

RANCANG BANGUN DAN ANALISA KINERJA RODA TURBIN *UNDERSHOT* DENGAN MEMANFAATKAN AIR BUANGAN TURBIN PLTMH

Massugianto dan Akhmad Fadli Ibrahim¹⁾, La Ode Musa, Suryanto²⁾

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk (1) Merancang roda turbin *undershot* (2) Membuat roda turbin *undershot* (3) Menganalisa kinerja roda turbin *undershot*. Air buangan turbin PLTMH 70 kW yang berlokasi di desa Ledan, kabupaten Enrekang, provinsi Sulawesi Selatan, masih memiliki potensi daya air sebesar 2,27 Kw. Daya air tersebut dapat dimanfaatkan kembali sebagai pembangkit listrik tenaga air skala piko dengan menggunakan roda turbin *undershot* sebagai penggerak mulanya. Sebagai dasar perancangan roda turbin *undershot* dilakukan survei lapangan untuk mengetahui potensi daya air buangan turbin PLTMH. Pada pengujian kinerja roda turbin *undershot* dilakukan pengukuran arus dan tegangan pada rangkaian pengujian serta mengukur putaran pada poros roda turbin dan generator. Pengujian kinerja sistem pembangkit listrik tenaga air skala piko dengan menggunakan roda turbin *undershot* dilakukan pada saluran air buangan turbin PLTMH di desa Ledan. Hasil pengujian roda turbin *undershot* tanpa beban menghasilkan putaran 67 rpm. Setelah ditransmisikan dengan menggunakan sabuk V menghasilkan putaran 1538 rpm pada generator, dengan tegangan output generator 230 Volt. Kemudian dilakukan pengujian dengan penambahan pembebanan bervariasi hingga mampu menyalakan 5 buah lampu pijar 100 Watt dan setrika 300 Watt. Daya maksimum yang dihasilkan adalah 132,8 Watt dan daya minimum 28 Watt. Pengujian dengan pembebanan didapatkan efisiensi terkecil pada pembebanan 5 lampu pijar 100 Watt dan setrika 300 Watt adalah 2,44 % dan didapatkan efisiensi tertinggi pada pembebanan 3 lampu pijar 100 Watt adalah 1,58%.

Kata kunci: Roda turbin *undershot* potensi daya air.

I. PENDAHULUAN

Sebagian besar wilayah di Indonesia, suplai energi listrik masih mengandalkan pembangkit listrik berbahan bakar fosil yakni minyak bumi, gas alam dan batu bara yang terbatas jumlahnya di alam yang suatu saat akan habis, sementara permintaan energi akan terus bertambah. Oleh karena itu pemanfaatan energi pada masa sekarang ini sudah diarahkan pada penggunaan energi terbarukan yang terdapat di alam. Hal ini karena energi terbarukan ini cukup mudah didapat, ramah lingkungan dan dapat

¹ Alumni Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

² Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

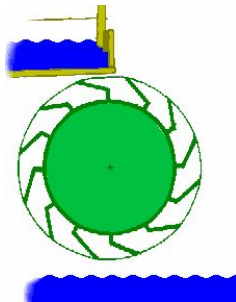
dimanfaatkan kembali bila dibandingkan dengan energi fosil. Salah satu solusi mengatasi masalah kelistrikan terutama di daerah pedesaan adalah merencanakan pembangkit listrik tenaga air skala mikro ataupun skala piko. Seperti diketahui bahwa PLTMH termasuk dalam golongan energy terbarukan, dimana energi air yang telah dimanfaatkan oleh PLTMH dalam hal ini air buangan turbin pada PLTMH masih memiliki potensi daya air yang dapat dimanfaatkan kembali sebagai salah satu pembangkit energi listrik.

Kincir air dapat didefinisikan sebagai peralatan mekanis berbentuk roda (*wheel*) dengan sudu (*bucket* atau *vane*) pada sekeliling tepi-tepinya, yang diletakkan pada poros horizontal. Pada kincir air, air beroperasi pada tekanan atmosfer dan air mengalir melalui sudu-sudu, yang mengakibatkan kincir berputar pada putaran tertentu. Air mengalir dari permukaan atas (*head race*) ke permukaan (*tail race*) melalui sudu-sudu tersebut (Paryatmo, 2007).

