diketahui dengan menggunakan analisis variansi (ANOVA). Hasil ANOVA dapat dilihat pada Tabel 8.



Tabel 8. ANAVA S/N rasio

<i>Source</i>	DF	SeqSS	AdjSS	AdjMS	P
Bentuk sudu	1	0,61	0,61	0,611	0,642
Kedalaman pencilupan	2	1147,86	1147,86	573,932	0,00
Berat <i>fly wheel</i>	2	28,26	28,26	14,128	0,023
<i>Error</i>	10	32,23	32,23	2,686	
Total	15				

Tabel 8 menunjukkan bahwa *p-value* untuk kedalaman pencilupan dan berat *flywheel* lebih kecil dari pada  $\alpha$  ( $\alpha = 0,05$ ), sehingga variabel proses kedalaman pencilupan dan berat *flywheel* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap respon daya output generator. Sedangkan *p-value* untuk bentuk sudu memiliki nilai lebih besar dari  $\alpha$  sehingga bentuk sudu secara statistik tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap respon.

### SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dengan judul “Optimasi Parameter Kincir Air Tipe *Undershot* dengan Menggunakan Metode Taguchi” yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Bentuk sudu lurus.
- Kedalaman pencilupan 7 cm.
- Berat *fly wheel* 8 Kg.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Banyuwangi melalui Pusat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (P3M) yang telah memberi dukungan financial terhadap penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- Fulford, D.J., Mosley, P., & Gill, A. (1999). Field Report Recommendations on The Use of Micro Hydro Power in Rural Development. *J. Int. Dev.*, 12, 975-983.
- Quaranta, E., & Revelli, R. (2018). Gravity Water Wheels as a Micro Hydropower Energy Source : A review Based on Historic Data, Design Methods, Efficiencies and Modern Optimizations. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 97, 414-427.
- Quaranta, E., & Revelli, R. (2015). Output Power and Power Losses Estimation for an Overshot Water Wheel. *Renew. Energy.*, 83, 979-987.

- Quaranta, E., & Müller, G. (2019). Optimization of Undershot Water Wheels in Very Low and Variable Flow Rate Applications. *Journal of Hydraulic Research*, DOI: 10.1080/00221686.2019.1671508..
- Warjito, Arifianto, S.A., Budiarmo, Adanta, D., & Nasution, S.B.S. (2018). Effect of Blades Number on Undershot Waterwheel Performance with Variable Inlet Velocity. *4th International Conference on Science and Technology (ICST)*, Yogyakarta, Indonesia.
- Nishi, Y., Inagaki, T., Li, Y., & Hatano, K. (2015). Study on an Undershot Cross-Flow Water Turbine with Straight Blades. *International Journal of Rotating Machinery*, 10.
- Sule, L., Mochtar, A.A., & Sutresman, O. (2020). Performance of Undershot Water Wheel with Bowl-Shaped Blades Model. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 11, 278–287.
- Kumar, B.R., Saravanan, S., & Rajaram, K. (2019). Combined Effect of Oxygenates and Injection Timing for Low Emissions and High Performance in a Diesel Engine Using Multi-Response Optimisation,” *Alexandria Eng. J.*, 58 (2), 625–636.