

## PENGARUH VARIASI UKURAN DIAMETER *NOZZLE* TERHADAP DAYA DAN EFISIENSI KINCIR AIR SUDU DATAR

Hangga Putra Prabawa<sup>1\*</sup>, Dan Mugisidi<sup>2</sup>, Moh. Yusuf D<sup>3</sup>, Oktarina Heriyani<sup>4</sup>

<sup>\*1234</sup>Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. HAMKA, Jakarta Timur,  
Jl. Tanah Merdeka no 6 Ciracas Kampung Rambutan, 13740

<sup>\*</sup>E-mail : hangga.bean@gmail.com

### ABSTRAK

Penelitian ini adalah sebuah percobaan atau eksperimen yang dilakukan untuk mengetahui daya dan efisiensi sebuah kincir air sudu datar yang dirancang dengan printer 3D. Daya dan efisiensi kincir akan dibandingkan dengan daya dan efisiensi dari penggerakannya, yaitu air. Hal ini untuk mendapatkan alasan jika daya dan efisiensi kincir yang dihasilkan tidak maksimal. Kemudian, diuji dengan mengukur putaran dan arus listrik yang mampu dihasilkannya dari sebuah alternator yang dipasang sejajar dengan poros kincir tersebut. Hasilnya, efisiensi maksimal terletak pada nozzle 8mm karena memiliki persentase efisiensi tertinggi, yaitu 10,9%, dan memiliki persentase energi yang hilang relatif kecil, yaitu 56% dari total energi yang dihasilkan.

**Kata Kunci:** kincir air, sudu, datar, daya, efisiensi.

### ABSTRACT

*This research is an experiment that conducted to know power and efficiency of a flat goose beak waterwheel designed with a 3D printer. Waterwheel power and efficiency will be compared to the power and efficiency of the driving force, that is water. It is to have a reason if the power and efficiency of the waterwheel produced was not optimal. Then, tested by measuring the rotation and electrical current capable of resulting from an alternator that is mounted parallel to the axis of the wheel. As a result, the maximum efficiency lies in 8mm nozzle because it has the highest efficiency percentage, namely 10.9%, and the percentage of energy lost is relatively small, ie 56% of the total energy produced.*

**Keywords :** Waterwheel, goose beak, flat, power, efficiency.

### PENDAHULUAN

Energi mekanik aliran air yang merupakan transformasi dari energi potensial gravitasi yang dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin atau kincir. Umumnya, turbin digunakan untuk membangkitkan energi listrik, sedangkan kincir untuk pemanfaatan energi mekanik secara langsung, kemudian dari energi mekanik tersebut dikonversi menjadi energi listrik.

Pada sistem kerja kincir air, tidak semua energi yang dihasilkan oleh air dapat digunakan seluruhnya untuk menggerakkan sebuah kincir. Selain itu, *nozzle* dan tekanan air yang berperan menciptakan energi, dapat mempengaruhi kecepatan air dan energi air yang akan digunakan untuk menggerakkan kincir.

Hal inilah yang mendasari diperlukannya penelitian yang akan mengungkap seberapa besar kemampuan sebuah kincir menerima energi yang dihasilkan oleh air. Sehingga dapat diterangkan mengapa diameter ukuran *nozzle* pendorong dapat berpengaruh terhadap daya dan efisiensi yang dihasilkan pada kincir air sudu datar.

### Klasifikasi Kincir Air

Pemanfaatan energi air dalam skala kecil dapat berupa penerapan kincir air dan turbin. Dikenal ada tiga jenis kincir air berdasarkan sistem aliran airnya, yaitu *overshot*, *breast-shot*, dan *under-shot*.

Pada kincir *overshot*, air melalui atas kincir dan kincir berada di bawah aliran air. Air memutar kincir dan air jatuh ke permukaan lebih rendah. Kincir bergerak searah jarum jam. Pada kincir *breast-shot*, kincir diletakkan sejajar dengan aliran air sehingga air mengalir melalui tengah-tengah kincir. Air memutar kincir berlawanan dengan arah jarum jam. Pada kincir *under-shot*, posisi kincir air diletakkan agak ke atas dan sedikit menyentuh air. Aliran air yang menyentuh kincir menggerakkan kincir sehingga berlawanan arah dengan jarum jam.

