# PENGARUH LEBAR SUDU TERHADAP UNJUK KERJA KINCIR AIR TIPE SUDU LENGKUNG PADA SISTEM ALIRAN *OVERSHOT*

## SKRIPSI

**KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan**
**memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**Disusun Oleh:**


**GEDE ARIF SURYA MARDANA**
**NIM. 0910620011 – 62**


**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN**
**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**
**FAKULTAS TEKNIK**
**MALANG**
**2014**


repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

# LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH LEBAR SUDU TERHADAP UNJUK KERJA KINCIR AIR TIPE SUDU LENGKUNG PADA SISTEM ALIRAN *OVERSHOT***

**SKRIPSI**
**KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik**

Disusun oleh:
**GEDE ARIF SURYA MARDANA**
**NIM. 0910620011 – 62**

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

| Dosen Pembimbing I | Dosen Pembimbing II |
|---|---|
| **Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko, M.Eng.,Sc.** | **Ir. Djoko Sutikno, M.Eng** |
| **NIP. 19490911 198403 1 001** | **NIP. 19541009 198303 1 002** |

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

**PENGARUH LEBAR SUDU TERHADAP UNJUK KERJA KINCIR AIR TIPE SUDU LENGKUNG PADA SISTEM ALIRAN *OVERSHOT***

# SKRIPSI

**KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

**GEDE ARIF SURYA MARDANA**
**NIM. 0910620011 – 62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 28 Januari 2014

**MAJELIS PENGUJI**

| Skripsi I | Skripsi II |
|---|---|
| **Dr.Ir. Achmad As'ad Sonief, MT.** | **Ir. Ari Wahjudi, MT.** |
| **NIP. 19591128 198710 1 001** | **NIP. 19680324 199412 1 001** |

**Skripsi III**

**Dr.Eng. Yudy Surya Irawan, ST.,M.Eng**
**NIP. 19750710 199903 1 004**

Mengetahui,
**Sekretaris Jurusan Teknik Mesin**

**Purnami, ST., MT.**
**NIP. 19720903 199702 1 001**

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

# KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Ida Sang Hyang Widhi Wasa, karena atas berkat rahmat-Nyalah penyusunan skripsi dengan judul ”Pengaruh Lebar Sudu Terhadap Unjuk Kerja Kincir Air Tipe Sudu Lengkung Pada Sistem Aliran *Overshot*” ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu guna memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan tak lepas dari bantuan, petunjuk dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Gede Arnawa dan Ibu Luh Negari, beserta keluarga atas doa dan dukungannya.
2. Bapak Dr.Eng Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya,
3. Bapak Purnami, ST., MT., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya,
4. Bapak Agung Sugeng Widodo, ST., MT., Ph.D selaku Ketua Kelompok Dasar Keahlian Teknik Konversi Energi.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko, M.Eng., Sc., selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan bimbingan, petunjuk dan saran dalam penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Ir. Djoko Sutikno, M.Eng., selaku Dosen Pembimbing II dan Dosen Wali yang telah banyak memberikan bimbingan, petunjuk dan saran dalam penyusunan skripsi ini.
7. Bapak Ponco M. Nurcahyo selaku Laboran Labolatorium Mesin-mesin Fluida dan teman-teman asisten Labolatorium Mesin-mesin Fluida yang telah banyak memberikan bimbingan, petunjuk dan saran dalam penyusunan skripsi ini.
8. Saudara M. Asad Abidin dan Hardiyanto Dwi S teman seperjuangan skripsi yang selalu membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.
9. Teman-teman Divisi Otomotif Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah memberikan motivasi dan saran-saran dalam penyusunan skripsi ini.



repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

10. Keluarga Besar Mahasiswa Mesin Universitas Brawijaya khususnya angkatan 2009 (Black Mamba) yang secara langsung maupun tidak langsung membantu penulis dalam menyelesaikan skipsi ini.
11. Serta semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini, yang tidak memungkinkan penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan skripsi ini masih sangat jauh dari sempurna, maka dari itu penulis sangat mengharapkan masukan, saran dan kritik dari berbagai pihak. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis pada khususnya dan juga bagi pembaca pada umumya.

