



**Pengaruh Variasi Jumlah Sudu *Runner* Terhadap Kinerja
Turbin *Cross Flow***

PROPOSAL PENELITIAN

oleh

A.Rizal Dwiki Rivaldhy

NIM. 191910101108

PROGRAM STUDI STRATA 1

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2020

DAFTAR ISI

	Halaman
COVER	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Turbin Air	4
2.1.1 Pengetian Turbin Air	4
2.1.2 Prinsip Kerja Turbin Air	6
2.2 Turbin <i>Cross Flow</i>	6
2.2.1 Pengertian Dasar Turbin <i>Cross Flow</i>	6
2.2.2 Jenis – Jenis Turbin <i>Cross Flow</i>	8
2.3 Daya Air (P_{air})	10
2.4 Daya Yang Dihasilkan Turbin (P_t)	14
2.5 Efisiensi Turbin (η_t)	15
2.6 Daya Generator (P_g)	15
2.7 Hipotesis	16
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Metode Penelitian	17
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	17
3.2.1 Tempat Penelitian	17

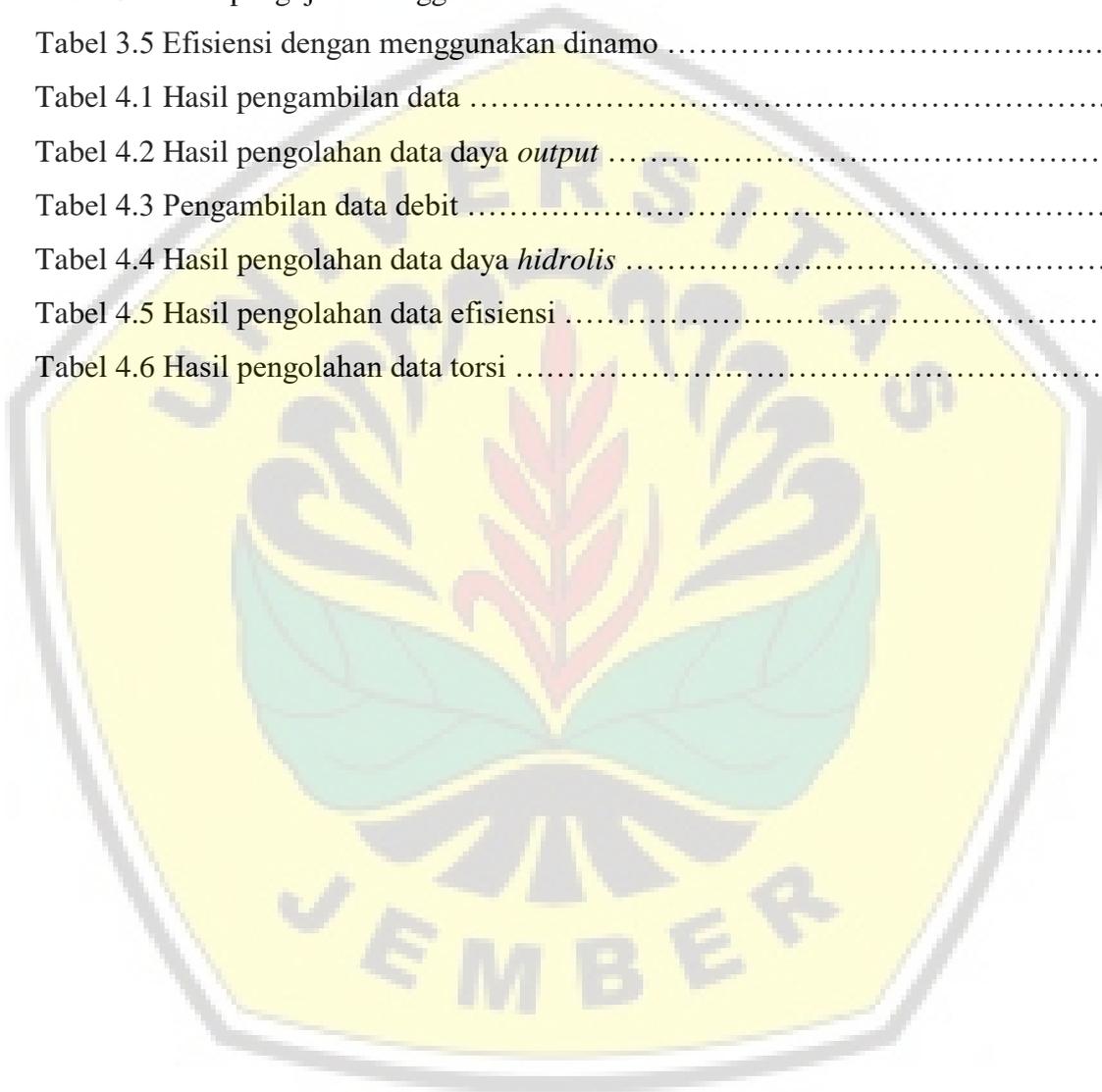
3.2.2 Waktu Penelitian	17
3.3 Alat dan Bahan	17
3.3.1 Alat	17
3.3.2 Bahan	20
3.4 Skema Alat	21
3.4.1 Skema Sudu	21
3.4.2 Skema Alat Pengujian	21
3.5 Prosedur Penelitian	22
3.6 Pelaksanaan Penelitian	23
3.6.1 Variabel Penelitian	23
3.6.2 Pengambilan Data	23
3.6.3 Pengolahan Data	24
3.6.4 Perencanaan Analisa Data	25
3.7 Jadwal Kegiatan Penelitian	25
3.8 Diagram Alir Penelitian	26
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	27
4.1 Hasil Pemodelan Turbin <i>Cross Flow</i>	27
4.2 Hasil Pengujian Turbin <i>Cross Flow</i>	27
4.3 Hasil Pengambilan Data Turbin <i>Cross Flow</i>	28
4.4 Hasil Pengolahan Data	28
4.4.1 Pengolahan Data Daya Turbin (<i>Daya Output</i>)	28
4.4.2 Pengolahan Data Daya <i>Hidrolis</i>	28
4.4.3 Pengolahan Data Efisiensi	29
4.4.4 Pengolahan Data Torsi	30
4.5 Pembahasan Hasil Pengolahan Data	30
4.5.1 Pembahasan Pengaruh Jumlah Sudu terhadap Daya, Torsi, dan Efisiensi	30
4.6 Validasi Data	32
BAB 5. PENUTUP	33
5.1 Kesimpulan	33
5.2 Saran	33

DAFTAR PUSTAKA	34
Lampiran A. Data Hasil Pengujian Turbin <i>Cross Flow</i>	36
Lampiran B. Perhitungan	39
Lampiran C. Dokumentasi Penelitian	41



DAFTAR TABEL

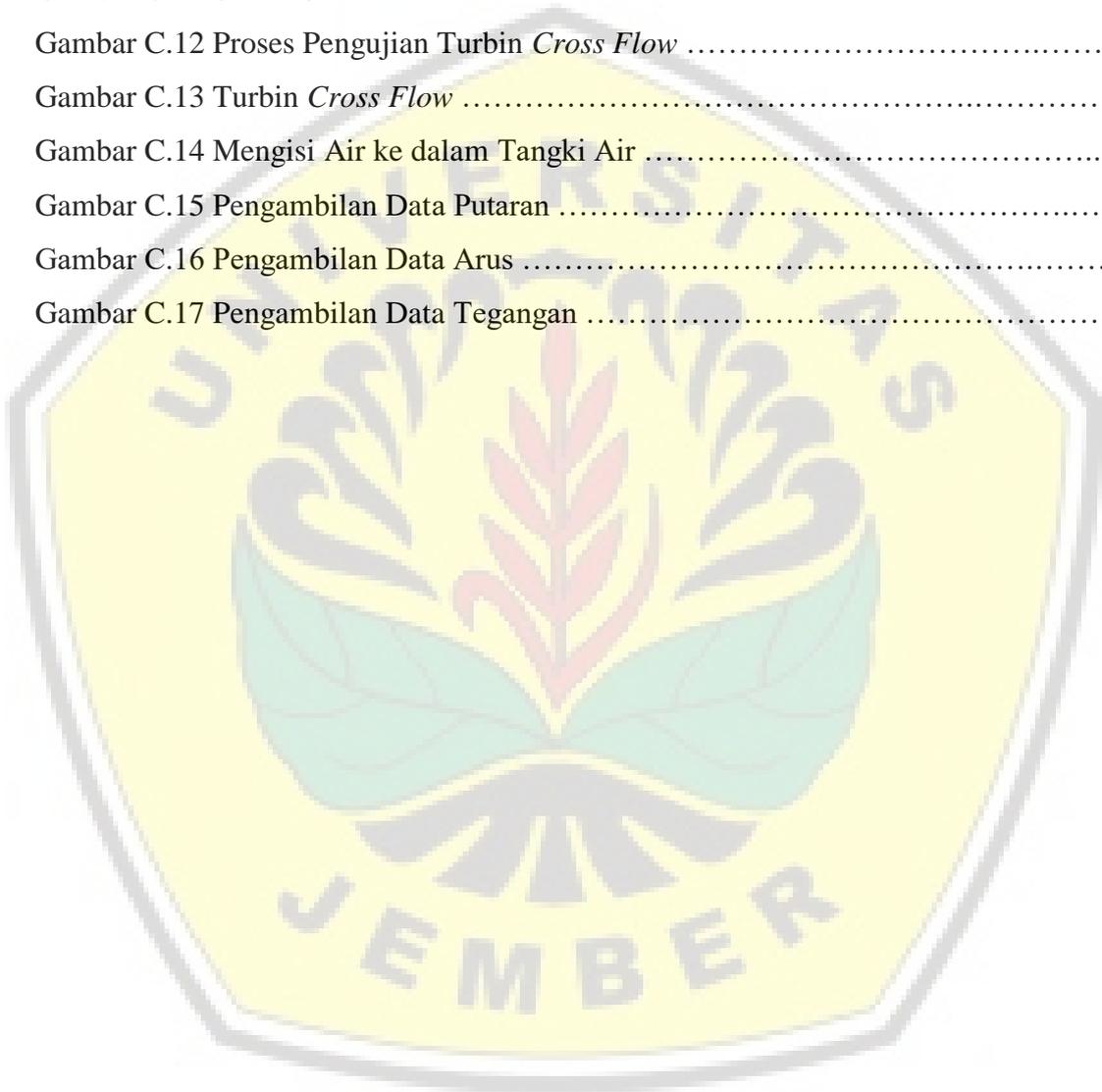
	Halaman
Tabel 3.1 Spesifikasi instalasi pengujian	22
Tabel 3.2 Data daya <i>input</i>	24
Tabel 3.3 Data untuk mencari torsi	24
Tabel 3.4 Data pengujian menggunakan dinamo	24
Tabel 3.5 Efisiensi dengan menggunakan dinamo	24
Tabel 4.1 Hasil pengambilan data	27
Tabel 4.2 Hasil pengolahan data daya <i>output</i>	27
Tabel 4.3 Pengambilan data debit	27
Tabel 4.4 Hasil pengolahan data daya <i>hidrolis</i>	28
Tabel 4.5 Hasil pengolahan data efisiensi	28
Tabel 4.6 Hasil pengolahan data torsi	29