Kincir air merupakan sarana untuk mengubah energi air menjadi energi mekanik berupa torsi pada poros kincir. Ada beberapa tipe kincir air yaitu: kincir air overshoot, kincir air *undershot*, kincir air *breathshot* dan kincir air tub.

1. Kincir air overshoot

Kincir air overshoot bekerja bila air yang mengalir jatuh ke dalam bagian sudu-sudu sisi bagian atas dan karena gaya berat air roda kincir berputar. Kincir air overshoot adalah kincir air yang paling banyak digunakan dibandingkan dengan jenis kincir air yang lain.



Gambar 1. Kincir air overshoot

Sumber: http://www.osv.org/explore_learn/waterpower/

Keuntungan dari kincir air overshoot adalah:

- Tingkat efisiensi yang tinggi dapat mencapai 85%
- Tidak membutuhkan aliran yang deras
- Konstruksi yang sederhana
- Mudah dalam perawatan
- Teknologi yang sederhana mudah diterapkan di daerah yang terisolir

Kerugian dari kincir air overshoot adalah:

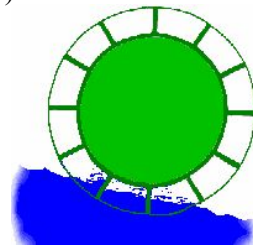
- Karena aliran ini berasal dari atas maka biasanya reservoir air atau bendungan air,

49 Massugianto, Akhmad Fadli Ibrahim, La Ode Musa, Suryanto, Rancang Bangun dan Analisa Kinerja Roda Turbin Undershot dengan Memanfaatkan Air Buangan Turbin PLTMH

- sehingga memerlukan investasi yang lebih banyak
- Tidak dapat diterapkan untuk mesin putaran tinggi
- Membutuhkan ruang yang lebih luas untuk penempatan
- Daya yang dihasilkan relatif kecil

2. Kincir air *undershot*

Kincir air *undershot* bekerja bila air yang mengalir, menghantam dinding sudu yang terletak pada bagian bawah dari kincir air. Kincir air tipe *undershot* tidak mempunyai tambahan keuntungan dari *head*. Tipe ini cocok dipasang pada perairan dangkal pada daerah yang rata. Tipe ini disebut juga dengan "Vitruvian". Disini aliran air berlawanan dengan arah sudu yang memutar kincir. Prinsip kerja dari kincir air tipe *undershot* adalah ketika aliran sungai/aliran air menumbuk salah satu dari blade, maka blade akan bergerak mengikuti arah aliran air dan secara bergantian masing-masing blade akan tertumbuk oleh aliran air sehingga kincir air akan memutar poros, dimana poros dari kincir akan dihubungkan dengan generator, sehingga generator akan berputar dan menghasilkan listrik. Kincir air *undershot* merupakan kincir air yang paling sederhana dari semua jenis kincir. Pada dasarnya kincir air *undershot* memiliki efisiensi maksimum 25%. Dari semua jenis kincir, jenis kincir *undershot* dapat dikatakan yang paling mudah pengoperasiannya dan memiliki biaya operasional yang paling murah (McGuigan,1978).



Gambar 2. Kincir air *undershot*

Sumber: http://www.osv.org/explore_learn/waterpower

Keuntungan dari kincir air *undershot* adalah:

- Konstruksi lebih sederhana
- Lebih ekonomis
- Mudah untuk dipindahkan

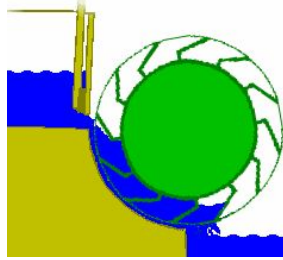
Kerugian dari kincir air *undershot* adalah:

- Efisiensi kecil
- Daya yang dihasilkan relatif kecil

3. Kincir air *breastshot*

Kincir air *breastshot* merupakan perpaduan antara tipe *overshot* dan *undershot* dilihat dari energi yang diterimanya. Jarak tinggi jatuhnya tidak melebihi diameter

kincir, arah aliran air yang menggerakkan kincir air disekitar sumbu poros dari kincir air. Kincir air jenis ini memperbaiki kinerja dari kincir air tipe *undershot*.