Malang, Januari 2014

Penulis



repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

# DAFTAR ISI

Halaman

**KATA PENGANTAR** ..... i
**DAFTAR ISI** ..... iii
**DAFTAR GAMBAR** ..... v
**DAFTAR TABEL** ..... vii
**DAFTAR LAMPIRAN** ..... viii
**RINGKASAN** ..... ix

**BAB I PENDAHULUAN**
1.1 Latar Belakang ..... 1
1.2 Rumusan Masalah ..... 2
1.3 Batasan Masalah ..... 2
1.4 Tujuan Penelitian ..... 2
1.5 Manfaat Penelitian ..... 3

**BAB II TINJAUAN PUSTAKA**
2.1 Penelitian Sebelumnya ..... 4
2.2 Potensi Tenaga Air ..... 4
2.3 Mesin-Mesin Fluida ..... 6
2.4 Turbin Air ..... 6
2.4.1 Definisi Turbin Air ..... 6
2.4.2 Klasifikasi Turbin Air ..... 7
2.4.2.1 Turbin Impuls ..... 7
2.4.2.2 Turbin Reaksi ..... 8
2.4.3 Kincir Air ..... 11
2.5 Kinerja Kincir Air ..... 15
2.5.1 *Water Horse Power* (WHP) ..... 15
2.5.2 *Brake Horse Power* (BHP) ..... 15
2.5.3 Rasio U/Vs ..... 16
2.5.4 Efisiensi Kincir Air ..... 16
2.6 Hipotesis ..... 16



repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

**BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1 Metode Penelitian ..... 17
3.2 Variabel Penelitian ..... 17
3.3 Alat-Alat Penelitian ..... 17
3.4 Instalasi Penelitian ..... 23
3.5 Prosedur Penelitian ..... 24
3.6 Tempat Penelitian ..... 25
3.7 Rencana Pengambilan Data ..... 25
3.8 Diagram Alir Penelitian ..... 28

**BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

4.1 Hasil ..... 30
4.1.1 Data Hasil Pengujian ..... 30
4.1.2 Pengolahan Data ..... 31
4.2 Pembahasan ..... 35
4.2.1 Hubungan Antara Debit Aliran Air Terhadap Rasio U/Vs ..... 35
4.2.2 Hubungan Antara Debit Aliran Air Terhadap Daya Air (WHP) ..... 36
4.2.3 Hubungan Antara Debit Aliran Air Terhadap Daya Poros (BHP) ..... 38
4.2.4 Hubungan Antara Debit Aliran Air Terhadap Efisiensi Kincir Air ..... 40

**BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1. Kesimpulan ..... 42
5.2. Saran ..... 42

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**



repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

## DAFTAR GAMBAR


| No. | Judul | Halaman |
|---|---|---|
| Gambar 2.1 | Turbin Pelton | 7 |
| Gambar 2.2 | Turbin *Cross Flow* (Turbin Michael Banki) | 8 |
| Gambar 2.3 | Turbin Reaksi | 9 |
| Gambar 2.4 | Turbin Francis | 10 |
| Gambar 2.5 | Sketsa Turbin Francis | 10 |
| Gambar 2.6 | Turbin Air Kaplan | 11 |
| Gambar 2.7 | Kincir Air *Overshot* | 12 |
| Gambar 2.8 | Kincir Air *Undershot* | 13 |
| Gambar 2.9 | Kincir Air *Breastshot* | 14 |
| Gambar 2.10 | Kincir Air *Tub* | 14 |
| Gambar 3.1 | Pompa Sentrifugal | 18 |
| Gambar 3.2 | *Magnetic Flowmeter* | 19 |
| Gambar 3.3 | Saluran Terbuka | 19 |
| Gambar 3.4 | Aliran Air Jatuh pada Kincir Air Variasi Lebar Sudu 500 mm | 20 |
| Gambar 3.5 | Aliran Air Jatuh pada Kincir Air Variasi Lebar Sudu 400 mm | 20 |
| Gambar 3.6 | Aliran Air Jatuh pada Kincir Air Variasi Lebar Sudu 300 mm | 21 |
| Gambar 3.7 | Kincir Air Lebar Sudu 300 mm | 21 |
| Gambar 3.8 | Kincir Air Lebar Sudu 400 mm | 22 |
| Gambar 3.9 | Kincir Air Lebar Sudu 500 mm | 22 |
| Gambar 3.10 | Neraca Pegas | 22 |
| Gambar 3.11 | *Digital Tachometer* | 23 |
| Gambar 3.12 | Instalasi Penelitian | 23 |
| Gambar 3.13 | Diagram Alir Penelitian | 29 |
| Gambar 4.1 | Grafik Hubungan Antara Debit Aliran Air (Q) Terhadap Rasio U/Vs pada Variasi Lebar Sudu Kincir Air Sudu Lengkung *Overshot* | 35 |
| Gambar 4.2 | Grafik Hubungan Antara Debit Aliran Air (Q) Terhadap Daya Air (WHP) pada Variasi Lebar Sudu Kincir Air Sudu Lengkung *Overshot* | 36 |