### Klasifikasi Turbin

Dengan kemajuan ilmu mekanika fluida dan hidrolika serta memperhatikan sumber energi air yang cukup banyak tersedia, timbulah perencanaan-perencanaan turbin yang divariasikan terhadap tinggi jatuh (*head*) dan debit air yang tersedia. Karena itu, masalah turbin air menjadi masalah yang menarik dan menjadi objek penelitian untuk mencari sistem, bentuk, dan ukuran yang tepat dalam usaha mendapatkan efisiensi turbin yang maksimum.

Berikut adalah jenis klasifikasi turbin berdasarkan beberapa kriteria. Pertama, berdasarkan model aliran air masuk *runner*, maka turbin air dapat dibagi menjadi tiga tipe, yaitu turbin aliran tangensial, turbin aliran aksial, dan turbin aliran aksial-radial

Kedua, berdasarkan perubahan momentum fluida kerjanya. Dalam hal ini, turbin air dapat dibagi atas dua tipe, yaitu turbin impuls dan turbin reaksi. Pada turbin impuls, semua energi potensial air pada turbin ini dirubah menjadi energi kinetis sebelum air masuk menyentuh sudu-sudu roda gerak oleh alat pengubah yang disebut *nozzel*. Yang termasuk jenis turbin ini antara lain turbin Pelton dan turbin *cross-flow*. Sedangkan, pada turbin reaksi, seluruh energi potensial dari air dirubah menjadi energi kinetis pada saat air melewati lengkungan sudu-sudu pengarah, dengan demikian putaran roda gerak disebabkan oleh perubahan momentum oleh air. Yang termasuk jenis turbin reaksi, diantaranya turbin Francis, turbin Kaplan, dan turbin Propeller.

Pengoperasian turbin air disesuaikan dengan potensi head dan debit yang ada, yaitu tinggi jatuh yang rendah (di bawah 40 meter), tinggi jatuh yang sedang (antara 30 sampai 200 meter) dan tinggi jatuh yang tinggi (di atas 200 meter).

Dari data yang telah diperoleh pada bagian kapasitas air  $Q$  dan tinggi air jatuh  $H$ , dapat diperoleh daya air

$$P_a = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H \quad (1)$$

Di mana:

$P_a$  = Daya air (kW)

$Q$  = kapasitas air ( $m^3/s$ )

$\rho$  = kerapatan air ( $kg/m^3$ )

$g$  = gaya gravitasi ( $m/s^2$ )

$H$  = tinggi air jatuh (m).

Selanjutnya, daya yang dapat dibangkitkan oleh turbin dapat diperoleh dari perhitungan efisiensi turbin sebagai berikut.

$$\eta_T = \frac{P_T}{P_A} \eta_r \quad (2)$$

$$P_T = \eta_T \times P_A \quad (3)$$

Di mana :

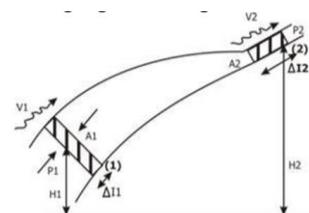
$P_T$  = Daya Turbin (kW)

$\eta_T$  = efisiensi turbin (%)

### Hukum Bernoulli

Hukum Bernoulli adalah suatu hukum yang dapat digunakan untuk menjelaskan gejala yang berhubungan dengan gerakan zat alir melalui suatu penampang pipa. Hukum tersebut diturunkan dari Hukum Newton dengan berpangkal tolak pada teorema kerja tenaga aliran zat cair dengan beberapa persyaratan, antara lain aliran yang terjadi merupakan aliran *steady* (tunak), tak bergejolak (laminier, garis alir *streamline*), tidak kental, dan tidak termampatkan. Persamaan dinyatakan dalam Hukum Bernoulli tersebut melibatkan kecepatan aliran yang memiliki satu garis arus, tinggi permukaan air yang mengalir, dan tekanannya. Bentuk hubungan yang dapat dijelaskan melalui besaran tersebut adalah besaran usaha tenaga pada zat cair.

Hukum Bernoulli tersebut dapat dikemukakan dengan gambar 1 berikut.



