

ANALISIS JUMLAH SUDU MANGKUK TERHADAP KINERJA TURBIN PELTON PADA ALAT PRAKTIKUM TURBIN AIR

Ahmad Yani¹, Budi Susanto², Rosmiati³

Jurusan Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknologi Industri Bontang¹

Jl. Brigjen Katamso No. 40 Bontang - Kaltim

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Trunajaya Bontang^{2,3}

Jl. Taekwondo No. 55 Bontang - Kaltim 75311

Email: yanibima@gmail.com¹; budisusanto8@gmail.com²; Hanafi.rosmiati@gmail.com³

Abstrak

Energi air dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik dengan memanfaatkan tenaga potensial yang tersedia (potensi air terjun dan kecepatan aliran). Turbin air merupakan salah satu mesin penggerak yang mana fluida kerjanya adalah air yang dipergunakan langsung untuk memutar *runner* turbin dan generator turbin sehingga menghasilkan energi listrik. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan instalasi turbin air jenis pelton dan dilakukan pengukuran terhadap putaran turbin dan generator, debit aliran, *head* turbin, tegangan listrik dan arus listrik dengan variasi jumlah sudu mangkuk. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen berskala laboratorium sekaligus hasil rancang bangun turbin air ini digunakan sebagai alat praktikum Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknologi Industri Bontang. Hasil penelitian menunjukkan adanya pengaruh jumlah sudu terhadap kinerja *prototype* turbin air: (1) Kecepatan tangensial maksimum terjadi pada jumlah sudu 14 dengan nilai 12.769 rad/s dan kecepatan tangensial terendah terjadi pada jumlah sudu 18 dengan nilai 12.141 rad/s. (2) Nilai daya hidrolis pada penelitian ini 2.64 Watt. (3) Nilai daya kinetik pada penelitian ini 3.886 Watt. (4) Daya turbin maksimum terjadi pada jumlah sudu 14 dengan nilai daya turbin 112.262 Watt, kemudian daya turbin terendah terjadi pada jumlah sudu 18 dengan nilai 99.141 Watt. (5) Daya generator listrik maksimum terjadi pada jumlah sudu 14 dengan nilai daya generator listrik sebesar 0.736 Watt. Sedangkan daya generator listrik terendah terjadi pada jumlah sudu 18 dengan nilai daya generator listrik sebesar 0.661 Watt. (6) Efisiensi turbin maksimum terjadi pada jumlah sudu 14 dengan nilai efisiensi turbin 28.888 %. Efisiensi turbin terendah terjadi pada jumlah sudu 18 dengan nilai efisiensi turbin 25.512 %. (7) Efisiensi generator listrik maksimum terjadi pada jumlah sudu 14 dengan nilai efisiensi generator listrik 0.736 %. Efisiensi generator listrik terendah terjadi pada jumlah sudu 18 dengan nilai efisiensi turbin 0.661 %.

Kata Kunci: Analisis, jumlah sudu, kinerja, turbin pelton.

PENDAHULUAN

Energi air dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik dengan memanfaatkan tenaga potensial yang tersedia (potensi air terjun dan kecepatan aliran) [1]. Turbin air adalah salah satu mesin penggerak yang mana fluida kerjanya adalah air yang dipergunakan langsung untuk memutar roda turbin. Pada roda turbin terdapat sudu dan fluida kerja mengalir melalui runag di antara sudu tersebut [2].

Turbin pelton merupakan turbin impuls, yaitu turbin yang digerakkan oleh energi kinetik air. Semprotan air yang berkecepatan tinggi mengenai sudu dan setelah menggerakkan *runner* air keluar pada kecepatan rendah, yang berarti sebagian energinya tidak diserap oleh *runner*. Tekanan air masuk dan keluar sudu adalah tekanan atmosfer [3].