| | | |
|---|---|---|
| Gambar 4.3 | Grafik Hubungan Antara Debit Aliran Air (Q) Terhadap Daya Poros (BHP) pada Variasi Lebar Sudu Kincir Air Sudu Lengkung *Overshot* | 38 |
| Gambar 4.4 | (a) Titik tangkap gaya pada kincir dengan lebar 400 mm<br>(b) Titik tangkap gaya pada kincir dengan lebar 500 mm | 39 |
| Gambar 4.5 | Grafik Hubungan Antara Debit Aliran Air (Q) Terhadap Efisiensi pada Variasi Lebar Sudu Kincir Air Sudu Lengkung *Overshot* | 40 |

# DAFTAR TABEL


| No. | Judul | Halaman |
|---|---|---|
| Tabel 3.1 | Rencana tabel hasil pengambilan data pengujian kecepatan kincir air tipe sudu lengkung dengan lebar sudu 300 mm | 25 |
| Tabel 3.2 | Rencana tabel hasil pengambilan data pengujian kecepatan kincir air tipe sudu lengkung dengan lebar sudu 400 mm | 25 |
| Tabel 3.3 | Rencana tabel hasil pengambilan data pengujian kecepatan kincir air tipe sudu lengkung dengan lebar sudu 500 mm | 26 |
| Tabel 3.4 | Rencana tabel pengolahan data hasil pengujian kincir air tipe sudu lengkung dengan lebar sudu 300 mm | 26 |
| Tabel 3.5 | Rencana tabel pengolahan data hasil pengujian kincir air tipe sudu lengkung dengan lebar sudu 400 mm | 27 |
| Tabel 3.6 | Rencana tabel pengolahan data hasil pengujian kincir air tipe sudu lengkung dengan lebar sudu 500 mm | 27 |
| Tabel 4.1 | Hasil pengambilan data pengujian kincir air sudu lengkung dengan lebar sudu 500 mm | 30 |
| Tabel 4.2 | Hasil pengambilan data pengujian kincir air sudu lengkung dengan lebar sudu 400 mm | 30 |
| Tabel 4.3 | Hasil pengambilan data pengujian kincir air sudu lengkung dengan lebar sudu 300 mm | 31 |
| Tabel 4.4 | Data hasil pengujian kincir air tipe sudu lengkung dengan lebar sudu 500 mm | 33 |
| Tabel 4.5 | Data hasil pengujian kincir air tipe sudu lengkung dengan lebar sudu 400 mm | 33 |
| Tabel 4.6 | Data hasil pengujian kincir air tipe sudu lengkung dengan lebar sudu 300 mm | 34 |




repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

# DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi penelitian

repository.ub.ac.id

# RINGKASAN

**Gede Arif Surya Mardana,** Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Desember 2013, Pengaruh Lebar Sudu Terhadap Unjuk Kerja Kincir Air Tipe Sudu Lengkung Pada Sistem Aliran *Overshot*. Dosen Pembimbing : Rudy Soenoko dan Djoko Sutikno