**Gambar 1** Gerak sebagian fluida dalam penurunan persamaan Bernoulli

Keterangan gambar:

1.  $h_1$  dan  $h_2$  masing-masing adalah tinggi titik tertentu zat cair dalam tabung/pipa bagian kiri dan bagian kanan.
2.  $v_1$  dan  $v_2$  adalah kecepatan aliran pada titik tertentu dari suatu zat cair kiri dan kanan.
3.  $A_1$  dan  $A_2$  adalah luas penampang pipa bagian dalam yang dialiri zat cair sebelah kiri dan sebelah kanan.
4.  $P_1$  dan  $P_2$  adalah tekanan pada zat cair tersebut dari berturut-turut dari bagian kiri dan bagian kanan.

Gambar 1 di bagian depan merupakan aliran zat cair melalui pipa yang berbeda luas penampangnya dengan tekanan yang berbeda dan terletak pada ketinggian yang berbeda hingga kecepatan pengalirannya juga berbeda. Dalam aliran tersebut diandaikan zat cair tidak termampatkan, alirannya mantap sehingga garis alir merupakan garis yang *streamline*. Demikian juga banyaknya volume yang dapat mengalir tiap satuan waktu dari pipa sebelah kiri dan kanan adalah sama.

Dari gambar 1, dapat dikemukakan bahwa zat cair pada semua titik akan mendapatkan tekanan. Hal ini berarti pada kedua permukaan yang ditinjau (lihat gambar 1 yang diarsir) akan bekerja gaya yang arahnya ke dalam. Jika bagian ini bergerak dari posisi pertama menuju bagian kedua, gaya yang bekerja pada permukaan pertama akan melakukan usaha terhadap unsur yang ditinjau sebelumnya sedangkan bagian tersebut akan melakukan usaha terhadap gaya yang bekerja pada permukaan sebelah kanan. Selisih antara kedua besaran usaha tersebut sama dengan perubahan energi gerak ditambah energi potensial dari bagian tersebut. Selisih kedua besaran energi tersebut disebut sebagai energi netto.

Penjelasan tersebut dapat disederhanakan menjadi

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho_2 v_{21} + \rho g h_1 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_{22} + \rho g h_2$$

atau ditulis secara umum menjadi

$$p + \frac{1}{2}\rho v_2 + \rho g h = \text{konstan} \quad (4)$$

Persamaan (4) di atas merupakan persamaan Bernoulli yang menyatakan

hubungan antara kecepatan aliran dengan tinggi permukaan air dan tekanannya.

### Motor DC

Motor arus searah menggunakan arus langsung yang tidak langsung/*direct-unidirectional*. Motor DC digunakan pada penggunaan khusus di mana diperlukan penyediaan *torque* yang tinggi atau percepatan yang tetap untuk kisaran kecepatan yang luas.

Motor DC memiliki tiga komponen utama, yaitu:

1. kutub medan,
2. dinamo, dan
3. *commutator*.

Pompa merupakan salah satu jenis mesin yang berfungsi untuk memindahkan zat cair dari suatu tempat ke tempat yang diinginkan. Zat cair tersebut contohnya adalah air, oli, minyak pelumas, atau fluida lainnya yang tak mampu mampat. Industri - industri banyak menggunakan pompa sebagai salah satu peralatan bantu yang penting untuk proses produksi. Sebagai contoh, pada pembangkit listrik tenaga uap, pompa digunakan untuk menyuplai air umpan ke boiler atau membantu sirkulasi air yang akan diuapkan di boiler.

Berikut ini adalah tipe pompa air dan performanya:

1. Pompa apung (*floating pump*),
2. Pompa permukaan,
3. Pompa celup, dan
4. Pompa semi celup.

### Alternator

Pengubahan energi air menjadi energi listrik pada alat-alat yang kecil dapat dilakukan memakai alternator mobil. Karena, daya usaha yang dibangkitkan itu harus dapat diredam. Maka dari itu, alternator mempunyai konstruksi yang sederhana. Selain itu, terdapat beberapa kebaikan bila dibandingkan dengan dinamo.