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Komponen – Komponen Turbin	5
Gambar 2.2 Perbandingan Karakteristik Turbin	5
Gambar 2.3 Konstruksi dari Turbin <i>Cross Flow</i>	7
Gambar 2.4 Aliran Masuk Turbin <i>Cross Flow</i>	7
Gambar 2.5 <i>Runner</i> Turbin <i>Cross Flow</i>	8
Gambar 2.6 Turbin <i>Cross Flow</i> Kecepatan Rendah	8
Gambar 2.7 Turbin <i>Cross Flow</i> Kecepatan Tinggi	9
Gambar 2.8 Turbin <i>Cross Flow</i> Vertikal	9
Gambar 2.9 Turbin <i>Cross Flow</i> Horizontal	10
Gambar 2.10 Turbin <i>Cross Flow</i> Posisi Miring	10
Gambar 3.1 Turbin <i>Cross Flow</i>	17
Gambar 3.2 Sudu <i>Runner</i> Turbin <i>Cross Flow</i>	18
Gambar 3.3 Tachometer	18
Gambar 3.4 <i>Amperemeter</i>	19
Gambar 3.5 Pompa	19
Gambar 3.6 Dinamo	20
Gambar 3.7 Besi	20
Gambar 3.8 Skema Sudu	21
Gambar 3.9 Skema Instalasi Pengujian	21
Gambar 3.10 Diagram Alir Penelitian	26
Gambar 4.1 Realisasi Turbin <i>Cross Flow</i>	27
Gambar 4.2 Pengaruh Jumlah Sudu terhadap Daya Turbin	30
Gambar 4.3 Pengaruh Jumlah Sudu terhadap Torsi	31
Gambar 4.4 Pengaruh Jumlah Sudu terhadap Efisiensi Turbin	31
Gambar 4.5 Perbandingan Efisiensi Turbin	32
Gambar C.1 Pemasangan Sudu	41
Gambar C.2 Meletakkan Sudu di dalam Rumah Turbin	41
Gambar C.3 Pemasangan Pipa antara Rumah Turbin dan Tangki Air	41
Gambar C.4 Pemasangan Rumah Turbin	42

Gambar C.5 Pemasangan Rumah Turbin	42
Gambar C.6 Pemasangan Selang pada Pompa	42
Gambar C.7 Pemasangan Nozzle	43
Gambar C.8 Pemasangan Generator	43
Gambar C.9 Sudu 16	43
Gambar C.10 Sudu 18	44
Gambar C.11 Sudu 20	44
Gambar C.12 Proses Pengujian Turbin <i>Cross Flow</i>	44
Gambar C.13 Turbin <i>Cross Flow</i>	45
Gambar C.14 Mengisi Air ke dalam Tangki Air	45
Gambar C.15 Pengambilan Data Putaran	45
Gambar C.16 Pengambilan Data Arus	46
Gambar C.17 Pengambilan Data Tegangan	46



BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sumber migas yang ada di bumi ini jumlahnya sangat terbatas dan suatu saat persediaan migas ini akan habis. Dan sekarang ini energi yang sering dikonsumsi dan dibutuhkan oleh masyarakat adalah energi listrik. Energi listrik ini merupakan salah satu sumber energi yang sangat vital bagi kehidupan manusia. Contohnya dalam penggunaan kebutuhan sehari-hari di dalam rumah tangga, di dalam industri, maupun pelayanan publik. Maka dari itu, agar kebutuhan energi listrik ini tetap terpenuhi kepada masyarakat diperlukan terobosan-terobosan baru agar bisa menghasilkan energi listrik yang tentunya juga ramah lingkungan. Salah satunya adalah pemanfaatan turbin air untuk bisa menghasilkan energi listrik itu sendiri, yaitu dengan menggunakan Turbin *Cross Flow*. Havinato (2009) pernah menyatakan bahwa “Turbin *Cross flow* merupakan jenis turbin air yang dikembangkan oleh Anthony Michell (Australia), Donat Banki (Hongaria) dan Fritz Ossberger (Jerman)”. Turbin *Cross flow* ini biasanya dapat dioperasikan pada debit 20 liter/detik hingga 10 m³/detik dan *head* antara 1 s/d 200 m. Beberapa penelitian tentang turbin air antara lain, Salim (2009) juga pernah melakukan “Uji kelayakan turbin *cross flow* menggunakan pipa 3 inci dan jumlah sudu 10 buah”. Dalam penelitian tersebut menghasilkan data bahwa efisiensi dan daya terbesar terdapat pada sudut 30 pada debit 10 gpm dibandingkan debit 6 gpm dan 8 gpm sebesar 3,96 %. Hasil ini memang lebih kecil dibandingkan penelitian yang dilakukan yang mana menghasilkan efisiensi mesin turbin sebesar 14,56 %. Dari penelitian yang telah dilakukan, maka Winardi dkk. (2004) menyimpulkan bahwa “semakin banyak jumlah sudu, putaran turbin semakin meningkat”. Dan juga Setyarini dkk. (2012) menyimpulkan bahwa “pada posisi sudut pancar miring, hasil torsi, daya dan efisiensi turbin air aliran silang lebih tinggi dibandingkan pada posisi sudut pancar horizontal atau vertical”.

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) merupakan salah satu pembangkit listrik yang memanfaatkan energi air sebagai penggerak turbin. Energi kinetik air dirubah atau ditransmisikan menjadi energi mekanik di dalam turbin, karena air memutar sudu turbin. Energi mekanik yang dihasilkan kemudian diubah menjadi energi listrik melalui generator. Indonesia memiliki potensi sumber daya energi yang ramah lingkungan dan terbarukan cukup besar. Salah satu jenis energi terbarukan tersebut adalah tenaga air skala kecil atau sering disebut mikrohidro atau pikohidro. Teknologi mikrohidro ini telah lama dikembangkan oleh masyarakat sebagai sumber energi di Indonesia. Persyaratan pokok pada sebuah PLTMH adalah cukup tersedianya kapasitas aliran air (Debit) dan tinggi jatuh air (*Head*). Turbin air

lebih aplikatif untuk pembangkit listrik karena sumber energi air relatif lebih konstan dibandingkan energi angin. Pembangkit listrik tenaga air saat ini telah banyak dikembangkan di pedesaan pada aliran sungai kecil, namun masih menggunakan teknologi yang sederhana. Mafruddin & Irawan (2014), Koehuan & Sampealo (2015), dan Khomsah & Zuliari (2015) menyatakan bahwa "energi arus sungai kecil dapat dimanfaatkan untuk penerangan desa.

Turbin *Cross flow* merupakan jenis turbin yang paling banyak digunakan untuk PLTMH karena memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan jenis turbin yang lain. Desai & Aziz (1994) melakukan penelitian dengan "memvariasikan jumlah sudu yaitu 15, 20 dan 25, sudut serang air yang masuk kedalam *runner* 24°, 28° dan 32°, rasio diameter dalam dan diameter luar 0,60, 0,68 dan 0,75." Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi tertinggi 88% dengan jumlah sudu 25, *Nozzle* 24°, dan rasio diameter 0,68. Sugiri (2011) melakukan penelitian dengan "memvariasikan jumlah sudu roda jalan turbin *Cross flow* yaitu 18, 20 dan 22." Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi tertinggi turbin *Cross flow* diperoleh dengan jumlah sudu 20 buah sebesar 76 %. Daya yang dibangkitkan generator terbesar pada ketinggian turbin 2,5 m dengan jumlah sudu 20 buah sebesar 191 *Watt*. Berdasarkan penelitian terdahulu diketahui bahwa perbandingan diameter dalam (D2) dengan diameter luar (D1) dan jumlah sudu *runner* berpengaruh terhadap kinerja turbin *Cross flow*. Maka dari itu dalam penelitian ini akan dilakukan desain dan pembuatan turbin yang sesuai dengan sumber daya air dengan memvariasikan perbandingan diameter dan jumlah sudu *runner* turbin *Cross-flow*.