Gambar 3. Kincir air breastshot X

Sumber: http://www.osv.org/explore_learn/waterpower

Keuntungan dari kincir breastshot adalah:

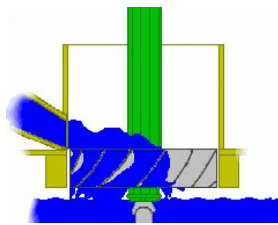
- Tipe ini lebih efisien dari tipe *undershot*
- Dibandingkan tipe overshot tinggi jatuhnya lebih pendek
- Dapat diaplikasikan pada sumber air aliran datar

Kerugian dari kincir breastshot adalah:

- Sudu-sudu dari tipe ini tidak rata seperti tipe *undershot* (lebih rumit)
- Diperlukan dam pada arus aliran datar
- Efisiensi lebih kecil dari pada tipe overshot

4. Kincir air tub

Kincir air tub merupakan kincir air yang kincimya diletakkan secara horisontal dan sudu-sudunya miring terhadap garis vertikal dan tipe ini dapat dibuat lebih kecil dari pada tipe overshot maupun tipe *undershot*. Karena arah gaya dari pancuran air menyamping maka energi yang diterima oleh kincir yaitu energi potensial dan kinetik.



Gambar 4. Kincir air tub

Sumber: http://www.osv.org/explore_learn/waterpower

Keuntungan dari kincir air tub adalah:

- Memiliki konstruksi yang lebih ringkas
- Kecepatan putarnya lebih cepat

Kerugian dari kincir air tub adalah:

- Tidak menghasilkan daya yang besar

51 Massugianto, Akhmad Fadli Ibrahim, La Ode Musa, Suryanto, Rancang Bangun dan Analisa Kinerja Roda Turbin Undershot dengan Memanfaatkan Air Buangan Turbin PLTMH

- Karena komponennya lebih kecil membutuhkan tingkat ketelitian yang lebih teliti (Santoso, R., 2009).

II. METODE PENELITIAN

Adapun metode penelitian yang dilakukan adalah:

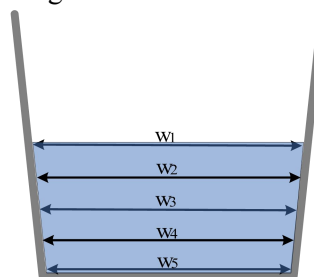
1. Survei lapangan yang dilakukan adalah mengukur kecepatan aliran air, mengukur dimensi saluran air, menghitung debit aliran air, mengukur tinggi jatuh (*head*) air buangan turbin PLTMH.
2. Menghitung dan menganalisa potensi daya yang dihasilkan dari air buangan turbin PLTMH
3. Rancang bangun pembangkit listrik tenaga air skala piko dengan menggunakan roda turbin *undershot* dengan memanfaatkan air buangan turbin PLTMH.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Perancangan dan Pengujian

Data awal yang digunakan sebelum melakukan perancangan adalah sebagai berikut:

- ❖ Survei Lapangan
 - Dimensi saluran air buangan turbin PLTMH



Gambar 5. Pengukuran lebar dan kedalaman saluran air

- Pengukuran kedalaman air saluran (d).
Berdasarkan hasil pengukuran kedalaman air adalah 15 cm
- Pengukuran lebar saluran air.
Berdasarkan hasil pengukuran lebar saluran air adalah 65 cm Sehingga untuk menghitung luas dimensi saluran (cm²) dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

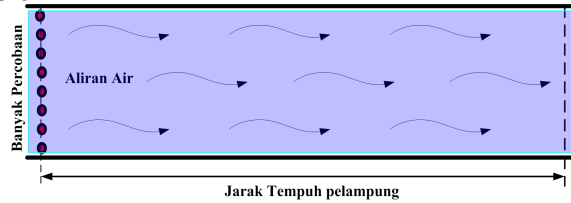
$$A = dx W$$

$$A = 15 X 65$$

$$A = 975 \text{ cm}^2 = 0,0975 \text{ m}^2$$

➤ Kecepatan aliran air buangan turbin PLTMH

Adapun data hasil pengujian kecepatan aliran air menggunakan metode pelampung sederhana dilakukan sebanyak 8 kali dengan panjang aliran pengujian 7 meter.