Alternator mempunyai rotor lebih ringan dan tahan terhadap putaran tinggi. *Silicon diode(rectifier)* mempunyai sifat pengarahan arus, serta dapat mencegah kembalinya arus dari baterai ke alternator. Bagian-bagian alternator mobil:

1. Rangka Stator,
2. Stator,
3. Rotor,
4. Slep ring atau cincin geser, dan
5. Dioda.

**Energi Kinetik**

Energi kinetik rotasi sebuah benda pejal dapat diturunkan dari energi kinetik translasi sebagai berikut.

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (5)$$

Di mana

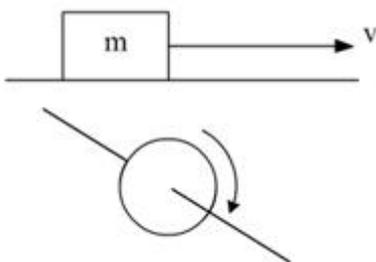
- $m$  = massa benda dalam kg
- $v$  = kecepatan linier benda dalam  $m/s^2$
- $E_k$  = energi kinetik benda dalam joule.

Mengingat

$$v = \omega R$$

maka

$$E_k = \frac{1}{2}m(\omega R)^2 = (mR^2)\omega^2 \quad (6)$$



Gambar 2 Perbedaan gerak lurus dan melingkar

Dalam gambar 2 dijelaskan karena  $mR^2$  adalah momen inersia maka rumus energi kinetik rotasi dapat dirumuskan sebagai

$$Ek_{rot} = \frac{1}{2}I\omega^2 \quad (7)$$

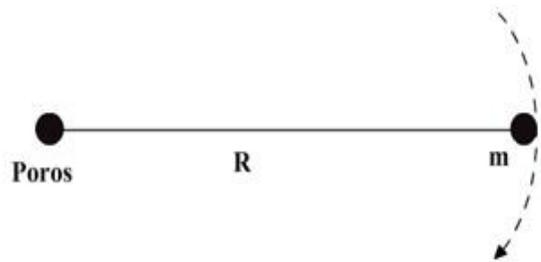
Dengan

- $Ek_{rot}$  = energi kinetik rotasi dalam joule
- $I$  = momen inersia benda dalam  $kg.m^2$
- $\omega$  = kecepatan sudut dalam rad/s

**Momen Inersia Titik Partikel**

Dinotasikan dengan  $I$ , satuannya  $kg.m^2$ . Momen inersia suatu partikel adalah hasil kali massa partikel dengan kuadrat jarak terhadap sumbu putarnya seperti pada gambar 3 dan dirumuskan dengan:

$$I = mR^2 \quad (8)$$



Gambar 3 Momen inersia

Di mana:

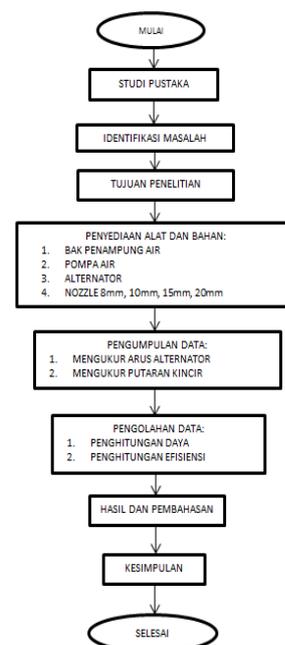
- $I$  = momen inersia, satuannya  $kg.m^2$
- $M$  = massa partikel, satuannya  $kg$
- $r$  = jarak partikel terhadap sumbu putar, satuannya  $m$

**METODE**

Penelitian ini menggunakan alat dan bahan sebagai berikut.

1. Sebuah kincir air sudu datar
2. Bak penampung air terbuat dari multiplex,
3. Sebuah pompa air sumur dangkal,
4. Alternator DC (24Volt),
5. Tachometer digital,
6. Ampere meter,
7. Preassure gauge, dan
8. Clamp meter.

Alur kegiatan penelitian ini yang dijelaskan dengan *flowchart* pada gambar 4 ini.



Gambar 4 Flowchart

**TEMUAN DAN PEMBAHASAN**

**Temuan Penelitian**

Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah berupa pengukuran putaran kincir, tegangan alternator, tekanan air dan debit aktual. Data tersebut tersaji dalam tabel 1 berikut ini.