Arismunandar (2004) menyatakan "energi kinetik air berubah lagi menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros turbin dan selanjutnya poros turbin dihubungkan dengan generator menggunakan transmisi mekanik". Penggunaan turbin ini untuk daya yang sama dapat menghemat biaya pembuatan penggerak mula sampai 50 % dari penggunaan kincir air dengan bahan yang sama. Penghematan ini dapat dicapai karena ukuran Turbin *Cross flow* lebih kecil dan lebih kompak dibanding kincir air (Sya Fe'I dkk., 2016). Pada PLTMH energi potensial air dirubah menjadi energi mekanik pada turbin yang selanjutnya ditransmisikan ke generator pembangkit listrik. Rosyidin & Sugiarto (2012) menyatakan "pemilihan jenis turbin disesuaikan dengan debit air, putaran turbin serta *head*." Keunggulan dari turbin *Cross flow* ini dapat beroperasi pada *head* dan debit air yang sedang, serta ketersediaan bahan baku untuk pembuatan dari turbin ini mudah di dapatkan di pasaran (Sya Fe'I dkk., 2016). Melalui penelitian ini akan dilakukan pengujian dengan menggunakan turbin air *Cross flow*. Hal ini diharapkan dapat menjadi solusi dari segala permasalahan yang ada di Indonesia tentang memanfaatkan energi air sebagai penggerak turbin sehingga bisa menghasilkan listrik. Untuk mengetahui pemanfaatan

energi air menjadi listrik, kita akan membuat penelitian pengaruh variasi jumlah sudu *runner* terhadap kinerja turbin *Cross flow*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, maka ada beberapa rumusan masalah yang muncul. Diantara rumusan tersebut adalah :

- 1) Bagaimana pengaruh variasi jumlah sudu terhadap torsi turbin *Cross flow* ?
- 2) Bagaimana pengaruh variasi jumlah sudu terhadap daya turbin *Cross flow* ?
- 3) Bagaimana pengaruh variasi jumlah sudu terhadap efisiensi turbin *Cross flow* ?

1.3 Batasan Masalah

Penentuan batasan masalah bertujuan agar penelitian dapat mencapai hasil yang telah ditetapkan. Batasan masalah penelitian ini antara lain :

- 1) Debit air didalam percobaan diasumsikan sama pada setiap percobaan
- 2) Suhu air dan sekitar diasumsikan sama pada setiap pengambilan data
- 3) Kondisi air yang digunakan untuk penelitian diasumsikan sama

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) Mengetahui pengaruh variasi jumlah sudu terhadap torsi turbin *Cross flow*
- 2) Mengetahui pengaruh variasi jumlah sudu terhadap daya turbin *Cross flow*
- 3) Mengetahui pengaruh variasi jumlah sudu terhadap efisiensi turbin *Cross flow*

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) Dapat dijadikan referensi untuk penelitian berikutnya yang berhubungan dengan turbin *Cross flow*
- 2) Dapat membantu membuat energi terbarukan meskipun dengan skala yang kecil

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Turbin Air

2.1.1 Pengertian Turbin Air

Turbin air adalah turbin yang menggunakan fluida kerja air. Air mengalir dari tempat tinggi ke tempat rendah. Dalam hal tersebut air memiliki energi potensial. Dalam proses aliran di dalam pipa energi potensial berangsur-angsur berubah menjadi energi kinetik. Di dalam turbin, energi kinetik air diubah menjadi energi mekanis, di mana air memutar roda turbin (Sularso & Tahara, 1983). Turbin secara umum dapat diartikan sebagai mesin penggerak mula di mana energi fluida kerja yang digunakan langsung memutar roda turbin, fluida kerjanya yaitu berupa air, uap air dan gas. Dengan demikian turbin air dapat diartikan sebagai suatu mesin penggerak mula yang fluida kerjanya adalah air (Arismunandar, 2004). Turbin berfungsi mengubah energi potensial fluida menjadi energi mekanik yang kemudian diubah lagi menjadi energi listrik pada generator.

Komponen-komponen turbin yang penting adalah sebagai berikut :

1. Rotor

Yaitu bagian yang berputar pada sistem kerja turbin. Rotor ini terdiri dari :

a. Sudu – sudu

Berfungsi untuk menerima beban yang diperoleh dari pancaran yang bersumber dari *Nozzle*.

b. Poros

Berfungsi untuk meneruskan aliran air yang berupa putaran yang telah dihasilkan oleh sudu-sudu.

c. Bantalan

Berfungsi untuk alat perapatan pada komponen agar tidak terjadi kebocoran saat sistem bekerja.

2. Stator

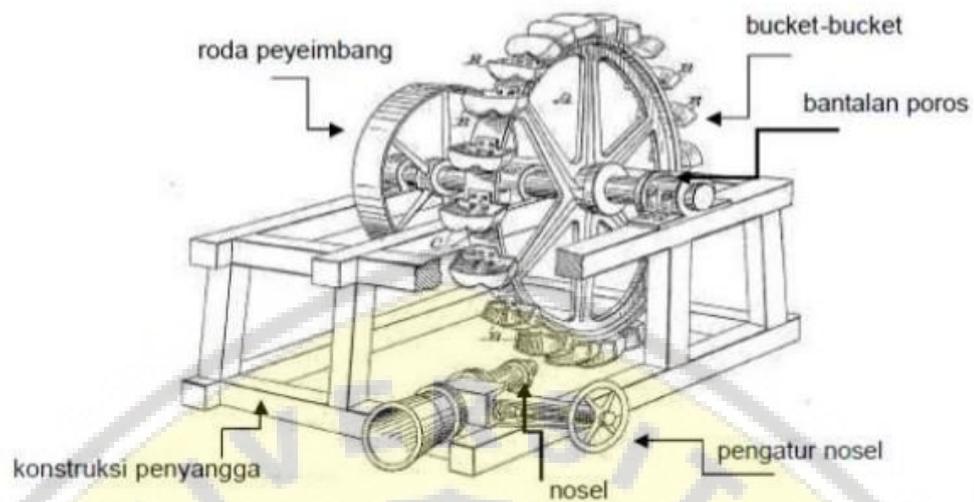
Yaitu bagian yang diam pada sistem kerja turbin

a. Pipa pengarah (*Nozzle*)

Berfungsi untuk meneruskan aliran fluida pada sudut yang diinginkan dalam sistem kerja turbin.

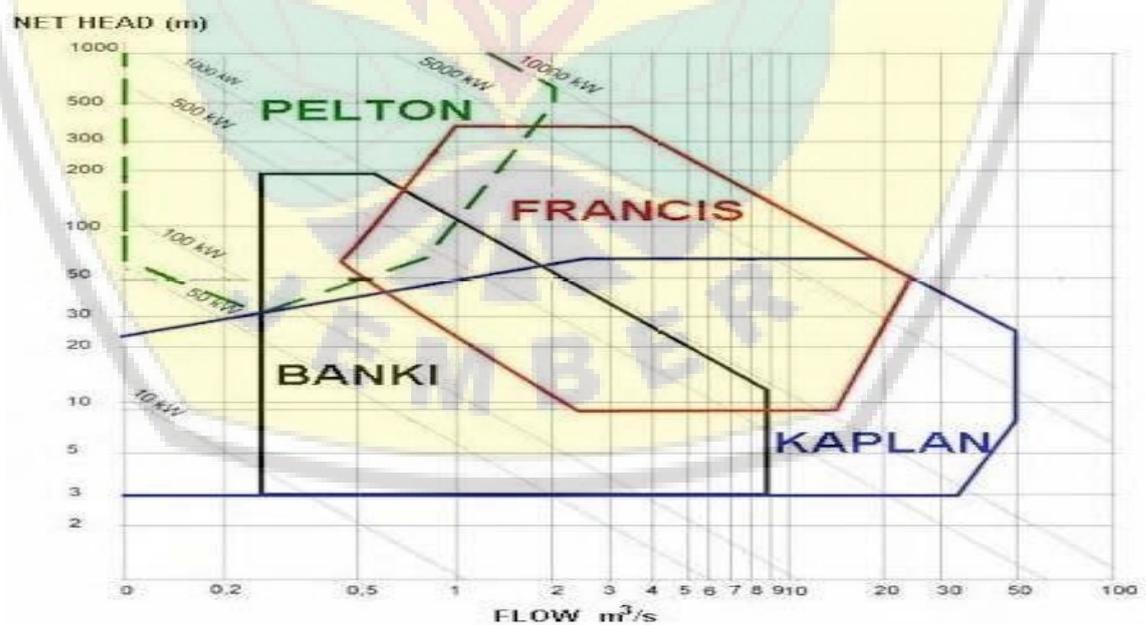
b. Rumah turbin

Berfungsi untuk tempat komponen-komponen turbin yang bekerja.



Gambar 2.1. Komponen – Komponen Turbin (sumber: Sari & Fasha, 2012)

Adapun perbandingan karakteristik turbin dapat kita lihat pada grafik net head (m) VS flow (m^3/s) di bawah ini.



Gambar 2.2. Perbandingan Karakteristik Turbin (sumber: Penche & Minas, 1998)

2.1.2 Prinsip Kerja Turbin Air

Pada roda turbin (*runner* pada turbin *Cross flow*) terdapat sudu yaitu suatu konstruksi lempengan dengan bentuk dan penampang tertentu, air sebagai fluida kerja mengalir melalui ruang di antara sudu turbin tersebut, dengan demikian roda turbin akan dapat berputar dan pada sudu akan ada suatu gaya yang bekerja. Gaya tersebut akan terjadi karena ada perubahan momentum dari fluida kerja air yang mengalir di antara sudu. Sudu hendaknya dibentuk sedemikian rupa sehingga dapat terjadi perubahan momentum pada fluida kerja air tersebut (Arismunandar, 2004).

2.2. Turbin *Cross Flow*

2.2.1. Pengertian Dasar Turbin *Cross Flow*

Turbin *Cross flow* adalah salah satu turbin air dari jenis turbin aksi (impulse turbine). Prinsip kerja turbin ini mula-mula ditemukan oleh seorang insinyur Australia yang bernama A.G.M. Michell pada tahun 1903. Kemudian turbin ini dikembangkan dan dipatenkan di Jerman Barat oleh Prof. Donat Banki sehingga turbin ini diberi nama Turbin Banki kadang disebut juga Turbin Michell-Ossberger (Haimerl, 1960).