Laboratorium merupakan tempat untuk melatih mahasiswa dalam hal keterampilan melakukan praktek,

demonstrasi, percobaan, penelitian dan pengembangan ilmu pengetahuan. Keberadaan laboratorium sebagai tempat praktikum sangat diperlukan untuk meningkatkan keterampilan mahasiswa. Pelaksanaan kegiatan praktikum dilakukan dalam pemberian pengalaman belajar kepada mahasiswa, supaya mahasiswa dapat berinteraksi dengan bahan - bahan pelajaran dan pengamatan gejala secara langsung yang terjadi pada alat uji turbin air tersebut. Kegiatan praktek di laboratorium dapat meningkatkan keterampilan mahasiswa apabila digunakan secara efisien, karena dengan praktek mahasiswa dapat memahami mata kuliah yang memerlukan penghayatan kongkrit dengan melakukan kegiatan nyata melalui praktek [4].

Penelitian turbin air yang telah dilakukan oleh penulis Tahun 2016 tentang kinerja turbin air kinetik poros vertikal. Penelitian sejenis yang dilakukan oleh penulis Tahun 2017 dengan variasi bentuk sudu terhadap torsi dan daya turbin air dan variasi diameter nosel turbin dengan metode pengereman putaran turbin. Penelitian lanjutan ini dengan memodifikasi *prototype* turbin air yang dirancang dan dibuat oleh penulis sebelumnya (tahun 2017) dengan metode yang berbeda dari penelitian tahun 2017 sehingga dapat menjelaskan bagaimana kinerja dari *prototype* turbin air pelton yang telah dimodifikasi apabila menggunakan variasi jumlah sudu turbin. Jumlah sudu turbin sangat menentukan putaran turbin sehingga dapat meningkatkan kinerja turbin. Untuk itu maka penelitian ini diarahkan untuk menentukan jumlah sudu yang tepat untuk menghasilkan kinerja turbin pelton yang maksimal [10].

TINJAUAN PUSTAKA

Turbin air adalah merupakan mesin penggerak yang merubah energi potensial menjadi energi mekanik dengan air sebagai fluida kerjanya. Menurut sejarahnya turbin hidrolis sekarang berasal dari dari kincir-kincir air pada jaman abad pertengahan yang dipakai untuk memecah batu bara, keperluan pabrik gandum, dan lain-lain [5].

Berdasarkan perubahan energi turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin *impuls* dan turbin reaksi.

1. Turbin *impuls*

Turbin *impuls* disebut juga dengan turbin air tekanan sama karena tekanan air yang keluar dari *nossel* tekanannya sama dengan tekanan atmosfer sekitarnya. Sehingga energi tempat dan energi tekanan yang dimiliki oleh aliran air dirubah semuanya menjadi energi kecepatan. Contoh dari turbin *impuls* ini adalah turbin pelton yang merupakan jenis turbin yang dibuat menjadi objek penelitian penulis [7].

Turbin air pelton adalah sebuah alat berbentuk lingkaran yang dibangun di sungai yang mempunyai debit air kecil tetapi mempunyai *head* yang tinggi. Alat ini berputar pada sumbunya karena adanya dorongan aliran air melalui pipa pesat yang cukup cepat. Sejalan dengan berputarnya turbin, alat ini sekaligus mengambil air dari sungai dan ditampung dalam sebuah bak penampung, selanjutnya dialirkan melalui sebuah pipa pesat dan dikeluarkan melewati sebuah *nossel* [7].

2. Turbin Reaksi

Turbin Reaksi adalah turbin yang memanfaatkan seluruh energi (energi potensial, kinetik, dan tekanan) untuk menghasilkan energi kinetik di sudu. Sudu pada turbin reaksi mempunyai profil khusus yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan air selama melalui sudu. Perbedaan tekanan ini memberikan gaya pada sudu sehingga *runner* (bagian turbin yang berputar) dapat berputar. Turbin yang bekerja berdasarkan prinsip ini dikelompokkan sebagai turbin reaksi. *Runner* turbin reaksi sepenuhnya tercelup dalam air dan berada dalam rumah turbin. Pada pengujian turbin air hasil yang diharapkan adalah mendapatkan kinerja turbin [6].

Proses perhitungan untuk mendapatkan kinerja turbin dengan menggunakan persamaan berikut [3][6][8][9]:

1. Luas Penampang ujung nosel (A)
Persamaan untuk menghitung luas ujung nosel yang menumbuk sudu turbin digunakan persamaan/rumus 1:

$$A = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \quad (1)$$

Dengan:

A = Luasan ujung nosel (m²).

