

PEMBUATAN TURBIN *VORTEX* DENGAN SUDU PIPA BELAH TIGA DENGAN SUDUT KEMIRINGAN SUDU 45°

Gatot Suwoto , Supriyo

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang

Email: gatot.suwoto@polines.ac.id

Abstrak

Tujuan dari program ini adalah mengembangkan, merekayasa, dan membandingkan turbin air vortex dengan sudu yang berbentuk pipa belah tiga dengan sudut sudu 0° dan sudut kemiringan sudu 45°. Metode yang digunakan yaitu tahapan perancangan turbin, proses pengerjaan, prosedur pengujian, langkah – langkah pengujian. Variabel penelitian adalah sudut kemiringan sudu dan parameter uji yang diukur adalah head aliran, debit aliran, putaran turbin, dan beda tekanan. Data yang didapat dari pengujian turbin dibuat grafik karakteristik kinerja turbin, kemudian dianalisa dan dibuat optimalisasinya. Tahap akhir dari penelitian ini adalah mendapatkan hasil kinerja turbin dan selanjutnya dibuat artikel ilmiah yang berguna bagi masyarakat umum. Hasil pengujian didapatkan pada bentuk sudu pipa belah tiga dengan sudut sudu 0° pada putaran turbin 65,7 rpm yang menghasilkan efisiensi tertinggi sebesar 9,094% , sedangkan pada sudut kemiringan sudu 45° pada putaran turbin 75,8 rpm yang menghasilkan efisiensi tertinggi sebesar 11,755%. Dari perbandingan bentuk sudu pipa belah tiga dengan sudut sudu 0° dan sudut kemiringan sudu 45° disimpulkan bahwa sudut kemiringan sudu 45° memiliki efisiensi yang lebih baik.

Kata Kunci : *Turbin Air Vortex, Sudu Pipa Belah Tiga, Efisiensi*

1. PENDAHULUAN

Energi pada saat sekarang ini semakin berkurang akibat penggunaan energi fosil secara berlebihan disemua bidang, ilmuwan diseluruh dunia menyadari hal ini dan mencoba berbagai energi alternatif. Salah satu sumber energi yang banyak dilakukan penelitian adalah arus air. Penggunaan berbagai macam turbin semakin maju. Indonesia adalah negara agraris dengan potensi sumber daya air terbesar ke 5 didunia. Potensi sumber daya air yang sangat melimpah dengan jumlah total sekitar 3.200 miliar m³/tahun (Kirmanto, Djoko.2012). Sehingga turbin air lebih diutamakan dari pada turbin angin karena angin di Indonesia relatif kurang stabil.

Pembangkit listrik tenaga air saat ini menjadi salah satu pilihan dalam memanfaatkan sumber energi terbaru, namun pemanfaatan yang ada masih menggunakan teknologi yang sederhana. Pembangkit listrik jenis ini dalam proses pembuatannya sangat

ekonomis, tetapi masih dalam skala kecil. Artinya pembangkit-pembangkit seperti ini hanya mampu mencukupi pemakaian energi listrik untuk sejumlah rumah saja. Jenis pembangkit listrik tenaga air ini sering disebut *microhydro* atau sering juga disebut *picohydro* tergantung keluaran daya listrik yang dihasilkan. Teknologi ini terdiri dari komponen utama yaitu turbin air dan generator listrik (Marsudi, Djiteng. 2005). Turbin air berperan untuk mengubah energi air (energi potensial, tekanan dan energi kinetik) menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros. Putaran poros turbin ini akan diubah oleh generator menjadi tenaga listrik. *Microhydro* ataupun *picohydro* yang dibuat biasanya memanfaatkan air terjun dengan *head* jatuh yang besar. Sedangkan untuk aliran sungai dengan *head* jatuh yang kecil belum termanfaatkan dengan optimal. Padahal di Indonesia terdapat potensi air sungai yang berasal dari 5.590 aliran sungai yang tersebar diberbagai pulau di Indonesia. Hal ini menjadi referensi untuk memanfaatkan

dengan mengubahnya menjadi aliran *vortex* (pusaran air).