Pada turbin impuls pelton beroperasi pada head relatif tinggi, sehingga pada *head* yang rendah operasinya kurang efektif atau efisiensinya rendah. Karena alasan tersebut, turbin pelton jarang dipakai secara luas untuk pembangkit listrik skala kecil. Sebagai alternatif turbin jenis impuls yang dapat beroperasi pada head rendah adalah turbin impuls aliran *ossberger* atau turbin *Cross flow*. Pada Gambar 2.1 adalah Turbin *Cross flow*, konstruksi turbin ini terdiri dari komponen utama yaitu;

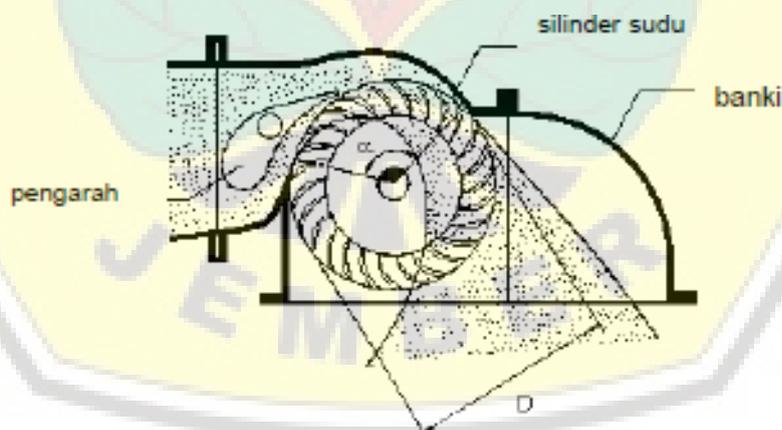
1. Rumah turbin
2. Alat pengarah
3. Roda jalan
4. Penutup
5. Katup udara
6. Pipa hisap
7. Bagian peralihan

Dalam aplikasinya turbin *cross flow* baik sekali digunakan untuk pusat tenaga air yang kecil dengan daya kurang lebih 750 kW. Tinggi air jatuh yang bisa digunakan di atas 1 m sampai 200 m dan kapasitas antara 0,02 m³ /s sampai 7 m³ /s (Dietzel & Sriyono, 1993).



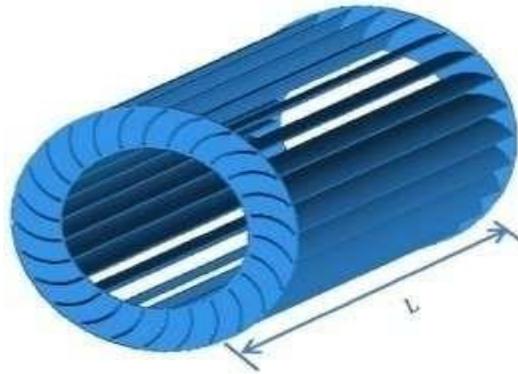
Gambar 2.3. Konstruksi dari Turbin *Cross Flow* (sumber: Dietzel & Sriyono, 1993)

Air yang masuk sudu diarahkan oleh alat pengarah yang sekaligus berfungsi sebagai nosel seperti pada turbin Pelton. Prinsip perubahan energi adalah sama dengan turbin impuls Pelton yaitu energi kinetik dari pengarah dikenakan pada sudu-sudu pada tekanan yang sama. Turbin *Cross flow* menggunakan nosel persegi panjang yang lebarnya sesuai dengan lebar *runner*. *Runner* turbin dibuat dari beberapa sudu yang dipasang pada sepasang piringan paralel. Pancaran air masuk turbin dan mengenai sudu sehingga terjadi konversi energi kinetik menjadi energi mekanis (putaran). Air mengalir keluar membentur sudu dan memberikan energinya (lebih rendah dibanding saat masuk) kemudian meninggalkan turbin.



Gambar 2.4. Aliran Masuk Turbin *Cross Flow* (sumber: Sari & Fasha, 2012)

Turbin *Cross flow* merupakan turbin pancaran ke dalam. Dan karena pada dasarnya alirannya adalah radial, diameter *runner* tidak tergantung pada besarnya tumbukan air tetapi dipengaruhi oleh head dan debit air yang digunakan, sedangkan panjang atau lebar *runner* dapat ditentukan berdasarkan lebar nosel dan tanpa tergantung sejumlah air.

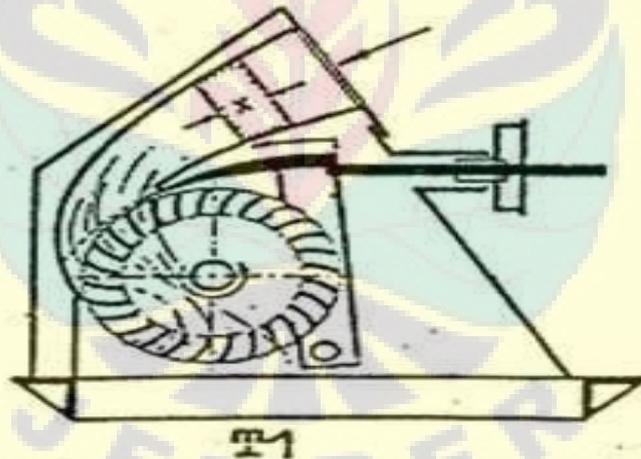


Gambar 2.5 Runner Turbin *Cross Flow* (sumber : Elbatran dkk, 2015)

2.2.2. Jenis-Jenis Turbin *Cross Flow*

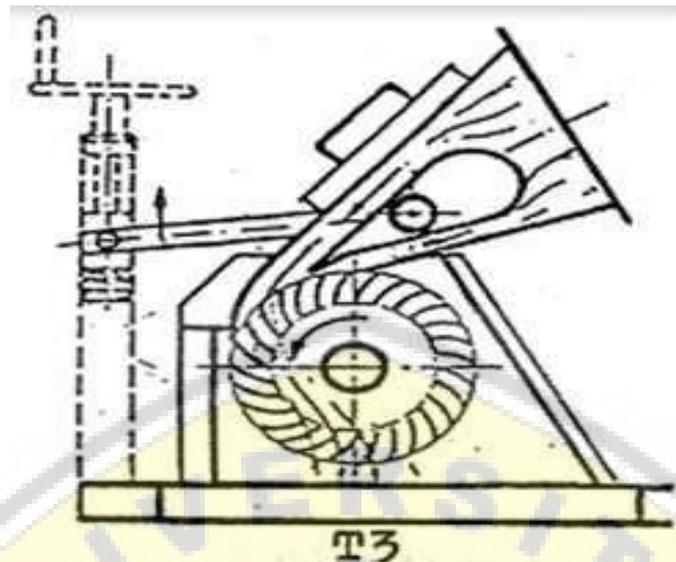
Turbin *Cross flow* secara umum dapat dibagi dalam dua tipe. Kedua tipe turbin tersebut dapat dilihat seperti pada gambar berikut ini :

- a. Tipe T1, yaitu Turbin *Cross Flow* kecepatan rendah
Turbin *Cross flow* kecepatan rendah ini memiliki turbin yang bertekanan kecil pada injeksi tangensial kipas menggunakan poros horizontal.



Gambar 2.6 Turbin *Cross Flow* Kecepatan Rendah (sumber: Hatib & Larasakti, 2013)

- b. Tipe T3, yaitu Turbin *Cross Flow* kecepatan tinggi
Turbin *Cross flow* kecepatan tinggi ini biasanya memiliki kecepatan mencapai 2 sampai 3 lipat dari kecepatan umumnya.



Gambar 2.7 Turbin *Cross Flow* Kecepatan Tinggi (sumber: Hatib & Larasakti, 2013)

Berdasarkan posisi penyemburan atau sudut nosel terhadap sumbu roda jalan (*runner*) turbin *cross flow* dapat dibedakan atas tiga jenis yaitu :

1) Posisi Vertikal.

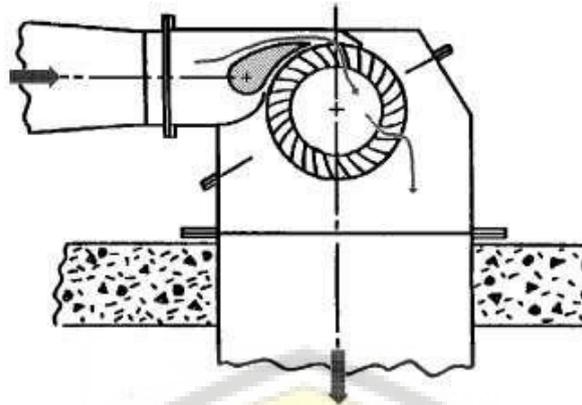
Jenis turbin air *cross flow* dengan posisi penyemburan vertikal yaitu sisi masuk air secara vertikal membentuk sudut 90^0 dengan lantai atau garis horizontal.



Gambar 2.8 Turbin *Cross Flow* Vertikal (sumber: Dietzel & Sriyono, 1993)

2) Posisi Horizontal.

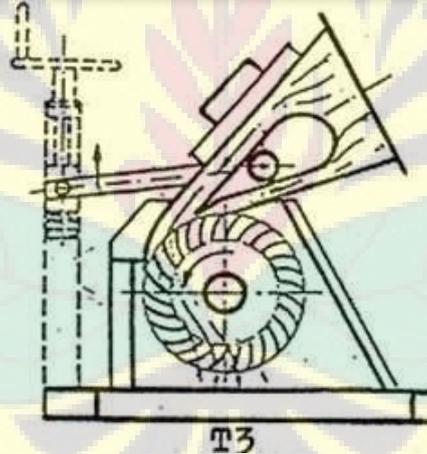
Pada posisi penyemburan horizontal sisi masuk air membentuk sudut 0^0 dengan lantai atau garis horizontal



Gambar 2.9 Turbin *Cross Flow* Horizontal (sumber: Paish, 2002)

3) Posisi miring.

Posisi penyemburan miring yaitu dengan sudut miring antara $0^{\circ} - 90^{\circ}$. Air masuk atau posisi penyemburan membentuk sudut miring $0^{\circ} - 90^{\circ}$ dengan lantai atau garis horizontal.