Semakin meningkatnya pertumbuhan manusia menyebabkan kebutuhan akan energi khususnya energi listrik semakin meningkat pula. Pada umumnya energi listrik bersumber dari bahan bakar fosil (batu bara, gas alam, solar, dan lain-lain) yang ketersediaannya semakin menipis, sehingga diperlukan suatu alternatif untuk menghasilkan energi listrik yaitu dengan memanfaatkan energi air melalui kincir air. Namun efisiensi kincir air yang masih rendah maka diperlukan penelitian lebih lanjut untuk dapat membuat kincir air dengan daya dan efisiensi yang lebih tinggi. Dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari lebar sudu pada kincir air sudu lengkung pada sistem aliran *overshot* terhadap unjuk kerja kincir air.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan metode eksperimental nyata (*true experiment research*) yang langsung digunakan ke obyek yang akan diuji. Pada penelitian ini menggunakan kincir air tipe sudu lengkung pada aliran *overshot*, dengan variabel bebas debit aliran air ( 2 $m^3$/jam, 4 $m^3$/jam, 6 $m^3$/jam, 8 $m^3$/jam, dan 10 $m^3$/jam) dan lebar sudu yang digunakan adalah 300 mm, 400 mm, dan 500 mm. Kincir terbuat dari pipa PVC dan akrilik dengan diameter kincir 200 mm, sudut kelengkungan $15^0$, tinggi sudu 70 mm, diameter poros kincir 12 mm dan jumlah sudu 5 buah.

Dari hasil penelitian didapat bahwa lebar sudu dan debit aliran air berpengaruh terhadap unjuk kerja kincir air. Dengan meningkatnya debit aliran air maka menyebabkan nilai dari daya air (*Water Horse Power*) dan daya poros (*Brake Horse Power*) mengalami peningkatan untuk semua variasi lebar sudu kincir air. Daya air tertinggi didapat pada variasi kincir air dengan lebar sudu 300 mm pada debit aliran air 10 $m^3$/jam yaitu sebesar 1,19 Watt. Daya poros tertinggi didapat pada variasi lebar sudu 400 mm dengan debit 10 $m^3$/jam sebesar 0,18 Watt. Sedangkan nilai efisiensi tertinggi didapat pada rasio kecepatan tangensial (U) terhadap kecepatan aliran air (Vs) sebesar 0,68. Efisiensi tertinggi sebesar 63,29% didapat pada variasi lebar sudu 400 mm dengan besar debit aliran air 2 $m^3$/jam. Hal ini disebabkan karena pada variasi lebar sudu 400 mm memiliki titik tangkap gaya yang lebih besar dibandingkan dengan lebar sudu kincir 300 mm dan 500 mm.

Kata Kunci : Kincir air sudu lengkung, *overshot,* lebar sudu, unjuk kerja.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

# BAB I
# PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Dapat kita lihat sekarang ini perkembangan sektor industri di Indonesia terlihat semakin maju dan berkembang, sehingga menyebabkan peningkatan dari penggunaan energi listrik. Dimana energi listrik yang digunakan berasal dari pembangkit yang mengandalkan bahan bakar fosil (batu bara, gas alam,dan lain-lain), panas bumi, dan yang sedang berkembang saat ini di negara maju dengan menggunakan nuklir.

Mengingat sumber energi yang berasal dari bahan bakar fosil, seperti batu bara, gas alam, bahan bakar cair dan lain-lain merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui (energi konvensional), makan di beberapa Negara maju dan berkembang berusaha untuk mencari alternatif sumber energi lain yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik. Salah satu alternatif yang digunakan adalah pemanfaatan energi non konvensional. Energi non konvensional merupakan energi yang tidak akan habis pada masa yang akan datang. Energi non konvensional juga relatif murah, efisien dan ramah lingkungan.