Turbin Vortex adalah salah satu jenis turbin *microhydro* yang menggunakan pusaran air sebagai penggerak sudunya. Turbin Vortex bekerja pada *head* yang rendah 0,7m – 3m dengan debit 50 L/s (Mohanani, Anjali M. 2016). Turbin jenis ini sangat cocok digunakan untuk aliran sungai, karena kebanyakan sungai memiliki *head* yang rendah. Berdasarkan uraian diatas, telah dikembangkan turbin vortex dengan sudu pipa belah tiga dengan sudut sudu 0°. Dalam penelitian ini akan dilakukan pengembangan turbin air Vortex dengan bentuk sudu pipa belah tiga dengan sudut kemiringan sudu 45° dengan tujuan untuk meningkatkan efisiensi.

Perumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah apakah bentuk saluran air yang kami rekayasa menjadi *vortex* dan bentuk sudu yang dimodifikasi dengan bentuk sudu pipa belah tiga dengan sudut kemiringan sudu 45° dapat meningkatkan efisiensi, untuk menjawab pertanyaan tersebut, dalam penelitian ini akan dibuat 2 model turbin air tipe turbin vortex dengan sudu berbentuk pipa belah tiga dengan sudut kemiringan sudu 45° dan tipe turbin vortex dengan sudu berbentuk pipa belah tiga dengan sudut sudu 0°. Kedua model tersebut di uji kinerjanya dan dibandingkan berdasarkan karakteristik efisiensi yang dihasilkan.

2. METODE PENELITIAN

Dalam program penelitian ini metode yang digunakan adalah dengan melakukan penelusuran sumber-sumber pustaka yang terkait dengan penelitian kami, serta dengan cara melakukan pengujian terhadap turbin yang kami buat. Untuk mendapatkan pemahaman yang *komprehensif*, langkah-langkah penelitian diuraikan seperti berikut ini. Persiapan langkah ini dilakukan berdasarkan objek penelitian meliputi jurnal-jurnal dan artikel. Metode ini

dilakukan dengan cara menelusuri di internet dan mempelajari buku-buku tentang turbin angin yang telah ada dari perpustakaan. Desain model turbin, setelah melakukan studi pustaka didapatkan beberapa sumber pustaka tentang model turbin

Pada turbin vortex kali ini, komponen yang dirancang meliputi sudu turbin dan poros *universal* sudu turbin untuk mengatur sudut kemiringan sudu. Sudu turbin terbuat dari lembaran plat *stainless steel* dengan tebal 0,5 mm yang kemudian dibentuk pipa belah tiga yang sudut kemiringannya dibuat sudut 45° dan pipa belah tiga sudut 0° sebagai pembanding. Turbin Vortex yang kami buat memiliki empat buah sudu terbuat dari lembaran plat *stainless steel* dengan tebal 0.5mm dengan ukuran 60cm x 30 cm.

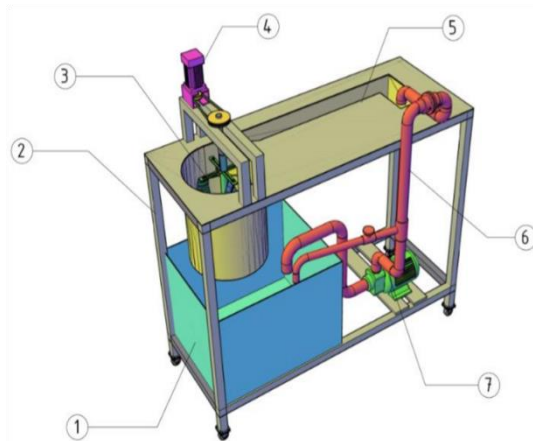
Teknik pengumpulan data didapatkan dengan menggunakan alat uji turbin vortex, untuk memutar turbin air vortex, tachometer untuk mengukur putaran turbin, manometer U untuk mengukur beda ketinggian, mengukur tegangan dengan menggunakan voltmeter dan arus dengan menggunakan amperemeter. Uji kinerja turbin, dilakukan dengan menggunakan sudut kemiringan sudu dengan variasi puntiran sudut 0° dan sudut 45°. Parameter yang diukur dalam pengujian ini yaitu putaran turbin, beda ketinggian pada manometer U, tegangan dan arus.