**Tabel 1** Hasil pengukuran

Diameter nozzle (mm)	Putaran (rpm)	Tegangan alternator (V)	Tekanan air(kg/m <sup>2</sup> )	Debit aktual (m <sup>3</sup> /detik)
8	118	0,8	0,7	0,033
10	102	0,5	0,5	0,045
15	51	0,05	0,25	0,05
20	35	0,025	0,12	0,05

**Pembahasan**

Pengaruh Diameter *Nozzle* Terhadap Debit, Tekanan Air dan Kecepatan air

Untuk mengetahui pengaruh dari diameter nozzle terhadap kecepatan air digunakan hukum Bernoulli:

$$P + \frac{1}{2} \rho v^2 = konstan \quad (4)$$

Untuk penelitian ini ketinggian air dianggap nol, dan tekanan diluar pipa dianggap nol. Sehingga rumusnya menjadi:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad (9)$$

Sedangkan dari rumus (9) di atas untuk mencari kecepatan akhir air rumusnya dirubah menjadi seperti berikut.

$$v_2 = \sqrt{\frac{2(P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2)}{\rho}} \quad (10)$$

Hasilnya terdapat pada tabel 2 berikut.

**Tabel 2** Tabel kecepatan akhir air

Diameter nozzle (mm)	Kecepatan akhir air (m/s)
8	11,7
10	10
15	7

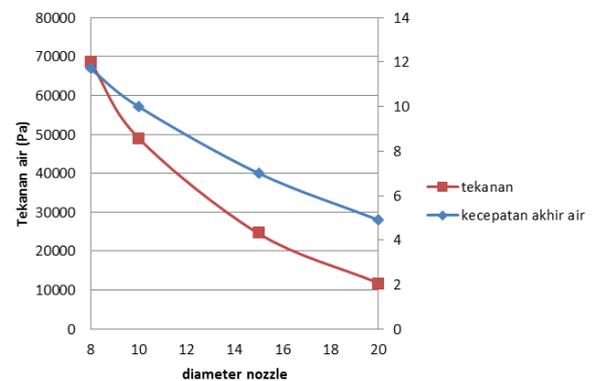
20	4,9
----	-----

Berikut adalah data hasil pengukuran tekanan:

**Tabel 3** Data hasil konversi tekanan terukur dalam pipa

Diameter nozzle	Tekanan air (Pa)
8	68646,5
10	49033,2
15	24516,6
20	11767

Perbandingan antara tekanan air dan kecepatan air terdapat pada gambar 5 berikut ini.



**Gambar 5** Grafik perbandingan tekanan dan kecepatan air

Dalam grafik 5 membuktikan alasan kecepatan air semakin menurun dari *nozzle* 8mm hingga 20mm. Karena tekanan yang rendah akan menurunkan dorongan air yang mendesak keluar dari *nozzle*. Hal tersebut terjadi karena pada posisi awal tekanan air berbanding terbalik dengan kecepatan akhir air.

**Efisiensi Energi**

Efisiensi energi atau besar energi yang hilang berasal dari perbandingan selisih energi air dan energi putaran kincir. Air memiliki energi yang disebut energi kinetik translasi, karena gerakannya linier atau lurus. Sedangkan energi yang dimiliki kincir adalah energi kinetik rotasi karena gerakannya yang bersifat putaran. Keduanya di hitung untuk mencari selisih energi yang hilang atau terbuang dalam bentuk persentase.

**Energi Kinetik Translasi Pada Air**

Energi kinetik translasi adalah hasil setengah dari massa air diambil dari debit dalam satuan liter yang dikonversi kedalam kilogram dan kemudian dikali dengan kuadrat kecepatan akhir air.

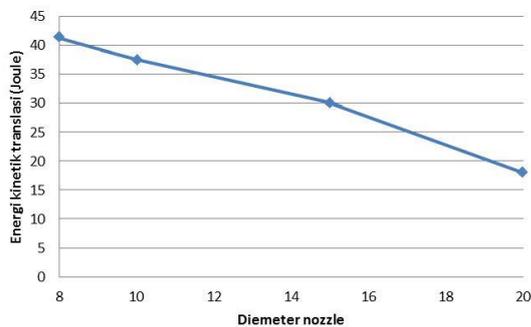
$$Ek_{trans} = \frac{1}{2}mv_2^2 \quad (5)$$

Hasil perhitungan dengan rumus (5) diatas tersaji dalam tabel 4 berikut.