Berdasarkan pada uraian di atas, energi konvensional maupun energi non konvensional merupakan energi mekanik yang dirubah menjadi energi listrik, seperti: energi air, energi uap, energi angin dan sebagainya. Di negara berkembang seperti Negara Republik Indonesia sudah mengembangkan energi non konvensional untuk menghasilkan energi listrik, seperti Pusat Listrik Tenaga Air (PLTA). Salah satu contoh PLTA yang sering kita temui di daerah pegunungan yang banyak terdapat sumber mata air adalah dengan kincir air. Kincir air merupakan salah satu contoh pembangkit listrik tenaga air yang tergolong sederhana, mudah diaplikasi di daerah-daerah terpencil, perawatan yang mudah dan tidak menghasilkan limbah yang berbahaya.

Banyak penelitian dilakukan untuk mendapatkan efisiensi yang tinggi dari suatu kincir air. Salah satunya Syaiful Amri (2012) melakukan penelitian tentang kincir air tipe sudu datar dengan variasi lebar sudu (400 dan 500 mm) dan debit aliran air (10, 12, 14, 16,

18 dan 20 $m^3$/jam) dengan tinggi sudu sama 160 mm, jumlah sudu 4 buah. Dari hasil penelitian dapat diketahui bahwa variasi lebar sudu dan debit aliran air berpengaruh terhadap kinerja kincir air. Semakin tinggi debit aliran air pada putaran yang konstan didapat daya poros yang lebih besar dengan variasi lebar sudu 400 mm dibandingkan dengan lebar sudu 500 mm. Efisiensi lebih besar juga didapat dari semakin tinggi debit aliran air pada kincir dengan lebar sudu 400 mm dibandingkan lebar sudu 500 mm.

Masih banyak variasi yang dapat diteliti untuk menghasilkan efisiensi yang tinggi dari suatu jenis kincir air. Oleh karena itu untuk meningkatkan efisiensi dari kincir air maka dilakukan penelitian mengenai pengaruh lebar sudu terhadap unjuk kerja kincir air tipe sudu lengkung pada sistem aliran *overshot.*

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas dapat kita rumuskan suatu rumusan masalah, yaitu bagaimana pengaruh lebar sudu terhadap unjuk kerja kincir air tipe sudu lengkung pada sistem aliran *overshot*?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini antara lain:

1. Kondisi dianggap *steady state/ steady flow.*
2. Unjuj kerja kincir air meliputi daya poros, daya air, rasio U/Vs, dan efisiensi.
3. Jenis saluran yang digunakan adalah saluran terbuka.
4. Sistem aliran air yang digunakan adalah *overshot*.
5. Jumlah sudu yang digunakan adalah 5 buah.
6. Putatan kincir air yang digunakan adalah 30 rpm.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui unjuk kerja kincir air tipe sudu lengkung pada sistem aliran *overshot* dengan variasi lebar sudu.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Mendapatkan hasil analisa unjuk kerja kincir air tipe sudu lengkung pada sistem aliran *overshot* dengan variasi lebar sudu.
2. Sebagai bahan pertimbangan bagi kalangan umum bahwa unjuk kerja kincir air masih bisa ditingkatkan efisiensinya.
3. Sumbangan pemikiran bagi dunia pendidikan khususnya bidang teknik

repository.ub.ac
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

# BAB II
# TINJAUAN PUSTAKA

## 2.1 Penelitian Sebelumnya

Saiful Amri (2012), melakukan penelitian tentang pengaruh variasi lebar sudu pada kincir air tipe sudu datar dengan sistem aliran *overshot* di Laboratorium Mesin-Mesin Fluida Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Pada penelitiannya digunakan dua variasi lebar sudu pada kincir air *overshot* tipe sudu datar yang terbuat dari kayu, yaitu 400 mm dan 500 mm dengan tinggi sudu yang sama yaitu 160 mm, jumlah sudu yang digunakan berjumlah 4 buah yang terdiri dari satu roda. Debit air yang digunakan pada pengujian adalah 10 ( $m^3$/jam), 12 ($m^3$/jam), 14 ($m^3$/jam), 16 ($m^3$/jam), 18 ($m^3$/jam), 20 ($m^3$/jam).