Setelah semua pengujian selesai maka didapat data hasil kinerja dari turbin dan selanjutnya dapat dibuat grafik karakteristik kinerja dari turbin tersebut. Melakukan pengolahan data dan ditunjukkan dalam bentuk tabel dan kurva karakteristik kinerja turbin vortex.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Alat uji turbin vortex yang kami gunakan dalam penelitian ini adalah seperti gambar di bawah ini

Berikut adalah keterangan:



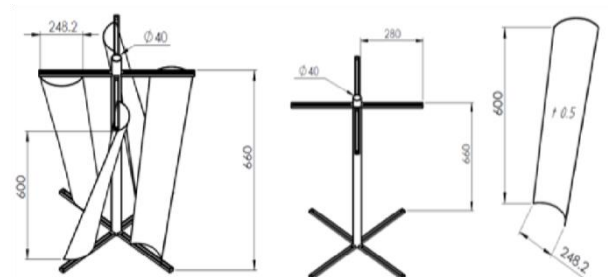
Gambar 1. Seperangkat Alat Uji Turbin Vortex dari seperangkat alat uji Turbin Vortex :

1. Bak penampung air
2. Rangka
3. Turbin
4. Generator
5. Saluran Air
6. Pipa
- 7.

Tabel 1. Data hasil perhitungan sudu pipa belah 3 dengan sudut sudu 0°

No	DATA HASIL PENGUJIAN					DATA PERHITUNGAN				
	Beban (Watt)	Tegangan (Volt)	Arus (A)	Putaran (rpm) Turbin	Putaran (rpm) Generator	Δx (cmHg)	Q (m ³ /s)	Ph (Watt)	Pg (Watt)	η (%)
1	0	15.5	0	75.6	151.2	6	0.00794	38.7925	0	0
2	5	12	0.19	74.2	148.4	6	0.00794	38.7925	2.28	5.87743
3	10	9.4	0.28	73.4	146.8	6	0.00794	38.7925	2.632	6.78482
4	15	7.4	0.43	70.8	141.6	6	0.00794	38.7925	3.182	8.20262
5	20	6.4	0.51	69.5	139	6	0.00794	38.7925	3.264	8.41401
6	25	5.6	0.63	65.7	131.4	6	0.00794	38.7925	3.528	9.09455
7	30	4.2	0.72	64.2	128.4	6	0.00794	38.7925	3.024	7.79533
8	35	3.1	0.75	64	128	6	0.00794	38.7925	2.325	5.99343
9	40	2.4	0.81	63.5	127	6	0.00794	38.7925	1.944	5.01128
10	45	2.2	0.83	63.4	126.8	6	0.00794	38.7925	1.826	4.7071
11	50	2	0.86	60.4	120.8	6	0.00794	38.7925	1.72	4.43385
12	55	1.7	0.89	60.3	120.6	6	0.00794	38.7925	1.513	3.90024
13	60	1.5	0.91	59.7	119.4	6	0.00794	38.7925	1.365	3.51872
14	65	1.3	0.92	59.2	118.4	6	0.00794	38.7925	1.196	3.08307
15	70	1.2	0.94	58.8	117.6	6	0.00794	38.7925	1.128	2.90778
16	75	1	0.93	58.6	117.2	6	0.00794	38.7925	0.93	2.39737
17	80	1.2	0.93	58.5	117	6	0.00794	38.7925	1.116	2.87685
18	85	1	0.93	58.2	116.4	6	0.00794	38.7925	0.93	2.39737
19	90	1	0.92	57.9	115.8	6	0.00794	38.7925	0.92	2.37159
20	95	0.9	0.92	57.7	115.4	6	0.00794	38.7925	0.828	2.13444
21	100	0.9	0.94	57.4	114.8	6	0.00794	38.7925	0.846	2.18084
22	110	0.8	0.96	57.1	114.2	6	0.00794	38.7925	0.768	1.97977
23	120	0.8	0.97	56.6	113.2	6	0.00794	38.7925	0.776	2.00039
24	130	0.8	0.96	56.8	113.6	6	0.00794	38.7925	0.768	1.97977
25	140	0.8	0.96	56.2	112.4	6	0.00794	38.7925	0.768	1.97977
26	150	0.8	0.98	56	112	6	0.00794	38.7925	0.784	2.02101
27	160	0.7	0.99	55.5	111	6	0.00794	38.7925	0.693	1.78643