D = diameter dalam nosel (m)

2. Kapasitas Aliran (Q)

Untuk menghitung kapasitas aliran, digunakan persamaan 2:

$$Q = A \cdot v \quad (2)$$

Dengan:

Q = Debit aliran air (m³/s).

A = Luasan ujung nosel (m²).

v = Kecepatan aliran (m/s).

3. Kecepatan Aliran (v)

Untuk menghitung kecepatan aliran, digunakan persamaan 3:

$$v = \frac{Q}{A} \quad (3)$$

Dengan:

v = Kecepatan aliran (m/s).

Q = Debit aliran air (m³/s).

A = Luasan ujung nosel (m²).

4. Laju Massa Air yang Mengalir (\dot{m})

Untuk menghitung massa aliran digunakan persamaan 4:

$$\dot{m} = \rho \cdot Q \quad (4)$$

Dengan:

\dot{m} = Laju aliran massa air (kg/s)

ρ = Massa jenis air (kg/m³).

Q = Debit aliran air (m³/s).

5. Kecepatan anguler/tangensial (ω)

Untuk mendapatkan nilai kecepatan anguler menggunakan persamaan 5:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \quad (5)$$

Dengan:

ω = Kecepatan anguler/tangensial (rad/s)

n = Putaran turbin (rpm)

6. Perhitungan Daya:

a. Daya Hidrolis; P_h (Watt) adalah daya yang masuk ke nosel, besarnya dapat diukur dengan persamaan 6 yaitu :

$$P_h = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (6)$$

Dengan:

P_h = Daya hidrolis (Watt)

ρ = Massa jenis air 996,74 (kg/m³)

g = Gaya grafitasi bumi, 9,81 (m/s²)

Q = Debit aliran air (m³/s)

H = head turbin (m)

- b. Daya Kinetik jet air ; P_k (Watt) dihitung dengan menggunakan persamaan 7:

$$P_k = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (7)$$

Dengan:

P_k = Daya kinetis air (Watt).

ρ = Massa jenis air 996,74 (kg/m³)

A = Luas penampang nosel turbin (m²)

v = Kecepatan aliran (m/s)

- c. Daya Turbin; P_t (Watt) dihitung dengan persamaan 8:

$$P_t = \rho \cdot A \cdot \omega \cdot (\omega - v) \cdot (1 + \cos \theta) \cdot v \quad (8)$$

Dengan:

P_t = Daya turbin air (Watt).

ρ = Massa jenis air 996,74 (kg/m³)

A = Luas penampang nosel turbin (m²)

ω = Kecepatan anguler/tangensial (rad/s)

v = Kecepatan aliran (m/s)

$\cos \theta$ = Sudut pancaran air (posisi nosel)

- d. Daya Listrik (Daya Generator); P_g (Watt) dihitung dengan persamaan 9 :

$$P_g = V \cdot I \cdot \cos \phi \quad (9)$$

Dengan:

P_g = Daya Generator (Watt)

V = Tegangan listrik (Volt)

I = Arus listrik (Ampere)

$\cos \phi$ = Faktor daya (derajat)

7. Perhitungan Efisiensi:

- a. Efisiensi SuduTurbin ; η_t

$$\eta_t = \frac{P_t}{P_k} \times 100\% \quad (10)$$

Dengan:

η_t = Efisiensi turbin air (%)

P_t = Daya turbin (Watt)

P_k = Daya kinetik air (Watt)

- b. Efisiensi generator Turbin; η_s menghitungnya menggunakan persamaan 11 :

$$\eta_g = \frac{P_g}{P_h} \times 100\% \quad (11)$$

Dengan:

- η_g = Efisiensi generator turbin (%)
 P_g = Daya generator turbin (Watt)
 P_h = Daya hidrolik air (Watt)

METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan menggunakan metode eksperimental dengan memodifikasi alat penelitian sebelumnya berskala laboratorium seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Penelitian ini bertempat di Bontang dan waktu penelitian dilakukan pada Bulan Mei 2018 dengan pengujian jumlah sudu turbin yang digunakan serta bentuk peralatan penelitian ditunjukkan pada Gambar 1 dengan ukuran alat penelitian yaitu panjang 110 cm, lebar 60 cm, dan tinggi 40 cm yang terbuat dari besi plat siku. Ukuran bak penampung air sebesar 60 cm x 60 cm yang terbuat dari lembaran plat besi dengan ketebalan 0,3 cm. Ukuran *runner* turbin berdiameter 33,4 cm. Sedangkan ukuran poros turbin berdiameter 2,54 cm dengan panjang porosnya 80 cm.

Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan pada penelitian ini ada tiga yaitu variabel bebas, variabel terikat dan variabel terkontrol.

a. Variabel Bebas

Variabel bebas pada penelitian ini terdiri dari:

1. Debit air : 0,0005 m³/s
2. Jumlah Sudu turbin 18, 16, dan 14 buah
3. Sudu turbin berbentuk mangkuk.

b. Variabel Terkontrol

1. Sudut sudu dikondisikan konstan pada posisi 90°.
2. Ukuran Nosel turbin ½ inchi

c. Variabel Terikat

Variabel terikat pada penelitian ini adalah kecepatan angular/tangensial, daya hidrolik air, daya kinetik air, daya turbin, daya generator listrik, efisiensi turbin dan efisiensi generator listrik.

Prosedur Penelitian

Adapun prosedur pengujian untuk pengambilan data penelitian yaitu sebagai berikut:

1. Membuat tabel untuk mencatat hasil pengujian,
2. Menyiapkan dan memasang semua instalasi penelitian beserta alat ukur yang digunakan,
3. Memasang nosel ukuran ½ Inch sesuai yang ditentukan,
4. Memasang jumlah sudu 18 buah terlebih dahulu untuk pengambilan data pertama,
5. Mengecek semua komponen turbin yang diteliti untuk memastikan kesiapan sebelum mulai menghidupkan pompa air dan pastikan semua kondisi alat ukur dalam keadaan baik,
6. Tekan saklar/tombol untuk menghidupkan pompa air,
7. Mengukur debit aliran air dengan menggunakan alat ukur *flowmeter* dan mencatat hasil pengukurannya,
8. Mengukur putaran poros turbin dan putaran poros generator dengan alat ukur *tachometer* kemudian mencatat nilai rpm pada alat ukur *tachometer*,
9. Mengukur tegangan *output* dan arus *output* pada generator turbin dan mencatat nilai tegangan dan arus pada alat ukur *multitester*,
10. Mengulang langkah pengambilan data mulai nomor empat dengan memasang jumlah sudu 16 dan 14 sampai langkah pengambilan data nomor sembilan,
11. Mengolah dan menganalisa data penelitian yang didapatkan untuk mengetahui nilai kinerja turbin air yang diteliti,
12. Menyimpulkan hasil penelitian yang dilakukan.

Instalasi Alat Penelitian

Pada penelitian ini alat pengujian yang digunakan adalah turbin air jenis pelton poros horizontal yang telah dibuat sebagai alat praktikum mahasiswa teknik mesin, bentuk instalasi penelitian seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Instalasi Penelitian.

Keterangan Gambar 1:

1. Pompa air
2. Generator listrik
3. Accu 12 Volt
4. V-belt
5. Pulley
6. Rangka instalasi turbin
7. Alat ukur flowmeter
8. Pipa PVC 1 inci
9. Bak penampung air

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Hasil Penelitian

Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan data putaran turbin, putaran generator, tegangan output listrik, arus output listrik, head turbin, debit aliran. Data penelitian seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data pengujian turbin pelton

Jumlah Sudu	Putaran Generator (rpm)	Putaran Turbin (rpm)	Tegangan Listrik (Volt)	Arus Listrik (Ampere)	Head Turbin (m)	Debit Aliran (m ³ /s)
18	417	116	3,42	0,58	0,54	0,0005
16	420	119	3,51	0,61	0,54	0,0005
14	439	122	3,56	0,62	0,54	0,0005

Hasil Pengolahan Data dan Pembahasan Hasil Penelitian

Teknik analisa data menggunakan teknik deskriptif berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, dari data

pengujian lapangan yang dilakukan seperti pada Tabel 1 tersebut kemudian dilakukan pengolahan data atau perhitungan menggunakan rumus terapan seperti yang tercantum pada persamaan 1 sampai persamaan ke 11 dengan tujuan untuk mendapatkan nilai daya hidrolis, daya kinetik, kecepatan tangensial, daya turbin, daya generator listrik, efisiensi turbin, dan efisiensi generator seperti ditunjukkan pada Tabel 2 dan 3.