Dari penelitiannya didapatkan efisiensi dari lebar sudu 400 mm pada debit 10 ($m^3$/jam) adalah 51,48 %, pada debit 12 ($m^3$/jam) adalah 65,79 %, pada debit 14 ($m^3$/jam) adalah 67,00 %, pada debit 16 ($m^3$/jam) adalah 69,43 %, pada debit 18 ($m^3$/jam) adalah 69,47 %, pada debit 20 ($m^3$/jam) adalah 70,03 %. Pada lebar sudu 500 mm dengan debit 10 ($m^3$/jam) adalah 39,07 %, pada debit 12 ($m^3$/jam) adalah 52,90 %, pada debit 14 ($m^3$/jam) adalah 57,60 %, pada debit 16 ($m^3$/jam) adalah 54,25 %, pada debit 18 ($m^3$/jam) adalah 58,60 %, pada debit 20 ($m^3$/jam) adalah 62,37 %, dari data tersebut dapat diketahui bahwa yang memiliki efisiensi tertinggi adalah pada lebar sudu 400 mm, dan efisiensi dipengaruhi oleh besarnya debit air, semakin tinggi debit air, maka efisiensi kincir air juga semakin tinggi pula.

## 2.2 Potensi Tenaga Air

Air adalah salah satu contoh sumber energi yang murah dan sangat mudah di dapatkan. Selain itu, dengan semakin menipisnya ketersediaan energi yang berasal dari bahan bakar fosil maka air menjadi energi alternatif yang dapat memenuhi kebutuhan manusia akan sumber energi.

Pada air tersimpan energi potensial (energi yang dimiliki air karena ketinggian atau elevasi) dan energi kinetik (energi yang dimiliki oleh air karena memiliki kecepatan, contohnya pada sumber air yang mengalir). Salah satu pemanfaatan energi air adalah untuk menghasilkan energi listrik. Energi listrik didapat dengan mengkonversi energi-energi yang tersimpan di dalam air dengan menggunakan kincir air atau turbin air sehingga menghasilkan energi mekanik berupa putaran poros pada kincir air ataupun turbin air. Energi mekanik ini kemudian dihubungkan menuju generator sehingga menghasilkan energi listrik.

Besarnya energi yang yang terdapat pada suatu sumber air bergantung pada besarnya *head* dan debit air. Secara umum *head* merupakan beda ketinggian antara muka air pada reservoir (bendungan) dengan muka air keluar kincir air atau turbin air. Total energi yang dimiliki suatu sumber karena letak ketinggiannya yaitu:

$$E = m.g.h$$

dengan:

E : Energi potensial (N.m)

m : Massa air (kg)

h : *Head* (m)

g : Percepatan gravitasi ($m/s^2$)

Daya merupakan energi tiap satuan waktu (E/t), sehingga persamaan di atas dapat kita ubah menjadi:

$$\frac{E}{t} = \frac{m}{t} g\ h$$

Dengan memsubstitusikan P terhadapa E/t dan ρQ terhadap m/t maka:

$$P = \rho.Q.g.h$$

dengan:

P : Daya potensial air (Watt)

Q : Debit aliran air ($m^3/s$)

ρ : Densitas air ($kg/m^3$)

Di samping energi yang tedapat dalam air karena letak ketinggian (potensial), terdapat pula energi yang bersumber karena sumber air tersebut memiliki kecepatan, dalam hal ini energi tersebut merupakan energi kinetik, dengan persamaan sebagai berikut:

$$E = \frac{1}{2} mv^2$$

dengan:

v : Kecepan aliran air (m/s)

Hubungan energi kinetik dengan daya yang dihasilkan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$P = \frac{1}{2} \rho Q v^2$$

Sesuai dengan persamaan kontinuitas Q = A.v maka:

$$P = \frac{1}{2} \rho (Av) v^2$$

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

dengan:

A : Luas penampang aliran air ($m^2$)

## 2.3 Mesin-Mesin Fluida

Mesin-mesin fluida merupakan mesin-mesin yang berfungsi untuk mengkonversi energi mekanis energi fluida kerja (energi potensial dan energi kinetik) atau sebaliknya mengkonversi energi yang terdapat pada fluida kerja (energi potensial dan energi kinetik) menjadi energi mekanis. Mesin-mesin fluida secara umum terdiri dsari dua kelompok utama, yaitu:

1. Mesin Kerja

Mesin kerja merupakan mesin fluida yang mengkonversi energi mekanis menjadi energi fluida, contohnya: pompa, kompresor, fan , blower, dan lain-lain.