Gambar 2.10 Turbin *Cross Flow* Posisi Miring (sumber: Hatib & Larasakti, 2013)

2.3. Daya Air (P_{air})

Daya air yang digunakan merupakan salah faktor yang sangat penting dalam perencanaan turbin *cross flow*. Dimana daya air yang digunakan berdasarkan survei di lokasi dimana turbin akan diaplikasikan dan berdasarkan perhitungan beberapa kerugian yang diakibatkan oleh faktor gesekan maupun adanya nosel pada turbin. 45 Adapun langkah pengukuran daya air yang digunakan dapat diketahui dengan menggunakan persamaan- persamaan berikut.

a. Kecepatan aliran air

Untuk mengetahui besarnya kecepatan pada aliran air dapat digunakan persamaan sebagai berikut (Munson dkk, 2013).

$$v = \frac{Q}{A} \dots \dots \dots [1]$$

Dimana:

v = Kecepatan aliran air (m/s)

Q = Debit air yang digunakan (m³ /s)

A = Luas penampang pipa pesat (Penstocks) (m²)

b. Karakteristik aliran

Untuk mengetahui karakteristik aliran air dalam pipa atau bilangan Reynold dapat digunakan persamaan berikut (Munson dkk, 2013).

$$R_e = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu} \dots \dots \dots [2]$$

Dimana:

R_e = Bilangan *Reynold*

ρ = Massa jenis air (kg/m³)

v = Kecepatan aliran air (m/s)

d = Diameter dalam pipa (m)

μ = Viskositas dinamik (N.s/m²)

c. Mayor losses

Mayor losses merupakan kerugian yang disebabkan oleh faktor gesekan antara fluida air dengan dinding pipa. Dan untuk mengetahui besarnya kerugian akibat gesekan atau head mayor dapat digunakan persamaan berikut (Munson dkk, 2013).

$$H_{L(\text{mayor})} = f \frac{l \cdot v^2}{d \cdot 2 \cdot g} \dots \dots \dots [3]$$

Dimana:

$H_{L(\text{mayor})}$ = Kerugian head karena gesekan (m)

d = Diameter dalam pipa (m)

l = Panjang pipa (m)

v	= Kecepatan aliran fluida (m/s)
g	= Percepatan gravitasi (m/s ²)
f	= Koefisien gesekan

Nilai f (koefisien gesekan) merupakan fungsi dari $(Re, \frac{\epsilon}{D})$, dimana ϵ merupakan nilai untuk kekasaran pipa (tergantung bahan pipa). Untuk aliran laminar yang telah berkembang penuh nilai f hanya $\frac{64}{Re}$, sedangkan untuk aliran turbulen nilai f dipengaruhi oleh faktor independen yaitu gesekan dan diameter dari pipa, $f = (Re, \frac{\epsilon}{D})$.

d. Minor losses

Merupakan kerugian head yang diakibatkan oleh belokan pipa, pengecilan pipa dan adanya nosel. Dengan adanya belokan, pengecilan dan nosel maka akan berpengaruh terhadap daya air yang digunakan. Untuk mengetahui besarnya kerugian minor losses dapat digunakan persamaan berikut (Munson dkk, 2013).

$$H_{L(\text{minor})} = k \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots [4]$$

Dimana:

$H_{L(\text{minor})}$	= Kerugian head (m)
v	= Kecepatan aliran fluida (m/s)
g	= Percepatan gravitasi (m/s ²)
k	= koefisien kerugian (loss)

Besarnya nilai aktual sangat tergantung pada geometri komponen dan juga tergantung pada sifat fluida, $k = \phi$ (Geometri, Re).

e. Head efektif

Merupakan *head* bersih, dimana faktor gesekan dan belokan pada pipa atau nosel sudah dipertimbangkan dengan perhitungan. Dengan persamaan berikut besarnya head efektif dapat diketahui (Nasir, 2014).

$$H_e = H - H_{L(\text{mayor})} - H_{L(\text{minor})} \dots\dots\dots [5]$$

Dimana:

H_e = head efektif (m)

H = Ketinggian/head (m)

$H_{L(mayor)}$ = Kerugian head karena gesekan (m)

$H_{L(minor)}$ = kerugian head akibat belokan pipa atau nosel (m)

Berdasarkan perhitungan kerugian-kerugian yang terjadi, maka dapat ditentukan besarnya daya air yang digunakan dalam PLTMH. Adapun perhitungan besarnya daya air yang digunakan yaitu dengan persamaan berikut (Mockmore & Merryfield, 1984, Yassen, 2014).

$$P_{air} = \rho \cdot g \cdot H_e \cdot Q \dots\dots\dots [6]$$

$$P_{air} = \gamma \cdot H_e \cdot Q \dots\dots\dots [7]$$

Dimana:

P_{air} = Daya air (W)

ρ = Massa jenis air (kg/m³)

g = Gaya gravitasi (m/s²)

H_e = Head efektif atau ketinggian (m)

Q = Debit air (m³/s)

γ = Berat jenis air (N/m³)

Sedangkan secara teoritis kecepatan air yang jatuh dari ketinggian tertentu dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut (Mockmore & Merryfield, 1984, Yassen, 2014).

$$V_1 = C \sqrt{2 g H_e} \dots\dots\dots [8]$$

sehingga

$$H_e = \frac{V_1^2}{C^2 2g} \dots\dots\dots [9]$$

dimana:

C = Koefisien nosel (hilangnya energi kinetik yang melalui nosel)

$C = (0,98)$

Sehingga daya air berdasarkan teoritis yaitu sebagai berikut.

$$P_{\text{air}} = \frac{\gamma Q V_1^2}{C^2 2g} \dots\dots\dots[10]$$

2.4. Daya Yang Dihasilkan Turbin (P_t)

Untuk mengetahui daya yang dihasilkan turbin dilakukan pengujian torsi penggerak mula turbin *cross flow*. Metode pengujian dilakukan dengan mekanisme pengereman untuk mengetahui torsi yang dihasilkan turbin. Komponen penting dalam proses pengereman adalah belt atau tali rem yang dipasang melingkari puli yaitu setengah lingkaran puli atau sudut kontak $\theta=180^\circ$. Kedua ujung belt dihubungkan dengan timbangan (neraca) pegas, salah satu pengait timbangan (neraca) pegas tersebut dipasang tetap sementara pengait timbangan satu lagi akan mendapat perlakuan tarik . Pada proses pengereman akan timbul gaya tarik F_{ta} dan gaya tekan F_{te} . Selisih antara F_{ta} dan F_{te} itulah gaya pengereman atau gaya gesek (F_g). Dimana pada setiap saat perlakuan tarikan dilakukan pengukuran jumlah putaran turbin untuk mengetahui kecepatan sudut dari *runner* turbin *cross flow*.

Selanjutnya untuk mengetahui besarnya torsi yang terjadi dapat dicari dengan persamaan berikut [Arismunandar, 2004].

$$T = F_g \cdot r \dots\dots\dots[11]$$

Dan kecepatan sudut *runner* turbin yaitu (Acharya dkk, 2015).

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \dots\dots\dots[12]$$

Setelah torsi turbin pada putaran tertentu diketahui maka untuk mengetahui daya yang dihasilkan turbin dapat digunakan persamaan berikut (Acharya dkk, 2015).

$$P_t = T \cdot \omega \dots\dots\dots[13]$$

dimana:

- P_t = Daya yang dihasilkan turbin (W)
- T = Torsi yang dihasilkan turbin (Nm)
- F_g = Selisih gaya tarik dan tekan pada putaran tertentu (N)
= $F_{ta} - F_{te}$ atau $F_1 - F_2$ (N)
- r = Jari-jari puli pada *runner* turbin (m)

- ω = Kecepatan sudut turbin (rad/s)
- n = Putaran turbin (rpm)

2.5. Efisiensi Turbin (η_t)

Efisiensi turbin secara eksperimen diperoleh dari membandingkan output dan input yang terpakai. Dimana output merupakan daya yang dihasilkan turbin sedangkan input yaitu daya air yang digunakan. Dengan perbandingan antara daya yang dihasilkan oleh turbin dan daya yang air yang digunakan maka dapat diketahui efisiensi mekanik dari turbin. Efisiensi mekanik turbin juga menandakan keberhasilan dalam suatu pembuatan turbin. Semakin tinggi efisiensi suatu turbin maka semakin baik kualitas dari turbin dalam memanfaatkan energi air.

Untuk mengetahui besarnya efisiensi pada turbin air dapat digunakan persamaan sebagai berikut (Acharya dkk, 2015).

$$\eta_t = \frac{P_{turbin}}{P_{air}} \dots\dots\dots[14]$$

atau

$$\eta_t = \frac{T \cdot \omega}{\rho \cdot g \cdot H_e \cdot Q} \dots\dots\dots[15]$$

Dimana:

- η_t = Efisiensi mekanik turbin
- P_{air} = Daya air (W)
- P_{turbin} = Daya turbin (W)

2.6. Daya Generator (P_g)

Untuk mengetahui besarnya daya listrik yang dihasilkan oleh generator dapat digunakan persamaan berikut (Sari & Fasha, 2012)

$$P_g = V \cdot I \dots\dots\dots[16]$$

Dimana:

- P_g = Daya listrik yang dihasilkan generator (W)
- V = Beda potensial/tegangan (Volt)
- I = Kuat arus (Ampere)

2.7. Hipotesis

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh para peneliti lain yang berkaitan dengan turbin *Cross Flow*, maka pada penelitian kali ini penulis akan melakukan variasi jumlah sudu *runner*. Adapun sudu yang dipilih adalah 16,18,20. Menurut hipotesa penulis yang paling baik kinerja nya adalah sudu *runner* yang berjumlah 20. Karena pada sudu *runner* tersebut memiliki jumlah sudu yang lebih banyak dibandingkan dengan jumlah sudu yang lainnya, sehingga putaran yang akan dihasilkan akan lebih besar dan lebih maksimal, sehingga mendapatkan hasil yang lebih unggul dibanding jumlah sudu *runner* yang lainnya, meliputi torsi, daya, maupun efisiensinya.



BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen dengan cara menganalisa pengaruh jumlah sudu terhadap kinerja turbin *cross flow* sehingga dapat di ketahui daya yang dihasilkan. Penelitian ini akan dilaksanakan di Lab. Konversi Energi, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

3.2.1 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Lab. Konversi Energi, Fakultas Teknik, Universitas Jember

3.2.2 Waktu Penelitian

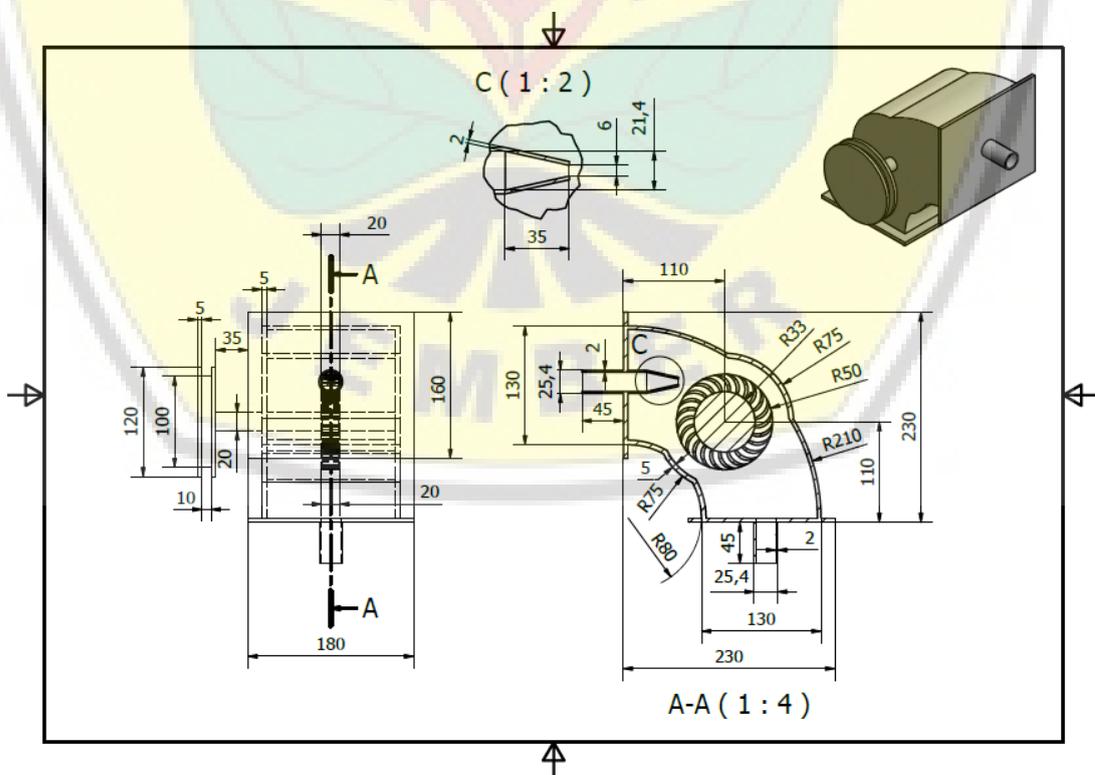
Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September sampai November 2020

3.3 Alat dan Bahan

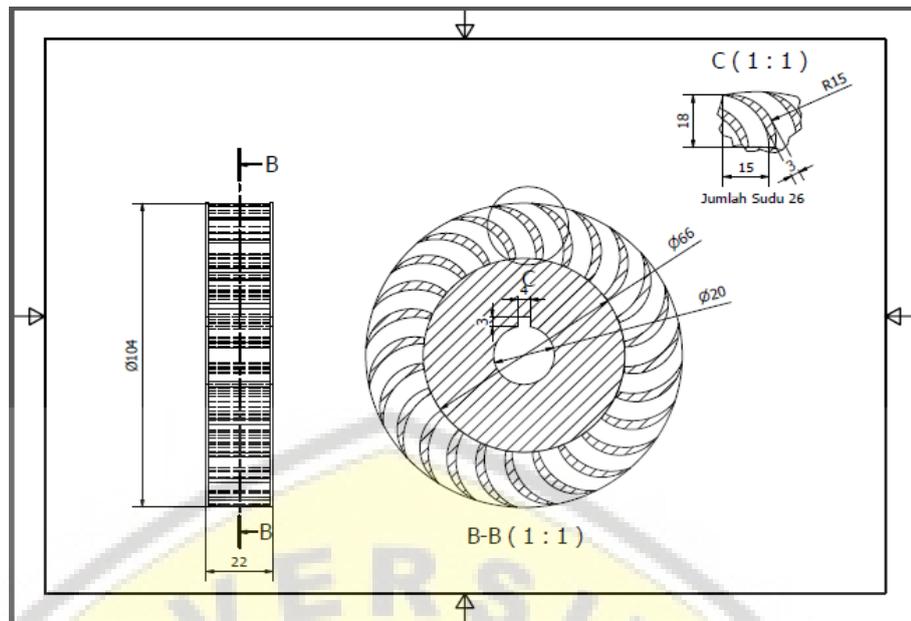
3.3.1 Alat

Dalam penelitian ini dibutuhkan beberapa alat guna memperlancar pengambilan data. Adapun alat yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

- a. Turbin *Cross Flow*



Gambar 3.1 Turbin *Cross Flow*



Gambar 3.2 Sudu Runner Turbin Cross Flow

b. Tachometer

Berfungsi untuk mengukur putaran pada turbin *cross flow*.



Gambar 3.3 Tachometer

Spesifikasi :

- Merek : Lutron DT-1236L
- Ukuran : 215 x 67 x 38 mm
- Jarak maksimal dengan laser : 2 meter
- Photo tach : 10 to 99,999 RPM
- Contact Tach : 0,5 to 19,9999 RPM

c. *Amperemeter*

Berfungsi untuk mengukur kuat arus listrik yang dihasilkan dari generator



Gambar 3.4 *Amperemeter*

d. *Pompa*

Berfungsi untuk memompa air pada wadah menuju ke turbin *cross flow*



Gambar 3.5 *Pompa*

Spesikasi :

Merek	: Shimizu
Daya Listrik	: 125 <i>Watt</i>
Daya Hisap	: Max 9 meter
Daya dorong	: 30 meter
Kapasitas	: 32 liter/min

e. Generator/Dinamo

Berfungsi untuk mengubah dari energy gerak menjadi energi listrik



Gambar 3.6 Dinamo

Spesifikasi :

Tipe	: Generator DC
Tegangan	: 220 Volt
Arus	: 1 Ampere

3.3.2 Bahan

Dalam penelitian ini dibutuhkan beberapa bahan guna memperlancar pengambilan data. Adapun bahan yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

- a. Besi



 ruangarsiteh.id

Gambar 3.7 Besi

3.4 Skema Alat

3.4.1 Skema Sudu



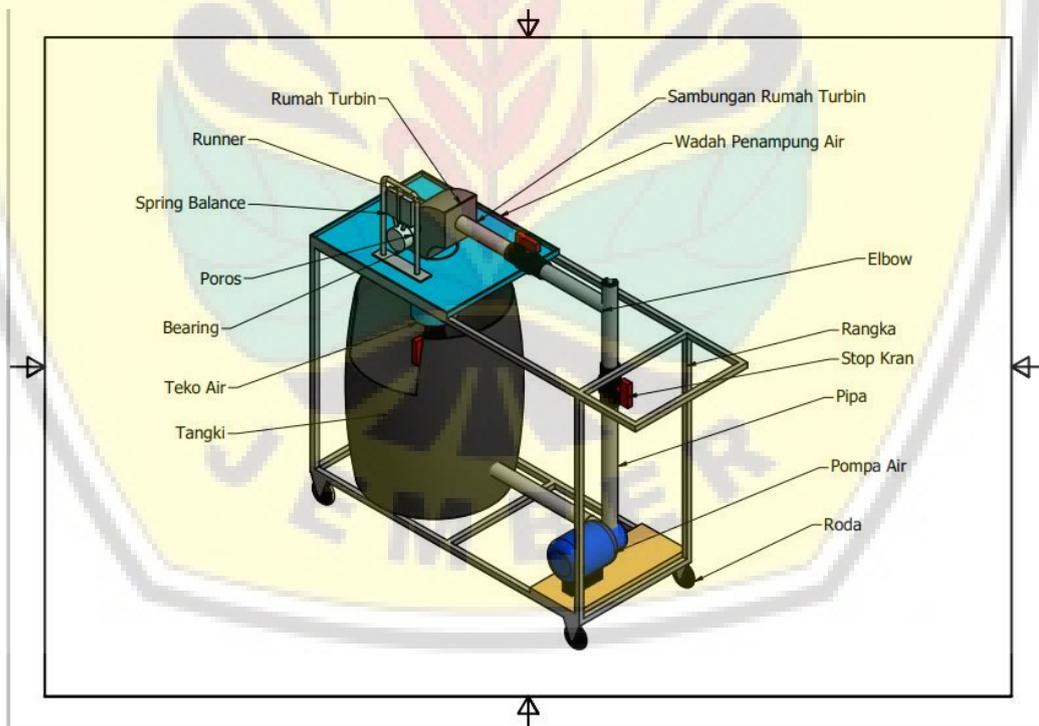
Sudu 16

Sudu 18

Sudu 20

Gambar 3.8 Skema Sudu

3.4.2 Skema Alat Pengujian



Gambar 3.9 Skema Instalasi Pengujian

Tabel 3.1 Spesifikasi instalasi pengujian

No	Nama Komponen	Ukuran
1	Debit (Q)	5.10-4 m ³ /det
2	Panjang rangka mesin	1,2 m
3	Lebar rangka mesin	0,5 m
4	Tinggi rangka mesin	0,9 m
5	Diameter luar <i>runner</i>	0,1 m
6	Diameter dalam <i>runner</i>	0,066 m
7	Jumlah sudu	16, 18, 20
8	Tabung air	75 liter
9	Material turbin	Besi

3.5 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini dimulai dari :

a. Studi Literatur

Mempelajari literatur yang membantu dan mendukung penelitian *pengaruh variasi jumlah sudu runner terhadap kinerja turbin cross flow* ini adalah mempelajari perancangan elemen mesin, statika struktur, *renewable energy*, mekatronika, ilmu bahan, karakterisasi material, rekayasa keteknikmesinan, mekanisme dan dinamika teknik, getaran mekanik, prestasi mesin dan literatur lain yang mendukung.