Tabel 2. Hasil pengolahan data turbin

Jumlah Sudu	Kinerja Turbin		
	P _h (Watt)	P _k (Watt)	ω (rad/s)
18	2.640	3.886	12.141
16	2.640	3.886	12.455
14	2.640	3.886	12.769

Daya hidrolis perolehan dengan hitungan daya hidrolis turbin yang diteliti dihitung menggunakan persamaan 6, dimana massa jenis air (ρ) sebesar 996,74 kg/m³, gaya gravitasi (g) sebesar 9,81 m/s² dan head turbin didapat dari hasil pengukuran sebesar 0,54 m. berdasarkan hasil perhitungan yang ditunjukkan pada pada Tabel 2 didapatkan nilai daya hidrolis sebesar 2,640 Watt. Daya kinetik jet air turbin yang diteliti dihitung dengan menggunakan persamaan 7, dimana luas penampang nosel (A) = $1/4 \pi D^2$ dengan diameter nosel $1/2$ inch atau 0,0127 m sehingga mendapatkan hasil perhitungan daya kinetik sebesar 3,886 Watt seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

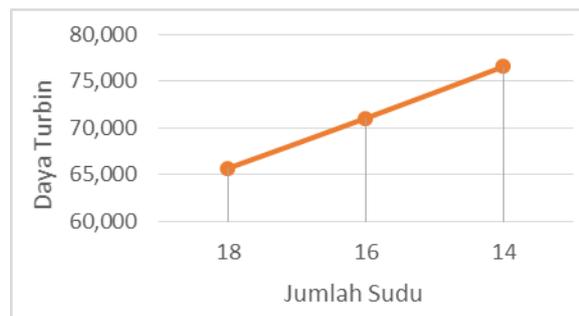
Kecepatan tangensial diperoleh dengan menghitung menggunakan persamaan 5, berdasarkan hasil perhitungan yang ditunjukkan pada pada Tabel 1, nilai kecepatan tangensial turbin pada jumlah sudu 18 sebesar 12.141 Watt, pada jumlah sudu 16 kecepatan tangensial sebesar 12.455 Watt, sedangkan pada jumlah sudu 14 kecepatan tangensial sebesar 12.769 Watt. Berdasarkan nilai kecepatan tangensial dari variasi jumlah sudu didapat kecepatan tangensial turbin terbesar terjadi pada jumlah sudu 14, hal ini terjadi karena pada jumlah sudu 14 posisi pancaran air dari nosel tepat mengenai pertengahan sudu

mangkuk sehingga menyebabkan putaran runner turbin meningkat dan mengakibatkan kecepatan tangensial meningkat.

Tabel 3. Hasil pengolahan data turbin

Jumlah Sudu	Kinerja Turbin			
	P_t (Watt)	P_g (Watt)	η_t (%)	η_g (%)
18	99.141	1.746	25.512	0.661
16	105.603	1.884	27.175	0.714
14	112.262	1.942	28.888	0.736

Dari data Tabel 3 tersebut kemudian dijadikan dalam bentuk grafik, pembuatan grafik bertujuan untuk melihat fenomena trending grafik kinerja turbin yang dilakukan dengan menggunakan bantuan *Microsoft Office Excel*. Hubungan antara daya turbin, daya generator, efisiensi turbin dan efisiensi generator terhadap jumlah sudu yang diteliti seperti ditunjukkan Gambar 2 sampai 5.