2. Mesin Tenaga

Mesin tenaga merupakan mesin fluida yang mengkonversi energi pada fluida menjadi energi mekanis pada poros, misalnya: turbin air, kincir air,turbin uap, dan lain-lain.

## 2.4 Turbin Air

### 2.4.1 Definisi Turbin Air

Turbin air sudah mulai berkembang sekitar abad 19 dan umumnya digunakan untuk pembangkit tenaga listrik. Turbin air adalah salah satu mesin fluida yang berfungsi mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis pada poros turbin. Dimana energi

mekanis pada poros turbin akan dikonversi menjadi energi listrik dengan menggunakan generator listrik.

### 2.4.2 Klasifikasi Turbin Air

Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengkonversi energi potensial air menjadi energi mekanis pada poros turbin, turbin air dapat dibedakan menjadi 2 kelompok yaitu: turbin impuls dan turbin reaksi.

#### 2.4.2.1 Turbin Impuls

Turbin impuls merupakan turbin yang prinsip kerjanya mengubah energi potensial dari sumber air menjadi energi kinetik dengan menggunakan *nozzle*. Pada saat air melewati *nozzle* seluruh energi yang terdapat pada air yang mengalir diubah menjadi energi kinetik pada tekanan atmosfer sebelum fluida air menyentuh sudu-sudu turbin. Air yang keluar dari *nozzle* memiliki kecepatan yang tinggi akan menumbuk sudu turbin dan setelah itu arah kecepatan aliran air tersebut berubah sehingga terjadi perubahan momentum (Impuls) sehingga sudu turbin akan memutar poros turbin. Jenis turbin ini baik digunakan pada sumber air yang memiliki head yang tinggi dengan kapasitas air yang rendah.

Macam-macam turbin impuls antara lain sebagai berikut:

1. **Turbin Pelton**

   Turbin pelton terdiri dari satu set sudu jalan yang diputar oleh semburan air dengan kecepatan yang tinggi dari nosel. Turbin pelton cocok digunakan untuk head yang tinggi (>300 m) dengan aliran yang kecil.

Gamabar 2.1 Turbin Pelton.

Sumber: David Mateos Fernandez, 2012.

**2. Turbin *Cross Flow* (Turbin Michael Banki)**

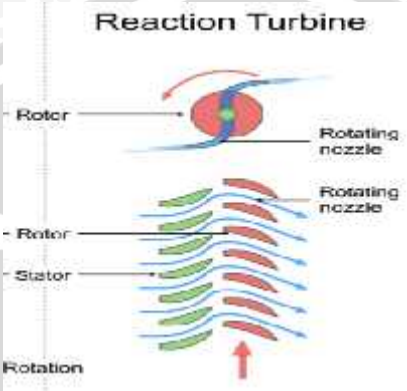
Adalah jenis turbin impuls yang bisa beroperasi pada head rendah. Kerja dari turbin ini adalah sebagai berikut, aliran air dilewatkan melalui suatu sudu jalan yang berbentuk silinder, kemudian aliran air dari dalam silinder dan air keluar silinder. Energi yang diperoleh 20% -nya dari tahap pertama. Air yang masuk sudu diarahkan oleh alat pengarah yang sekaligus berfungsi sebagai nozel. Seperti pada turbin pelton, prinsip perubahan energi adalah sama dengan turbin impuls pelton yaitu energi kinetik dan penggerak dikenakan pada sudu-sudu pada tekanan yang sama kemudian pada roda jalan, energi diubah menjadi energi mekanik pada putaran poros.

Gambar 2.2 Turbin *Cross Flow*.
Sumber: Asep Neris Bachtiar, 2009.