Gambar 2. Komponen Turbin Vortex Sudut Sudu 0°



Gambar 3. Komponen Turbin Vortex Sudut Kemiringan Sudu 45°

Tabel 2 Data hasil perhitungan sudu pipa belah 3 dengan sudut kemiringan sudu 45°

DATA HASIL PENGUJIAN						DATA PERHITUNGAN				
No	Beban (Watt)	Tegangan (Volt)	Arus (A)	Putaran (rpm)		Δx (cmHg)	Q (m³/s)	Ph (Watt)	Pg (Watt)	η (%)
				Turbin	Generator					
1	0	16	0	81.2	162.4	6	0.00794	38.7925	0	0
2	5	13	0.32	78.6	157.2	6	0.00794	38.7925	4.16	10.72
3	10	9.5	0.48	75.8	151.6	6	0.00794	38.7925	4.56	11.75
4	15	7.8	0.49	73.2	146.4	6	0.00794	38.7925	3.822	9.852
5	20	6.8	0.5	70.8	141.6	6	0.00794	38.7925	3.4	8.764
6	25	5.6	0.59	69.4	138.8	6	0.00794	38.7925	3.304	8.517
7	30	4.4	0.65	68	136	6	0.00794	38.7925	2.86	7.372
8	35	4	0.69	65.8	131.6	6	0.00794	38.7925	2.76	7.114
9	40	3.2	0.73	64.9	129.8	6	0.00794	38.7925	2.336	6.021
10	45	2.8	0.77	63.3	126.6	6	0.00794	38.7925	2.156	5.557
11	50	2.2	0.78	63	126	6	0.00794	38.7925	1.716	4.423
12	55	2.2	0.79	62.7	125.4	6	0.00794	38.7925	1.738	4.480
13	60	2	0.8	62.2	124.4	6	0.00794	38.7925	1.6	4.124
14	65	1.8	0.82	61.8	123.6	6	0.00794	38.7925	1.476	3.804
15	70	1.6	0.83	61.3	122.6	6	0.00794	38.7925	1.328	3.423
16	75	1.8	0.86	60.6	121.2	6	0.00794	38.7925	1.548	3.990
17	80	1.8	0.84	60.4	120.8	6	0.00794	38.7925	1.512	3.897
18	85	1.8	0.85	61.8	123.6	6	0.00794	38.7925	1.53	3.944
19	90	1.8	0.82	60.9	121.8	6	0.00794	38.7925	1.476	3.804
20	95	1.8	0.84	60.5	121	6	0.00794	38.7925	1.512	3.897
21	100	1.8	0.83	61	122	6	0.00794	38.7925	1.494	3.851
22	110	1.3	0.88	60.4	120.8	6	0.00794	38.7925	1.144	2.949
23	120	1.2	0.88	61.5	123	6	0.00794	38.7925	1.056	2.722
24	130	1.2	0.9	59.8	119.6	6	0.00794	38.7925	1.08	2.784
25	140	1.2	0.91	59.7	119.4	6	0.00794	38.7925	1.092	2.814
26	150	1.1	0.88	60.1	120.2	6	0.00794	38.7925	0.968	2.495
27	160	1	0.89	59.4	118.8	6	0.00794	38.7925	0.89	2.294

Untuk contoh perhitungan 1 menggunakan data sudu pipa belah 3 dengan sudut sudu 0° pada data nomor 2 dan diperoleh data sebagai berikut :

V = 12 volt I = 0,19 ampere
 n_t = 74,2 rpm
 n_g = 148,4 rpm
 H = 0,50 m
 Δx = 0,06 m

1. Perhitungan debit Untuk menghitung debit digunakan *orifice* dengan spesifikasi sebagai berikut:

D_{pipa} = 84 mm = 0,084 m d_{orifice} = 60 mm = 0,060 m

$$A_1 = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$A_1 = \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (0,084)^2$$

$$A_1 = 0,00553896 \text{ m}^2$$

$$A_2 = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$A_2 = \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (0,060)^2$$