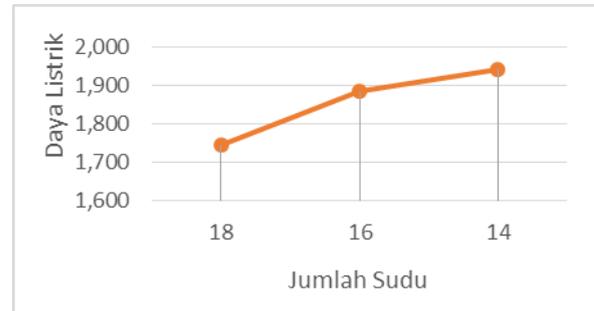


Gambar 2. Grafik hubungan jumlah sudu terhadap daya turbin

Daya turbin dipengaruhi oleh kecepatan air yang keluar dari nosel dan kecepatan air mempengaruhi gaya tangensial, apabila pancaran air dari nosel tepat mengenai pertengahan sudu mangkuk sehingga menyebabkan putaran runner turbin meningkat dan mengakibatkan kecepatan tangensial meningkat dan gaya tangensial mempengaruhi daya turbin air.

Berdasarkan hasil perhitungan yang ditunjukkan pada Tabel 3 dan berdasarkan grafik hubungan jumlah sudu terhadap daya turbin pada gambar 2, bahwa jumlah sudu mempengaruhi daya turbin nilai daya turbin pada jumlah sudu 18 sebesar 99.141 Watt, pada jumlah sudu 16 daya turbin sebesar 105.603 Watt. Sedangkan pada jumlah sudu 14 daya turbin sebesar 112.603 Watt.

Berdasarkan nilai daya turbin dari variasi jumlah sudu didapat daya turbin terbesar terjadi pada jumlah sudu 14.



Tabel 3. Grafik hubungan jumlah sudu terhadap daya listrik

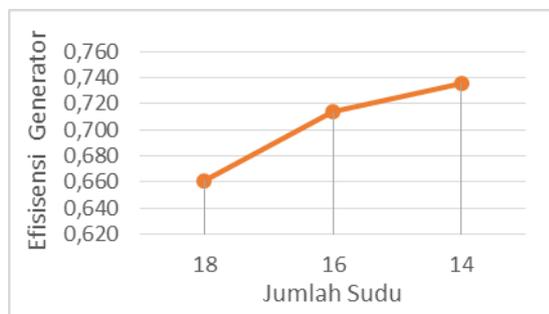
Daya listrik dipengaruhi oleh tegangan output dan arus output listrik yang dihasilkan oleh generator DC yang dipakai dan putaran generator dipengaruhi oleh putaran turbin, semakin tinggi putaran turbin maka putaran generator juga semakin tinggi hal ini terjadi karena *pully* pada poros turbin disambungkan dengan *pully* poros generator melalui *V-belt* sehingga dapat mentransfer putaran. Berdasarkan hasil perhitungan yang ditunjukkan pada pada Tabel 3, nilai daya generator pada jumlah sudu 18 sebesar 1.746 Watt, pada jumlah sudu 16 daya generator sebesar 1,884 Watt. Sedangkan pada jumlah sudu 14 daya generator sebesar 1.942 Watt. Berdasarkan nilai daya generator dari variasi jumlah sudu didapat daya generator turbin terbesar terjadi pada jumlah sudu 14.



Gambar 4. Grafik hubungan jumlah sudu terhadap efisiensi turbin

Efisiensi turbin dipengaruhi oleh daya turbin dan daya kinetik air, semakin tinggi daya turbin maka efisiensi turbin juga semakin tinggi. Dari hasil perhitungan yang ditunjukkan pada Tabel 3, nilai efisiensi turbin pada jumlah sudu 18 sebesar 25.51 %,

pada jumlah sudu 16 efisiensi turbin sebesar 27.17 % sedangkan pada jumlah sudu 14 efisiensi turbin sebesar 28.89 %. Berdasarkan nilai efisiensi dari variasi jumlah sudu didapat efisiensi turbin terbesar terjadi pada jumlah sudu 14.