Tabel 4 Tabel hasil energi kinetik

Diameter nozzle	Ek.trans (Joule)
8	41,3
10	37,5
15	30,13
20	18

Kemudian data tersebut dimasukkan kedalam grafik dan menghasilkan data pada gambar 6.



Gambar 6 Grafik Energi Kinetik Translasi

Dalam grafik tersebut energi kinetik translasi terlihat menurun. Itu disebabkan oleh kecepatan air yang menurun. Sehingga tenaga/energi yang dihasilkan air akan menurun juga.

**Energi Kinetik Rotasi Pada Kincir**

Energi kinetik ini dihasilkan dari besarnya tenaga yang didapat oleh kincir dari keseluruhan energi yang diberikan oleh air. Rumusnya adalah

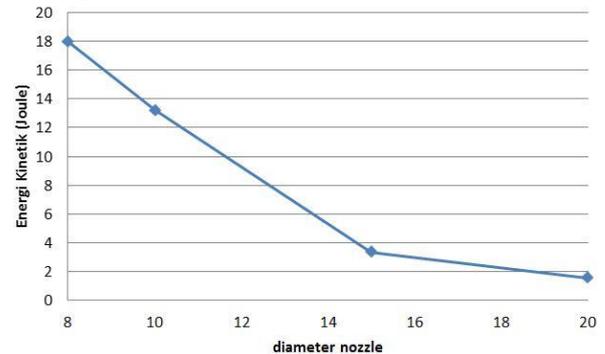
$$Ek_{rot} = \frac{1}{2}I\omega \quad (7)$$

Berikut adalah hasil hitungan energi kinetik translasi untuk masing-masing putaran kincir.

Tabel 6 Tabel hasil hitungan energi kinetik rotasi berdasarkan putaran kincir

Diameter nozzle	Putaran (rpm)	EK.rot (joule)
8	118	18
10	102	13,2
15	51	3,37
20	35	1,58

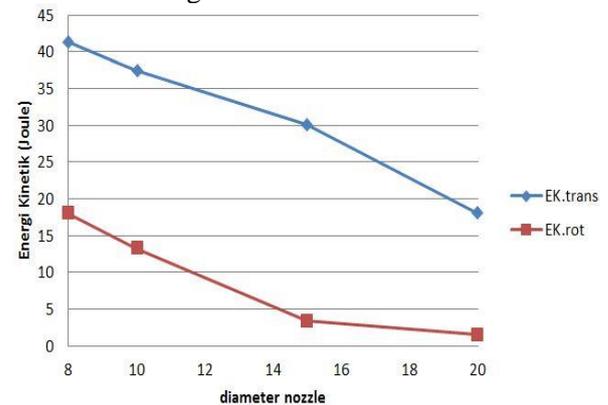
Kemudian hasilnya dapat dilihat dalam grafik pada gambar 7 berikut ini.



Gambar 7 Grafik Energi kinetik rotasi

Energi kinetik rotasi yang dihasilkan kincir juga menurun. Ini disebabkan energi dari dorongan air, yaitu energi kinetik translasi pun sebelumnya menurun. Sehingga, hal ini berakibat pada energi kinetik rotasi yang dihasilkan kincir cenderung menurun.

Berikut adalah perbandingan energi kinetik rotasi dan energi kinetik translasi.



Gambar 8 Grafik perbandingan energi kinetik rotasi dan energi kinetik translasi

Untuk mengetahui jumlah persentase energi yang hilang dari kedua energi tersebut, digunakan rumus sebagai berikut.

$$\frac{\text{energi kinetik translasi} - \text{energi kinetik rotasi}}{\text{energi kinetik translasi}} \times 100\%$$

Hasilnya terdapat dalam tabel berikut ini.

Tabel 7 Data energi yang hilang berdasarkan diameter nozzle

Diameter nozzle	Energi yang hilang (%)
8	56
10	64,8
15	88
20	91

### Efisiensi Total

Efisiensi total adalah hasil kinerja perbandingan besarnya daya alternator dan pompa, seperti rumus berikut ini.

$$\eta = \frac{\text{daya alternator}}{\text{daya pompa}} \times 100\% \quad (11)$$

Tabel 8 Hasil pengukuran daya dan efisiensi

Ukuran nozzle (mm)	Daya alternator (watt)	Daya pompa (watt)	Efisiensi (%)
8	190	1760	10,9
10	120	1760	6,81
15	12	1760	0,68
20	6	1760	0,34

Daya pompa dihasilkan dari besarnya arus listrik yang digunakan untuk mengalirkan air melalui *nozzle*. Sedangkan, daya alternator didapat dari mengukur langsung pada alternator.