A₂ = 0,002826 m²
 Diketahui nilai Cd = 0,628

$$Q = Cd \cdot \frac{A_2 \cdot A_1}{\sqrt{A_1^2 - A_2^2}} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta x \left(\frac{S_{airraksa}}{S_{air}} - 1 \right)}$$

$$Q = Cd \cdot \frac{A_2 \cdot A_1}{\sqrt{A_1^2 - A_2^2}} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta x \left(\frac{S_{airraksa}}{S_{air}} - 1 \right)}$$

$$Q = \frac{3,14}{4} (0,060^2) \times \frac{3,14}{4} (0,084^2)$$

$$= 0,628 \cdot \sqrt{\left[\left(\frac{3,14}{4} (0,084^2) \right)^2 - \left(\frac{3,14}{4} (0,060^2) \right)^2 \right]}$$

$$\sqrt{2 \cdot 9,806 \cdot \Delta x \left(\frac{13,6}{1} - 1 \right)}$$

Q = 0,628. Q = 0,628
 × 0,003285 ×
 3,8495
 Q = 7,943375 × 10⁻³ m³/s

2. Perhitungan Daya Hidrolik (P_h) Dimana :
 ρ = 995,9 Kg/m³ g = 9,806 m/s²
 Q = 7,943375 × 10⁻³ m³/s
 H = 0,50 m

P_h = ρ · g · Q · H
 P_h = 995,9 · 9,806 · 7,943375 × 10⁻³ · 0,5
 P_h = 38,79246 Watt

3. Perhitungan Daya Generator (P_g) Dimana :
 V = 12 Volt
 I = 0,19 A

P_g = V · I
 P_g = 12 x 0,19
 P_g = 2,28 Watt

4. Perhitungan Efisiensi Sistem (η_s)
 η_s = $\frac{P_g}{P_h} \times 100 \%$
 η_s = $\frac{2,28}{38,79246} \times 100 \%$
 η_s = 5,87743%

Untuk contoh perhitungan 2 menggunakan data sudu pipa belah 3 dengan sudut kemiringan sudu 45° pada data nomor 2 dan diperoleh data sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V &= 13 \text{ volt} \\ I &= 0,32 \text{ ampere} \\ n_t &= 78,6 \text{ rpm} \\ n_g &= 157,2 \text{ rpm} \\ H &= 0,50 \text{ m} \\ \Delta x &= 0,06 \text{ m} \end{aligned}$$

1. Perhitungan debit Untuk menghitung debit digunakan *orifice* dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} D_{\text{pipa}} &= 84 \text{ mm} = 0,084 \text{ m} \\ d_{\text{orifice}} &= 60 \text{ mm} = 0,060 \text{ m} \end{aligned}$$

$$A_1 = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$A_1 = \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (0,084)^2$$

$$A_1 = 0,00553896 \text{ m}^2$$

$$A_2 = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$A_2 = \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (0,060)^2$$

$$A_2 = 0,002826 \text{ m}^2$$

Diketahui nilai $C_d = 0,628$

$$Q = C_d \cdot \frac{A_2 \cdot A_1}{\sqrt{A_1^2 - A_2^2}} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta x \left(\frac{S_{\text{airraksa}}}{S_{\text{air}}} - 1 \right)}$$

$$Q = C_d \cdot \frac{A_2 \cdot A_1}{\sqrt{A_1^2 - A_2^2}} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta x \left(\frac{S_{\text{airraksa}}}{S_{\text{air}}} - 1 \right)}$$

Q

$$= 0,628 \cdot \frac{\frac{3,14}{4} (0,060^2) \times \frac{3,14}{4} (0,084^2)}{\sqrt{\left[\left(\frac{3,14}{4} (0,084^2) \right)^2 - \left(\frac{3,14}{4} (0,060^2) \right)^2 \right]}} \cdot \sqrt{2 \cdot 9,806 \cdot \Delta x \left(\frac{13,6}{1} - 1 \right)}$$

$$Q = 0,628 \cdot 0,003285 \times 3,8495$$

$$Q = 7,943375 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

2. Perhitungan Daya Hidrolik (P_h)

$$\text{Dimana : } \rho = 995,9 \text{ Kg/m}^3$$

$$g = 9,806 \text{ m/s}^2$$

$$Q = 7,943375 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H = 0,50 \text{ m}$$