Gambar 6. Pengukuran kecepatan aliran air

Dari data hasil pengujian kecepatan aliran air menggunakan metode pelampung sederhana dapat dihitung rata-rata pembacaan waktu tempuh pelampung (t) adalah 3,0115 s.

$$v = \frac{l}{t} = \frac{7}{3,0115}$$

$$v = 2,32 \text{ m/s}$$

➤ Debit aliran air buangan turbin PLTMH

Pengukuran debit air dengan metode kecepatan dan penampang aliran, diukur mengenai kecepatan dan luas penampang aliran.

$$Q = A \cdot v$$

$$Q = 0,0975 \times 2,32$$

$$Q = 0,2262 \text{ m}^3/\text{s} = 226,6 \text{ kg/s}$$

➤ Tinggi jatuh (*head*) air buangan turbin PLTMH

Setelah melakukan pengukuran diperoleh tinggi jatuh air (*head*) adalah 1,2 m.

❖ **Pemilihan Roda Turbin *Undershot***

Berdasarkan hasil survei lapangan yang menunjukkan bahwa tipe roda turbin *undershot* sesuai dengan keadaan saluran (sumber daya air), dimana air buangan dari turbin PLTMH tersebut memiliki tipe aliran bawah. Jika dibandingkan dengan penggunaan kincir/roda turbin jenis yang lain, kurang memungkinkan karena perlu dilakukan modifikasi pada saluran air buangan PLTMH dan membutuhkan biaya yang cukup besar.

❖ **Perhitungan potensi daya yang dihasilkan dari air buangan turbin PLTMH**

➤ **Potensi daya air**

Daya air dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan:

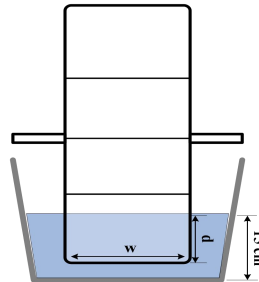
$$P_{air} = \rho \cdot Q \cdot g \cdot h$$

$$P_{air} = 1000 \times 0,2262 \times 9,81 \times 1,2$$

53 Massugianto, Akhmad Fadli Ibrahim, La Ode Musa, Suryanto, Rancang Bangun dan Analisa Kinerja Roda Turbin Undershot dengan Memanfaatkan Air Buangan Turbin PLTMH

$$P_{\text{air}} = 2262,83 \text{ Watt} = 2,27 \text{ kW}$$

- Daya air yang dimanfaatkan



Gambar 7. Daya air yang dimanfaatkan roda turbin

Sehingga daya air yang dimanfaatkan :

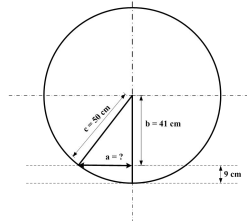
$$\begin{aligned} P_{\text{air}} &= \rho \cdot Q \cdot g \cdot h \\ &= 1000 \times 0,09744 \times 9,81 \times 1,2 \\ &= 1147,06 \text{ Watt} = 1,15 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dari hasil survei dan perhitungan data awal perencanaan diatas, maka diperoleh data sebagai dasar untuk melakukan perancangan.

B. Hasil Perancangan

1. Roda turbin

- Menentukan jumlah sudu roda turbin.



$$\begin{aligned} a &= \sqrt{c^2 - b^2} \\ &= \sqrt{50^2 - 41^2} \\ &= \sqrt{819} \\ &= 28,6 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sin \alpha &= \frac{28,6}{50} \\ &= 0,572 \\ \alpha &= 34,88^\circ \approx 36^\circ \end{aligned}$$

$$\text{jadi, } \frac{360^\circ}{36^\circ} = 10 \text{ sudu} \approx 12 \text{ sudu}$$

➤ Pemilihan model sudu roda turbin *undershot*

Berdasarkan hasil penelitian dengan menggunakan sudu roda turbin tipe lengkung memiliki efisiensi yang lebih besar jika dibandingkan dengan roda turbin tipe sudu datar (Sihombing, 2009).