Efisiensi semakin menurun seiring dengan semakin besar ukuran *nozzle*. Hal itu disebabkan persentase energi yang hilang pun semakin bertambah pada ukuran diameter *nozzle* yang besar.

## 5SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut. Daya yang dihasilkan oleh kincir adalah untuk nozzle 8 mm = 190 Watt, 10 mm = 120 Watt, 15 mm = 12 Watt, dan 20 mm = 6 Watt. Semakin besar ukuran nozzle maka daya yang dihasilkan oleh kincir semakin kecil. Daya menurun disebabkan energi kinetik yang dihasilkan air semakin menurun. Hal itu disebabkan energi yang diterima kincir pun tidak semuanya dapat digunakan dengan maksimal.

Efisiensi yang dihasilkan adalah, untuk nozzle 8 mm = 10,9%, 10 mm = 6,81%, 15 mm = 0,68%, dan 20 mm = 0,34%. Nilai persentase efisiensi terlihat menurun karena jumlah energi yang terpakai untuk memutar kincir pun semakin kecil.

Persentase jumlah energi yang hilang adalah, untuk nozzle 8 mm = 56%, 10 mm = 64,8%, 15 mm = 88%, dan 20 mm = 91%. Semakin besar persentase energi yang hilang maka akan menurunkan daya yang dihasilkan, sebaliknya jika persentase energi yang hilang itu kecil maka energi yang dipakai pun semakin besar.

### Saran

Dalam penelitian ini bentuk sudu dibuat sangat sederhana dan datar. Untuk penelitian selanjutnya bisa menggunakan atau mengganti bentuk sudu dengan yang lebih mampu menerima gaya dan energi air yang lebih baik lagi dan menggunakan bahan yang lebih berat agar memiliki momentum putar lebih baik lagi.

### DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Muhammad As'ad dkk. *Pengaruh Besar Sudut Klenkungan Sudu Terhadap Unjuk Kerja Kincir Air Tipe Sudu Lengkung Overshot*, Malang, Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Amri, Syaiful. 2012. *Analisa Kinerja Kincir Air Tipe Sudu Datar Pada Sistem Aliran Overshot Dengan Variasi Lebar Sudu*; Malang, Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
- Darwin1797. 2009. *Pembangkit Listrik Tenaga Air Mikro Hidro*. Darwin1797.wordpress.com (diakses pada tanggal 6 Juni 2016)
- Dietzel, Friezt. 1996. *Turbin, Pompa dan Kompresor*, Jakarta, Penerbit Erlangga.
- Hendarto, Ario P, *Pemanfaatan Pemandian Umum Untuk Pembangkit Tenaga Listrik Mikrohidro (PLMTh) Menggunakan Kincir Tipe Overshot*, Solo, Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Frank White, 1988, *Mekanika Fluida*, Jakarta, Penerbit Erlangga.

- Ridwan, Mekanika Fluida Dasar, Jakarta, Penerbit Gunadarma.
- Sakta, kandiyas, Perencanaan irigasi dan bangunan air, Surabaya, FT-UWKS.
- Sihombing, Edis Sudioanto, 2009, *Pengujian Sudu Lengkung Prototipe Turbin Air Terapung Pada Aliran Sungai*, Medan, Teknik Mesin Universitas Sumatra Utara.
- Sudrajat, A. S. 1983. Mekanika-Fluida dan Hidrolika. Penerbit Nova. Bandung
- Soemarto, CD. 1987, Hidrologi Teknik, Usaha Nasional, Surabaya
- Sujana. 1882. Desain dan Analisa Eksperiment, Bandung Tarsito
- Zahri dkk; 2010. Pengaruh Tinggi Sudu Kincir Air Terhadap Daya Dan Efisiensi Yang Dihasilkan: Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM); Teknik Mesin Universitas Brawijaya