$$P_h = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

$$P_h = 995,9 \cdot 9,806 \cdot 7,943375 \times 10^{-3} \cdot 0,5$$

$$P_h = 38,79246 \text{ Watt}$$

3. Perhitungan Daya Generator (P_g) Di

mana :

$$V = 13 \text{ Volt}$$

$$I = 0,19 \text{ A}$$

$$P_g = V \cdot I$$

$$P_g = 13 \times 0,32$$

$$P_g = 4,16 \text{ Watt}$$

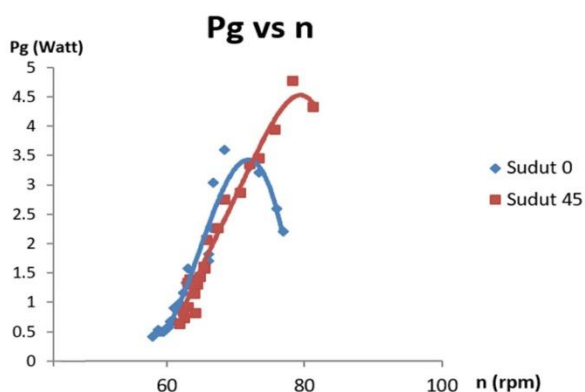
4. Perhitungan Efisiensi Sistem (η_s)

$$\eta_s = \frac{P_g}{P_h} \times 100 \%$$

$$\eta_s = \frac{4,16}{38,79246} \times 100 \%$$

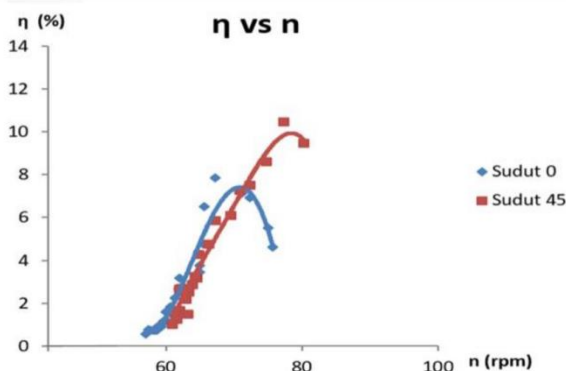
$$\eta_s = 10,72373 \%$$

Karakteristik Turbin Vortex dengan Sudu Pipa Belah Tiga dengan Sudut Sudu 0° dan Sudut Kemiringan Sudu 45°.



Gambar 4. Karakteristik daya generator terhadap putaran turbin menggunakan sudut sudu 0° dan sudut kemiringan sudu 45°.

Grafik diatas merupakan hasil pengujian Turbin Vortex dengan sudu pipa belah tiga dengan sudut sudu 0° dan sudut kemiringan sudu 45° pada debit yang sama dengan variabel putaran. Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa, hubungan antara putaran turbin dengan daya generator menghasilkan suatu kurva parabola, dimana semakin besar putaran turbin maka semakin besar pula daya generator yang dihasilkan sampai mencapai puncak tertentu dan kemudian turun. Titik puncak tersebut merupakan titik optimum generator dapat menghasilkan daya terbesar. Titik pucak sudut sudu 0° menghasilkan daya generator sebesar 3,528 watt pada putaran turbin 65,7 rpm. Titik puncak sudut kemiringan sudu 45° menghasilkan daya generator sebesar 4,56 watt pada putaran 75,8 rpm.



Gambar 5. Karakteristik efisiensi sistem terhadap putaran turbin menggunakan sudut sudu 0° dan sudut kemiringan sudu 45°

Grafik diatas merupakan hasil pengujian Turbin Vortex dengan sudu pipa belah tiga dengan sudut sudu 0° dan sudut kemiringan sudu 45° pada debit yang sama dengan variabel putaran. Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa hubungan antara putaran turbin dan efisiensi sistem menghasilkan suatu kurva parabola dimana semakin besar putaran turbin maka semakin besar pula efisiensi yang dihasilkan sampai mencapai puncak tertentu kemudian turun. Titik puncak tersebut merupakan titik optimum sistem dapat menghasilkan efisiensi terbesar. Titik pucak sudut sudu 0° menghasilkan efisiensi sistem sebesar 9,04.