2. Poros roda turbin

Perhitungan dilakukan untuk mendapatkan diameter poros dengan tegangan maksimum yang terjadi, sehingga dapat beroperasi dengan aman. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan persamaan.

$$d_s = \left[\frac{5,1}{\tau_a} \times K_t \times C_b \times T \right]^{1/3}$$

diperoleh diameter poros 32 mm, dengan bantalan

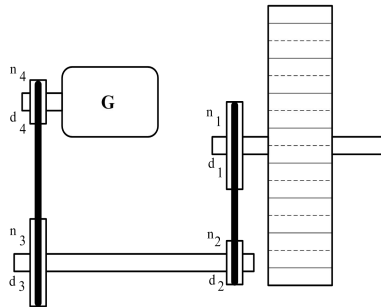
yang disesuaikan dari diameter poros maka dipilih bantalan P205 dan P207.

3. Puli (Pulley)

Jenis puli yang digunakan adalah puli dari bahan baja tuang/baja pres.

Menentukan diameter puli transmisi dengan menggunakan persamaan

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1}$$

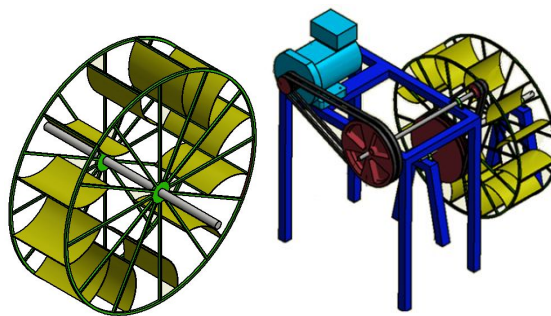


Gambar 8. Skema transmisi puli

Dari data perencanaan diambil ukuran puli sebagai berikut:

Puli 1 = Ø 400 mm Puli 3 = Ø 400 mm

Puli 2 = Ø 80 mm Puli 4 = Ø 100 mm



Gambar 9. Model roda turbin *undershot*

Hasil perancangan roda turbin *undershot* adalah sebagai berikut

- Diameter roda turbin *undershot* : 1000 mm
- Lebar roda turbin *undershot* : 300 mm
- Model sudu roda turbin *undershot* : Lengkung
- Jumlah sudu roda turbin *undershot* : 12 buah
- Panjang sudu roda turbin *undershot* : 300 mm
- Lebar sudu roda turbin *undershot* : 200 mm
- Berat total roda turbin *undershot* : 24 kg

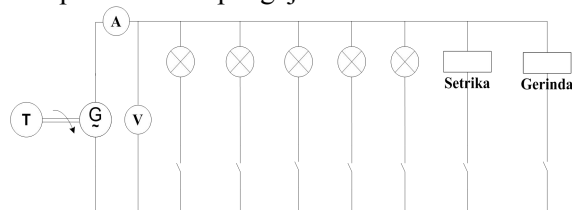


Gambar 10. Foto Pengujian Roda Turbin

4. Hasil Pengujian

Adapun hasil pengujian roda turbin *undershot* adalah sebagai berikut:

- a. Data daya listrik dan putaran hasil pengujian roda turbin *undershot*



Keterangan:

T : Roda Turbin

G : Generator

R : Lampu Pijar 5 buah dan strika (divariasikan)

Gambar 11. Rangkaian Pengujian

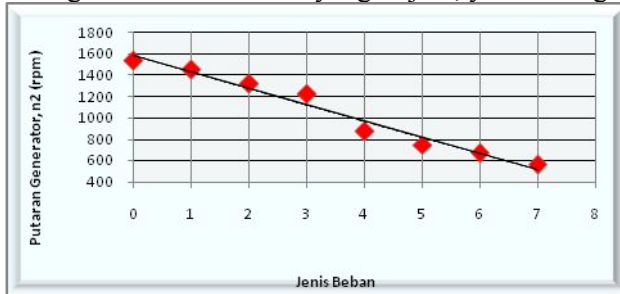
Tabel 1. Hasil Pengujian Pembebanan

No.	Jenis Beban	I (Amp)	V (Volt)	P (Watt)	n ₁ (rpm)	n ₂ (rpm)
1	0 Lampu (Tanpa beban)	0	230	0	67	1538
2	1 Lampu pijar 100 Watt	0,45	198	89,1	63	1451
3	2 Lampu pijar 100 Watt	0,6	186	111,6	61	1323
4	3 Lampu pijar 100 Watt	0,8	166	132,8	57	1228
5	4 Lampu pijar 100 Watt	0,7	101	70,7	52	875
6	5 Lampu pijar 100 Watt	0,7	51	35,7	48	750
7	5 lampu pijar 100 Watt + Setrika 300 Watt	0,7	40	28	43	674