Gambar 5. Grafik hubungan jumlah sudu terhadap efisiensi generator

Efisiensi generator dipengaruhi oleh daya generator dan daya hidrolis, semakin tinggi generator maka efisiensi generator juga semakin tinggi. Dari hasil perhitungan yang ditunjukkan pada Tabel 3, nilai efisiensi generator pada jumlah sudu 18 sebesar 0.66 %, pada jumlah sudu 16 efisiensi generator sebesar 0.71 % sedangkan pada jumlah sudu 14 efisiensi generator sebesar 0.74 %. Berdasarkan nilai efisiensi generator dari variasi jumlah sudu didapat efisiensi generator terbesar terjadi pada jumlah sudu 14.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan adanya pengaruh jumlah sudu terhadap kinerja *prototype* turbin air, sehingga dapat disimpulkan bahwa:

1. Kecepatan tangensial maksimum terjadi pada jumlah sudu 14 dengan nilai 12.769 rad/s dan kecepatan tangensial terendah terjadi pada jumlah sudu 18 dengan nilai 12.141 rad/s,
2. Nilai daya hidrolis pada penelitian ini 2.64 Watt,
3. Nilai daya kinetik pada penelitian ini 3.886 Watt,
4. Daya turbin maksimum terjadi pada jumlah sudu 14 dengan nilai daya turbin 112.262 Watt, kemudian daya turbin

terendah terjadi pada jumlah sudu 18 dengan nilai 99.141 Watt,

5. Daya generator listrik maksimum terjadi pada jumlah sudu 14 dengan nilai daya generator listrik sebesar 0.736 Watt. Sedangkan daya generator listrik terendah terjadi pada jumlah sudu 18 dengan nilai daya generator listrik sebesar 0.661 Watt,
6. Efisiensi turbin maksimum terjadi pada jumlah sudu 14 dengan nilai efisiensi turbin 28.888 %. Efisiensi turbin terendah terjadi pada jumlah sudu 18 dengan nilai efisiensi turbin 25.512 %,
7. Efisiensi generator listrik maksimum terjadi pada jumlah sudu 14 dengan nilai generator listrik 0.736 %. Efisiensi generator listrik terendah terjadi pada jumlah sudu 18 dengan nilai efisiensi turbin 0.661%.

REFERENSI

- [1]. Irawan, D. (2014). PROTOTYPE TURBIN PELTON SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF MIKROHIDRO DI LAMPUNG. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 3(1).
- [2]. Arismunandar, W. (2004). Penggerak mula turbin, edisi ketiga ITB, Bandung.
- [3]. Hamidi. Supandi. Dan Rohermanto, A, (2006). "Rancang Bangun Model Turbin Pelton Mini Sebagai Media Simulasi/Praktikum Matakuliah Konversi Energi dan Mekanika Fluida" *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik*, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Pontianak.
- [4]. Dharma, U. S., & Prasetyo, G. (2012). PENGARUH PERUBAHAN LAJU ALIRAN TERHADAP TEKANAN DAN JENIS

- ALIRAN YANG TERJADI PADA ALAT UJI PRAKTIKUM MEKANIKA FLUIDA. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 1(2).
- [5]. Susatyo, A. dan Hakim, L (2003) perancangan turbin pelton. Prosiding Seminar Nasional tanggal 29 – 30 Juni, pusat penelitian informatika – LIPI. Bandung
- [6]. Yani. A, Mihdar dan Erianto. R (2016) “Pengaruh variasi bentuk sudu terhadap Kinerja Air turbin kinetik” (Sebagai Pembangkit Listrik Daerah Pedesaan). *Jurnal Turbo* No. 1 Volume 5. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Metro - Lampung.
- [7]. Thobari. A, Mustaqim, dan Wibowo H, (2013) “Analisa Pengaruh Sudut Keluar Sudu Terhadap Putaran Turbin Pelton” *Jurnal ilmiah Faculty of Engineering, Universitas Pancasakti Tegal*.
- [8]. Yani, A. (2017). RANCANG BANGUN ALAT PRAKTIKUM TURBIN AIR DENGAN PENGUJIAN BENTUK SUDU TERHADAP TORSI DAN DAYA TURBIN YANG DIHASILKAN. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 6(1).
- [9]. Rosmiati, R., & Yani, A. (2017). PENGARUH VARIASI DIAMETER NOSEL TERHADAP TORSI DAN DAYA TURBIN AIR. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 6(1).
- [10]. Yani, A., Mustafa, D., & Taqwa, T. (2018). RANCANG BANGUN PROTOTYPE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP MINI SEBAGAI MEDIA PRAKTIKUM MAHASISWA. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 7(1).