4. KESIMPULAN

Dari keseluruhan proses “ Pembuatan Turbin Vortex dengan Sudu Pipa Belah Tiga dengan Sudut Kemiringan Sudu 45°”, dapat disimpulkan beberapa hal antara lain:

1. Spesifikasi turbin vortex berbentuk pipa belah tiga adalah sebagai berikut:
 - a. Diameter baskom pusran air 700 mm
 - b. Tinggi baskom pusran air 800 mm
 - c. Diameter lubang keluar air pada baskon pusran air 97 mm
 - d. Variasi sudu berbentuk pipa belah tiga dengan sudut 0° dan sudu berbentuk pipa belah tiga dengan sudut kemiringan sudu 45°
 - e. Tebal sudu 0,5 mm
 - f. Lebar sudu 248,2 mm
 - g. Tinggi sudu 550 mm pada sudut sudu 0°
 - h. Tinggi sudu 600 mm pada sudut kemiringan sudu 45°

- i. Bahan sudu terbuat dari *stainless steel*
2. Hasil uji kinerja turbin Vortex dengan bentuk sudu pipa belah tiga yang sudut kemiringan dibuat 45° dan bentuk sudu pipa belah tiga yang sudut sudunya 0° , yaitu:
 - a. Berdasarkan grafik Karakteristik Daya Genertor terhadap Putaran Turbin didapatkan bahwa pada sudut sudu 0° titik optimum generator menghasilkan daya terbesar 3,528 Watt pada putaran turbin 65,7 rpm. Sedangkan pada sudut kemiringan sudu 45° titik optimum generator menghasilkan daya terbesar 4,56 Watt pada putaran turbin 75,8 rpm.
 - b. Berdasarkan grafik Karakteristik Efisiensi Sistem terhadap Putaran Turbin didapatkan bahwa pada putaran yang sama yaitu putaran 75 rpm sudut sudu 0° menghasilkan efisiensi 4,8 % sedangkan pada sudut kemiringan sudu 45° menghasilkan efisiensi 9,6%.

Berdasarkan hasil uji kinerja antara turbin vortex sudu pipa belah tiga sudut 0° dengan sudut kemiringan sudu 45° , dapat disimpulkan bahwa sudu pipa belah tiga dengan sudut kemiringan sudu 45° memiliki efisiensi yang lebih baik daripada sudut 0° .

5. DAFTAR PUSTAKA

Belajar Diesel. 2012.

<https://belajardiesel.wordpress.com/2012/07/> (Maret 2018)

Departement of Chemical Engineering and Biotechnology. 2015.

<http://www.ceb.cam.ac.uk/pages/ofm.facilities-and-equipment.html> (Maret 2018)

Freeflowhydro.

<http://freeflowhydro.co.uk/13/24/CINK/CIN>

K.html (April 2018) Heskon energi. 2010.

<http://www.heskonenerji.com.tr/eng/teknik/ilgiler.html> (Mei 2018)

Kirmanto,djoko.2012. "*Media informasi sumber daya air*". Jakarta Selatan : Kementrian Pekerjaan Umum.

L. Streeter Victor, dkk. 1991.Mekanika

Fluida. Jakarta : Penerbit Erlangga M.M

Dandekar dan K.N Sharma. 1991.

"*Pembangkit listrik tenaga air*". Jakarta : UI-Press

Marsudi, djiteng. 2006. "*Pembangkitan energi listrik*". Jakarta : Erlangga

Mohanani, Anjali M. 2016. "*Power generation with simulateous aeration using a gravity vortex turbine*"

International journal of Scientific & engineering reseach.

Volume 7. Nomor 2. India

Sihombing, Ray Poskom J dan Syahril

Gultom. 2014. "*Analisa efisiensi turbin vortex dengan casing berpenampang*

lingkaran pada sudu berdiameter 56 cm untuk variasi jarak dengan saluran

keluaran". Sumatera Utara Tipe saluran masuk air (Inlet Area). 2012.

<https://yusufrandabunga.wordpress.com/>