5. Pembahasan

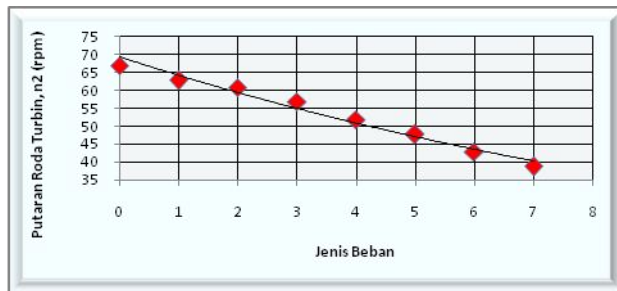
a. Analisa daya dan putaran generator untuk setiap pembebanan

Analisa perhitungan dan hasil pengujian diatas dapat ditampilkan kedalam bentuk grafik untuk mengetahui karakteristik yang terjadi, yakni sebagai berikut:



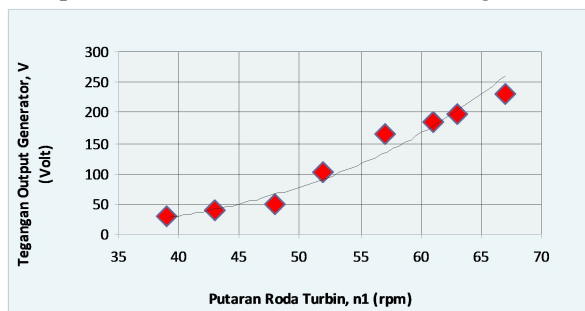
Gambar 12. Grafik Pengaruh Putaran Generator Terhadap Penambahan Pembebanan

Dari grafik diatas dapat dianalisa, dimana semakin besar beban yang diberikan, maka putaran di poros genarator semakin berkurang.



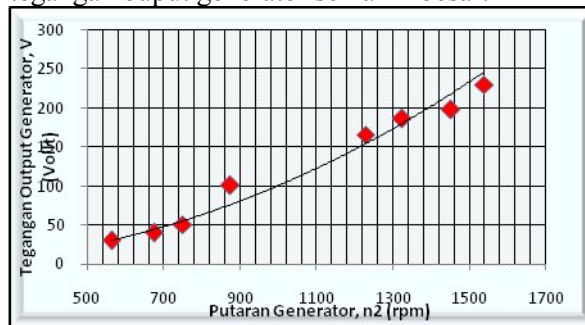
Gambar 13. Grafik Pengaruh putaran roda turbin terhadap penambahan pembebanan

Dari grafik diatas dapat dianalisa, dimana semakin besar beban yang diberikan, maka putaran di poros roda turbin semakin berkurang.



Gambar 14. Grafik Pengaruh putaran roda turbin terhadap tegangan output generator

Dari grafik diatas dapat dianalisa, dimana semakin cepat putaran roda turbin yang dihasilkan, maka tegangan ouput generator semakin besar.



Gambar 15. Grafik Pengaruh putaran generator terhadap tegangan output generator

Dari grafik diatas dapat dianalisa, dimana semakin cepat putaran generator yang dihasilkan, maka tegangan output generator semakin besar.

b. Analisa perhitungan momen puntir pada generator untuk setiap pembebanan lampu.

Untuk menghitung momen puntir (T) yang terjadi pada generator untuk setiap pembebanan beban lampu (100 Watt), setrika (300 Watt) dengan persamaan:

$$T = 9,74 \times 10^5 \frac{P}{n}$$

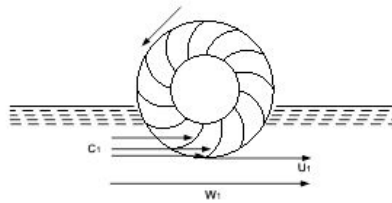
Tabel.2 Hasil Pengujian Pembebanan

N0	Jenis Beban	P (Watt)	n ₂ (rpm)	Momen Puntir (kg.mm)
1	0 Lampu (Tanpa beban)	0	1538	0
2	1 Lampu pijar 100 Watt	89,1	1451	59,809
3	2 Lampu pijar 100 Watt	111,6	1323	82,160
4	3 Lampu pijar 100 Watt	132,8	1228	105,331
5	4 Lampu pijar 100 Watt	170,7	875	196,699
6	5 Lampu pijar 100 Watt	245,5	750	310,362
7	5 lampu pijar 100 Watt + Setrika 300 Watt)	545,5	674	770,462

c. Analisa segitiga kecepatan sudu roda turbin undershot

1. Analisa kecepatan pada sisi masuk

Penggunaan segitiga kecepatan pada sisi masuk pada konstruksi roda turbin undershot dapat dilihat pada gambar berikut:

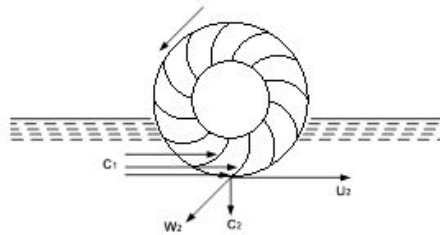


Gambar 16. Analisa kecepatan pada sisi masuk

Setelah dilakukan perhitungan diperoleh besar kecepatan relatif fluida terhadap sudu roda turbin pada sisi masuk adalah 1,186 m/s

2. Analisa Kecepatan Pada Sisi Keluar

Penggunaan segitiga kecepatan pada sisi keluar pada konstruksi roda turbin *undershot* dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 17. Analisa kecepatan pada sisi keluar

Setelah dilakukan perhitungan diperoleh besar sudut antara W_2 dengan U_2 (α) adalah $18,681^\circ$.

d. Analisa daya yang dihasilkan roda turbin

a. Kecepatan linear / tangensial (U)

Kecepatan linear / tangensial yang diperoleh adalah 3,506 m/s

b. Kecepatan sudut roda turbin (ω)

Kecepatan sudut roda turbin (ω) yang diperoleh adalah 7,012 m/s

c. Gaya pada roda turbin (F)

Besar gaya pada roda turbin yang diperoleh adalah 226,06 N

d. Torsi pada roda turbin (T)

Torsi yang diperoleh pada roda adalah 90,424 Nm

e. Daya pada roda turbin (P)

Besar daya yang dihasilkan turbin adalah 634,05 Watt (0,63405 kW)

Tabel 3. Hasil perhitungan efisiensi operasional/overall (η_o)

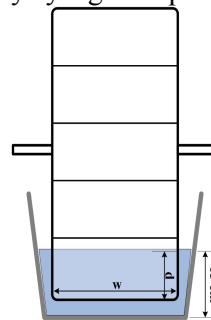
N0	Jenis Beban	Daya Air P_{air} (Watt)	Daya Listrik $P_{listrik}$ (Watt)	Eisiensi Overall η_o (%)
1	0 Lampu (Tanpa beban)	1147,06	0	0
2	1 Lampu pijar 100 Watt	1147,06	89,1	7,78
3	2 Lampu pijar 100 Watt	1147,06	111,6	9,73
4	3 Lampu pijar 100 Watt	1147,06	132,8	11,58

5	4 Lampu pijar 100 Watt	1147,06	70,7	6,16
6	5 Lampu pijar 100 Watt	1147,06	35,7	3,11
7	5 lampu pijar 100 Watt + Setrika 300 Watt)	1147,06	28	2,44

f. Optimalisasi kinerja roda turbin *undershot*

Untuk mengoptimalkan kinerja roda turbin *undershot* dapat dilakukan dengan:

- Memanfaatkan air buangan turbin PLTMH secara maksimal, dengan melakukan perencanaan roda turbin sesuai dengan dimensi saluran yang tersedia. Dengan analisa daya yang mampu dibangkitkan sebagai berikut:



Gambar 18. Optimalisasi daya air yang dimanfaatkan roda turbin

Sehingga, daya air yang dapat dimanfaatkan:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{air}} &= \rho \cdot Q \cdot g \cdot h \\
 &= 1000 \times 0,188384 \times 9,81 \times 1,2 \\
 &= 2217,65 \text{ Watt} = 2,217 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