b. Konsultasi

Konsultasi dengan dosen pembimbing maupun dosen lainnya untuk mendapatkan arahan tentang penelitian *pengaruh variasi jumlah sudu runner terhadap kinerja turbin cross flow*.

c. Pembuatan Alat

Tahap ini meliputi dari perencanaan alat dan pelaksanaan.

d. Eksperimen

Mengambil data yang diperlukan pada alat pengujian turbin *cross flow*.

e. Analisis Hasil Penelitian

Menganalisis data yang telah diambil terhadap rumusan masalah

f. Kesimpulan

Kesimpulan diperoleh berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan

3.6 Pelaksanaan Penelitian

3.6.1 Variabel Penelitian

Data yang digunakan merupakan data yang diperoleh dari hasil penelitian dengan debit air dan massa yang dibuat konstan atau tetap yang meliputi variabel kontrol, terikat, dan bebas.

a. Variabel Kontrol

Variabel kontrol pada penelitian ini adalah debit air

b. Variabel Bebas

Variabel bebas pada penelitian ini adalah jumlah sudu *runner*, yaitu 16,18, dan 20.

c. Variabel Terikat

Variabel terikat pada penelitian ini adalah :

- 1) Arus (*Ampere*)
- 2) Tegangan (*Volt*)
- 3) Putaran (*Rpm*)

3.6.2 Pengambilan Data

Data yang akan diambil dalam penelitian ini meliputi :

a. Menghitung Torsi

Torsi dapat diperoleh dari hasil perhitungan yang ada di dalam persamaan 2.4

b. Menghitung Efisiensi

Efisiensi dapat diperoleh dari hasil perhitungan yang ada di dalam persamaan 2.5

c. Menghitung Daya

Daya dapat diperoleh dari hasil perhitungan yang ada di dalam persamaan 2.6

3.6.3 Pengolahan Data

Adapun untuk pengolahan data ini dimulai dengan menghitung daya *input*.

Tabel 3.2 Data daya *input*

Sudu	Q	Daya <i>Input</i>
16		
18		
20		

Tabel 3.3 Data untuk mencari torsi

Sudu	Putaran	Daya <i>Output</i>	Torsi
16			
18			
20			

Pengujian dengan Dinamo

Tabel 3.4 Data pengujian menggunakan dinamo

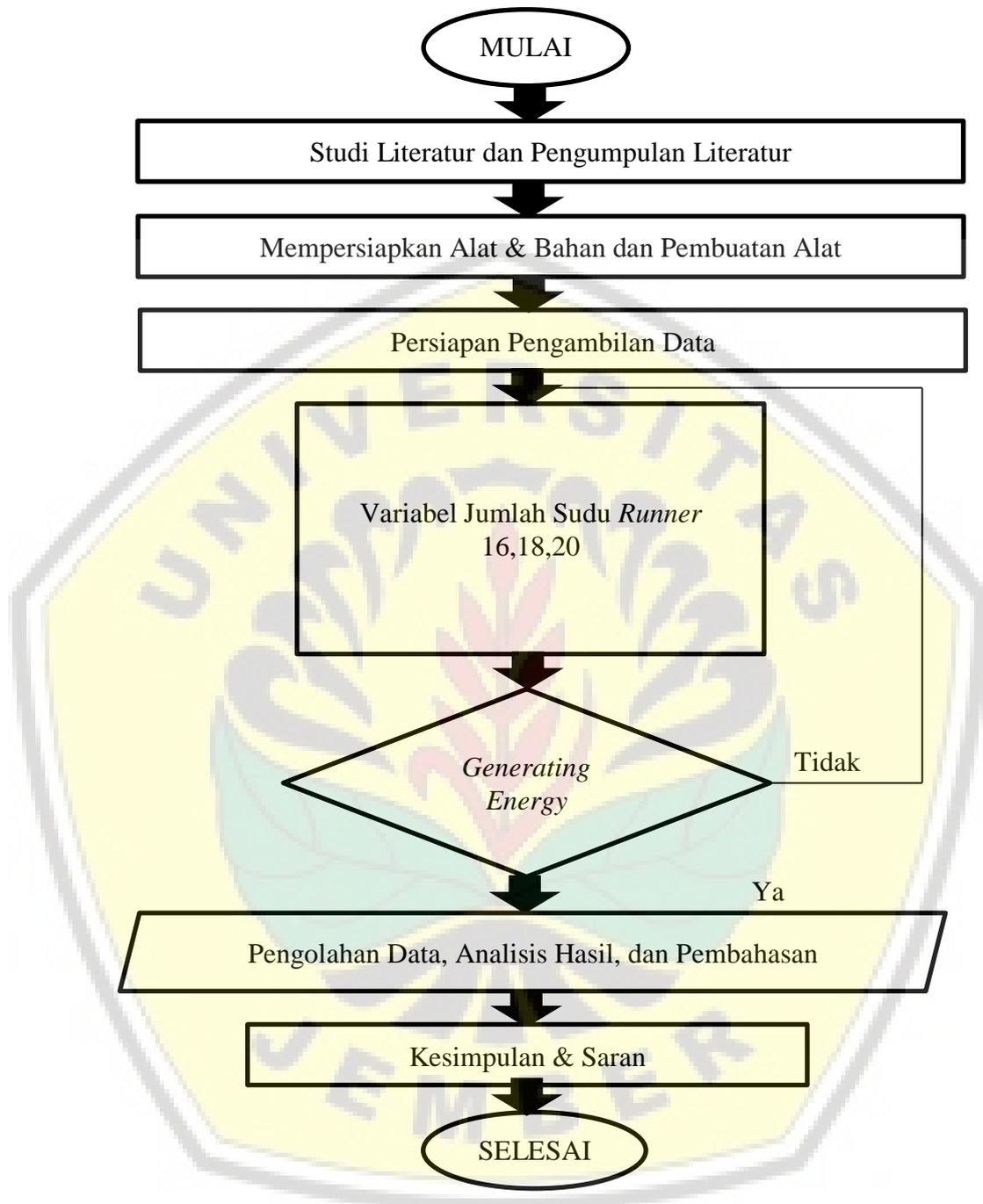
Sudu	Tegangan	Arus	Daya <i>Output</i>
16			
18			
20			

Efisiensi menggunakan dinamo

Tabel 3.5 Efisiensi dengan menggunakan Dinamo

Sudu	Daya <i>Input</i>	Daya <i>Output</i>	Efisiensi
16			
18			
20			

3.8 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.10 Diagram Alir Penelitian

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Daya yang paling baik dihasilkan oleh sudu yang berjumlah 20, hal ini disebabkan putaran yang dihasilkan oleh sudu tersebut lebih cepat dan lebih maksimal sehingga menghasilkan tegangan dan arus yang tinggi dibandingkan jumlah sudu yang lain.
- 2) Torsi yang paling baik dihasilkan oleh sudu yang berjumlah 20, hal ini disebabkan pada jumlah sudu 20 daya yang dihasilkan lebih besar dan putarannya juga lebih banyak, maka torsinya menjadi lebih besar pula.
- 3) Efisiensi yang paling baik dihasilkan oleh sudu yang berjumlah 20, hal ini disebabkan air yang disemprotkan terhadap sudu yang berjumlah 20 bisa berputar secara maksimal sehingga daya yang dihasilkan oleh turbin lebih besar.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian ini, maka ada beberapa saran yang dapat diberikan sebagai berikut :

- 1) Diharapkan didalam membuat sudu diperhatikan dalam pengukuran diameternya sehingga lebih maksimal dalam pengambilan data
- 2) Diharapkan didalam membuat nozzle diperhatikan dalam pengukurannya sehingga lebih maksimal dalam menyemprotkan air pada sudu
- 3) Perlu diadakan penelitian lebih lanjut bagi mahasiswa dengan menggunakan variabel yang lebih variasi supaya didapat hasil penelitian yang baik

DAFTAR PUSTAKA

- Acharya, N., C. G. Kim, B. Thapa, dan Y. H. Lee. 2015. Numerical analysis and performance enhancement of a Cross flow hydro turbine. *Renewable Energy*. XXX: 1-8.
- Arismunandar, W. 2004. Penggerak Mula Turbin. ITB Bandung
- Desai, V. R. dan N. M. Aziz. 1994. An experimental investigation *Cross flow* turbine efficiency. *Journal of fluids engineering*. 116(545).
- Dietzel, F. dan D. Sriyono. 1993. Turbin Pompa Dan Kompresor. Erlangga. Jakarta.
- Elbatran, A. H., O. B. Yaakob, Y. M. Ahmed, dan H. M. Shabara. 2015. Operation, performance and economic analysis of low head micro-hydropower turbines for rural and remote areas. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. (43): 40–50.
- Haimerl, L.A. 1960. The *Cross Flow* Turbine. Jerman Barat
- Hatib, R., dan A. A. Larasakti. 2013. Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Kinerja Turbin *Cross flow*. *Jurnal Mekanikal*. 4(2).
- Havinato, J. 2009. Penggunaan Turbin *Cross Flow* pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro. Deputi Manager Evaluasi Diklat dan Assessment PLN Pusdiklat.
- Khomsah, A. dan E. A. Zuliari. 2015. “Analisa Teori: Performa Turbin *Cross Flow* Sudu Bambu 5” sebagai Penggerak Mula Generator Induksi 3 Fasa,” Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III: Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, 2015.
- Koehuan, V. A. dan A. Sampealo. 2015. “Analisis Desain Turbin Air Tipe Aliran Silang (*Cross Flow*) dan Aplikasinya di Desa Werel Kabupaten Ngada-NTT”. *Lontar Jurnal Teknik Mesin Undana*. 2(1): 01-08
- Mafruddin dan D. Irawan. 2014. “Pembuatan Turbin Mikrohidro Tipe *Cross flow* Sebagai Pembangkit Listrik di Desa Bumi Nabung Timur,”. *Jurnal Turbo*. 3(2) Tahun 2014.
- Mockmore, C. A., dan F. Merryfield. 1984. “The Banki Water Turbin”, Oregon State College, Bulletin Series, No.25.
- Munson, B. R., T. H. Okiishi, W. W. Huebsch, dan A. P. Rothmayer. 2013. Fundamentals of Fluid Mechanics. Edisi 7.
- Nasir, B. A. 2014. Design Considering Of Micro-Hidro-Electrik Power Plant. *Energy*

procedia 50: 19-29.

- Paish, O. 2002. Small hydro power: technology and current Status. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 6: 537–556.
- Penche, C. dan I. D. Minas. 1998. Layman`s Guidebook on How to Develop a Small Hydro site. Brussel : European Small Hydropower Association.
- Rosyidin, S. D. dan Sugiarto. 2012. ”Pengaruh bukaan *guide vane* terhadap unjuk kerja turbin *Cross flow* tipe C4-20 pada instalasi PLTMH Andungbiru”. Jurusan Teknik Mesin UNIBRAW.
- Salim, N. 2009. Unjuk Kerja Turbin Air Tipe *Cross flow* dengan Variasi Jari-jari Kelengkungan Sudu. Yogyakarta: Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Sari, S. P. dan R. Fasha. 2012. Pengaruh Ukuran Diameter Nosel 7 Dan 9 mm Terhadap Putaran Sudu Dan Daya Listrik Pada Turbin Pleton. *Jurnal Teknik Mesin*,
- Setyarini, P. H., D. Sutikno, dan F. N. D. Fahmi. 2012. Unjuk Kerja Turbin Arus Lintang Berlorong Pengarah Dengan Variasi Sudut Pipa Pancar.
- Sugiri, A. 2011. Pengaruh Jumlah Sudu Roda Jalan Terhadap Efisiensi Turbin Aliran Silang (*Cross Flow*). *Jurnal Mechanical*. 2(1).
- Sularso dan H. Tahara. 1983. Pompa & Kompresor, Cetakan Ketujuh, PT Paradya Paramita, Jakarta.
- Sya Fe’I, M. N., K. Arwizet, dan Irzal. 2016. Rancang Bangun Simulasi Turbin Air *Cross flow*. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang
- Tohari, M. dan H. I. Lubis. 2015. Pengujian Unjuk Kerja Turbin Cross flow Skala Laboratorium Dengan Jumlah Sudu 20. *Jurnal Teknik Mesin*.
- Winardi, H. Saptoadi, dan Subarmono. 2004. Pengaruh Jumlah Sudu Roda Jalan Terhadap Unjuk Kerja Turbin Aliran Silang. *Jurnal Teknosains*. 2(17) Tahun 2004. Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada.
- Yassen, S. R. 2014. Optimization of the Performance of Micro Hydro-Turbines for Electricity Generation.

Lampiran A. Data Hasil Pengujian Turbin Cross Flow

1) Data Arus

Pengambilan Data Arus Jumlah Sudu 16					Rata Rata (A)	
Pengulangan 1	0,032	0,054	0,045	0,021	0,046	0,040
Pengulangan 2	0,047	0,028	0,053	0,041	0,031	0,040
Pengulangan 3	0,050	0,047	0,038	0,029	0,041	0,041
Pengulangan 4	0,027	0,052	0,043	0,035	0,028	0,037
Pengulangan 5	0,026	0,032	0,052	0,045	0,038	0,039
Rata-rata Keseluruhan						0,039

Pengambilan Data Arus Jumlah Sudu 18					Rata Rata (A)	
Pengulangan 1	0,071	0,081	0,096	0,067	0,085	0,080
Pengulangan 2	0,075	0,066	0,091	0,082	0,073	0,077
Pengulangan 3	0,069	0,092	0,088	0,074	0,065	0,078
Pengulangan 4	0,093	0,065	0,072	0,094	0,087	0,082
Pengulangan 5	0,083	0,073	0,064	0,085	0,092	0,079
Rata-rata Keseluruhan						0,079

Pengambilan Data Arus Jumlah Sudu 20					Rata Rata (A)	
Pengulangan 1	0,121	0,144	0,125	0,136	0,157	0,137
Pengulangan 2	0,133	0,152	0,146	0,110	0,128	0,134
Pengulangan 3	0,112	0,129	0,115	0,109	0,135	0,120
Pengulangan 4	0,107	0,116	0,158	0,094	0,114	0,118
Pengulangan 5	0,091	0,128	0,137	0,156	0,145	0,131
Rata-rata Keseluruhan						0,128

2) Data Tegangan

Pengambilan Data Tegangan Jumlah Sudu 16						Rata Rata (V)
Pengulangan 1	8,71	8,73	8,54	8,69	8,83	8,70
Pengulangan 2	8,69	8,72	8,71	8,54	8,82	8,70
Pengulangan 3	8,54	8,82	8,73	8,69	8,72	8,70
Pengulangan 4	8,73	8,54	8,72	8,69	8,71	8,68
Pengulangan 5	8,83	8,69	8,54	8,71	8,82	8,72
Rata-rata Keseluruhan						8,70

Pengambilan Data Tegangan Jumlah Sudu 18						Rata Rata (V)
Pengulangan 1	10,6	9,6	10,5	11,0	11,2	10,58
Pengulangan 2	10,4	10,8	11,8	11,2	10,5	10,94
Pengulangan 3	10,8	11,2	10,1	10,6	9,6	10,46
Pengulangan 4	11,2	10,5	9,7	11,8	11,0	10,84
Pengulangan 5	10,7	11,2	11,0	10,1	9,8	10,56
Rata-rata Keseluruhan						10,68

Pengambilan Data Tegangan Jumlah Sudu 20						Rata Rata (V)
Pengulangan 1	13,1	14,2	15,9	15,6	15,0	14,76
Pengulangan 2	15,8	14,5	13,1	16,8	15,6	15,16
Pengulangan 3	14,7	15,9	13,3	14,9	15,5	14,86
Pengulangan 4	15,8	14,5	15,6	14,2	14,9	15,0
Pengulangan 5	13,3	15,6	14,8	15,0	16,8	15,1
Rata-rata Keseluruhan						14,98

3) Data Putaran

Jumlah Sudu	Pengulangan 1	Pengulangan 2	Pengulangan 3	Pengulangan 4	Pengulangan 5	Rata-Rata
16	101,2	113,3	99,85	99,52	105,6	103,9
18	165,2	167,3	168,5	169,4	175,0	169,1
20	206,3	216,5	215,5	216,8	217,3	214,5



Lampiran B. Perhitungan

1) Perhitungan Daya Hidrolik

Penentuan debit

Debit untuk wadah 10,2 liter	Pengulangan 1 (s)	Pengulangan 2 (s)	Pengulangan 3 (s)	Rata-rata
	15,07	15,26	15,33	15,22

Dari tabel di atas maka besarnya debit dapat diketahui sebesar :

$$\begin{aligned} \text{Debit} &= \frac{v}{t} \\ &= \frac{10,2 \text{ liter}}{15,22} \\ &= 0,00067 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Setelah debit sudah diketahui, maka menghitung daya hidrolis :

$$\begin{aligned} P &= \rho \times Q \times h \times g \\ &= 1000 \times 0,00067 \times 7,34 \times 9,81 \\ &= 48 \text{ Watt} \end{aligned}$$

2) Perhitungan Daya Output

Dari data yang telah ada pada lampiran A, maka daya output bisa didapatkan sebagai berikut :

a. Sudu 16

$$\begin{aligned} P &= V \times I \\ &= 8,70 \times 0,039 \\ &= 0,34 \text{ Watt} \end{aligned}$$

b. Sudu 18

$$\begin{aligned} P &= V \times I \\ &= 10,68 \times 0,079 \\ &= 0,84 \text{ Watt} \end{aligned}$$

c. $P = V \times I$

$$\begin{aligned} &= 14,98 \times 0,128 \\ &= 1,91 \text{ Watt} \end{aligned}$$

3) Perhitungan Efisiensi

Efisiensi bisa didapatkan dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

a. Sudu 16

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{0,34}{48} \times 100\% \\ &= 0,71\%\end{aligned}$$

b. Sudu 18

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{0,84}{48} \times 100\% \\ &= 1,75\%\end{aligned}$$

c. Sudu 20

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{1,91}{48} \times 100\% \\ &= 3,98\%\end{aligned}$$

4) Perhitungan Torsi

Dari perhitungan di atas, maka dapat diketahui besaran torsi pada setiap sudu sebagai berikut :

a. Sudu 16

$$\begin{aligned}T &= \frac{P \times 60}{2\pi \times n} \\ &= \frac{0,34 \times 60}{2\pi \times 103,9} \\ &= 0,0312 \text{ Nm}\end{aligned}$$

b. Sudu 18

$$\begin{aligned}T &= \frac{P \times 60}{2\pi \times n} \\ &= \frac{0,84 \times 60}{2\pi \times 169,1} \\ &= 0,0474 \text{ Nm}\end{aligned}$$

c. Sudu 20

$$\begin{aligned}T &= \frac{P \times 60}{2\pi \times n} \\ &= \frac{1,91 \times 60}{2\pi \times 214,5} \\ &= 0,0850 \text{ Nm}\end{aligned}$$

Lampiran C. Dokumentasi Penelitian

1) Dokumentasi Pembuatan Turbin *Cross Flow*



Gambar C.1 Pemasangan Sudu



Gambar C.2 Meletakkan sudu di dalam rumah turbin



Gambar C.3 Pemasangan pipa antara rumah turbin dan tangki air



Gambar C.4 Pemasangan rumah turbin



Gambar C.5 Pemasangan rumah turbin



Gambar C.6 Pemasangan selang pada pompa



Gambar C.7 Pemasangan nozzle



Gambar C.8 Pemasangan Generator



Gambar C.9 Sudu 16



Gambar C.10 Sudu 18



Gambar C.11 Sudu 20



Gambar C.12 Proses Pengujian Turbin *Cross Flow*



Gambar C.13 Turbin *Cross Flow*

2) Dokumentasi Pengambilan Data



Gambar C.14 Mengisi air ke dalam tangki air



Gambar C.15 Pengambilan data putaran



Gambar C.16 Pengambilan data arus



Gambar C.17 Pengambilan data tegangan