- Penggunaan transmisi sabuk V sebanyak dua kali untuk menaikkan putaran sesuai dengan kebutuhan generator yakni 1500 rpm untuk mencapai tegangan 230 Volt, menyebabkan terjadinya rugi-rugi gesekan antara puli dan sabu yang besar. Sehingga dari rugi-rugi gesekan tersebut akan mengakibatkan menurunnya efisiensi sistem.
- Penggunaan generator yang sesuai dengan kemampuan daya pada roda turbin. Pada pengujian ini menggunakan generator sinkron 3 kW, sementara daya yang dihasilkan pada roda turbin hanya menghasilkan daya 634,05 Watt (0,62406 kW). Hal ini kurang sesuai, karena akan mempengaruhi efisiensi dari sistem, dalam hal ini semakin besar kapasitas generator maka torsi (momen puntir) yang dibutuhkan juga akan semakin besar, sehingga akan menghambat proses konversi energy mekanik menjadi energi listrik pada generator. Untuk itu penggunaan generator 1 kW akan lebih tepat.
- Pemilihan jenis beban yang lebih hemat energi (contoh: lampu fluorescen atau biasa disebut lampu TL). Pada pengujian ini menggunakan beban lampu pijar 100 Watt, dimana lampu jenis ini memiliki rugi-rugi listrik

yang cukup besar karena sebagian energy listrik yang terpakai menjadi energi panas.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pengujian dan pembahasan, dapat disimpulkan:

1. Berdasarkan hasil survei lapangan yang menunjukkan bahwa tipe roda turbin *undershot* sesuai dengan keadaan saluran (sumber daya air), dimana air buangan dari turbin PLTMH tersebut memiliki tipe aliran bawah. Jika dibandingkan dengan penggunaan kincir/roda turbin jenis yang lain, kurang memungkinkan karena perlu dilakukan modifikasi pada saluran air buangan PLTMH dan membutuhkan biaya yang cukup besar.
2. Berdasarkan teori dari efisiensi roda turbin *undershot* dapat mencapai 25 %, sedangkan efisiensi yang diperoleh dari hasil pengujian yang telah dilakukan adalah 11,58 %. Faktor yang menyebabkan kecilnya efisiensi yang diperoleh, yakni; penggunaan transmisi sabuk V ganda dengan dua kali pengujian sehingga menyebabkan rugi-rugi gesekan yang besar, penggunaan generator yang kurang sesuai dengan daya yang dihasilkan roda turbin *undershot* dan penggunaan jenis beban lampu pijar yang sebagian besar energy listrik yang terpakai menjadi energi panas.

B. Saran-Saran

Untuk mendapatkan hasil yang lebih maksimal dari roda turbin *undershot*, disarankan pada penelitian selanjutnya:

1. Perancangan model kelengkungan sudu yang lebih tepat, serta dilengkapi dengan dinding penutup samping kiri-kanan pada sudu roda turbin.
2. Penggunaan alat-alat ukur yang lebih akurat agar mendapatkan data hasil pengukuran/pengujian yang lebih valid.

V. DAFTAR PUSTAKA

- Dietsel F., Sriyono D. (penerjemah). 1990. *Turbin Pompa dan Kompresor*. Jakarta: Erlangga.
- McGuigan D. 1978. *Harnessing Water Power For Home Energy*. Charlotte, Vermont: Garden Way Publishing Co.
- Santoso, R., 2009. *Kincir Air*. <http://osv.org/education/WaterPower>.
- Sihombing, E. S. 2009. *Pengujian Sudu Lengkung prototype turbin air terapung pada aliran sungai*. Skripsi. Medan: Universitas Sumatera Utara.

- 61 Massugianto, Akhmad Fadli Ibrahim, La Ode Musa, Suryanto, *Rancang Bangun dan Analisa Kinerja Roda Turbin Undershot dengan Memanfaatkan Air Buangan Turbin PLTMH*
- Sularso dan Sugo, K., 2007. *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Sunarwo dan Sahid. *Kajian Eksperimental Optimasi Jumlah Sudu Kincir Tipe Undershot Sebagai Upaya Pemanfaatan Potensi Aliran Head Rendah*. Jurnal. Politeknik Negeri Semarang.
- Surbakti, R. O. 2009. *Perencanaan Serta Pembuatan Prototipe Turbin Air Terapung Bersudu Lengkung Dengan Memanfaatkan Kecepatan Aliran Sungai*. Skripsi. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Surdia, T., dan Saito, S. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik, cetakan ke-4*. Jakarta: P.T. Pradnya Paramita.