**2.4.2.2 Turbin Reaksi**

Sudu pada turbin reaksi mempunyai profil khusus yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan air selama melalui sudu. Perbedaan tekanan ini memberikan gaya pada sudu *runner* (sudu turbin yang berputar). Pada saat beroperasi sudu putar terendam di dalam air dan bertekanan. Turbin reaksi cocok untuk sumber air dengan laju aliran yang tinggi dan *head* yang rendah, dan sangat banyak digunakan sebagai pembangkit listrik di Indonesia.

*Runner* pada turbin reaksi dikelilingi selubung (rumah keong) yang di dalamnya terdapat fluida kerja air. Ciri khas dari turbin reaksi adalah adanya sudu pengarah yang berfungsi sebagai nosel untuk memberikan percepatan aliran dan mengarahkan aliran air kearah yang tepat saat air masuk ke dalam *runner*.

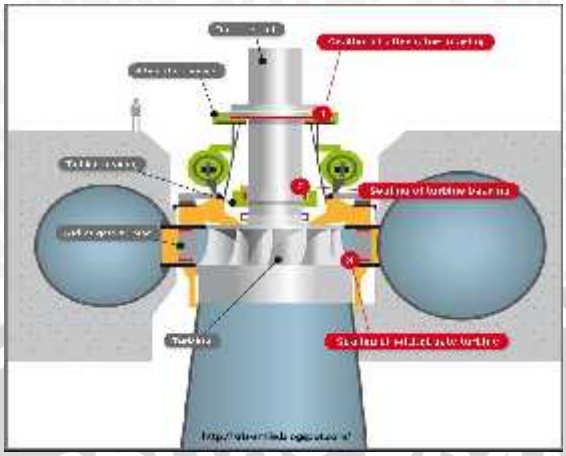



Gambar 2.3 Turbin Reaksi.
Sumber: Gunawan Aneva, 2010.

Jenis – jenis turbin reaksi antara lain:

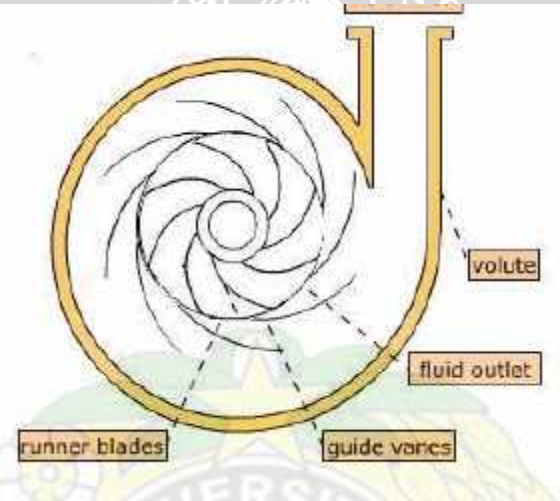
1. **Turbin Francis**

Turbin francis digunakan untuk berbagai keperluan dengan tinggi terjun menengah (*medium head*). Turbin francis memiliki 3 bagian utama yaitu *runner*, *guide vane*, dan rumah turbin (*casing*). *Runner* turbin dari poros dan sudu turbin. *Guide vane* serupa dengan sudu turbin yang berfungsi untuk mengarahkan aliran air. Turbin francis bekerja dengan memakai proses tekanan lebih saat air masuk ke roda jalan. Sebagian *head* yang ada pada sudu pengarah diubah sebagai kecepatan arus masuk jika energi *head* dimanfaatkan pada sudu jalan. Pada saat *runner* terdapat tekanan yang rendah (kurang dari 1 atm) dan kecepatan aliran yang tinggi dalam pipa akan berkurang. Turbin francis digunakan pada *head* menengah dan putaran operasinya tidak terlalu tinggi. Turbin francis dapat dioperasikan pada lebih dari 50% efisiensi terbaiknya. Di bawah 40% yang menyatakan efisiensi yang rendah menyebabkan operasinya tidak stabil dan kasar.



Gambar 2.4 Turbin Francis.

Sumber: Nanang Atlazt Alezana, 2013.

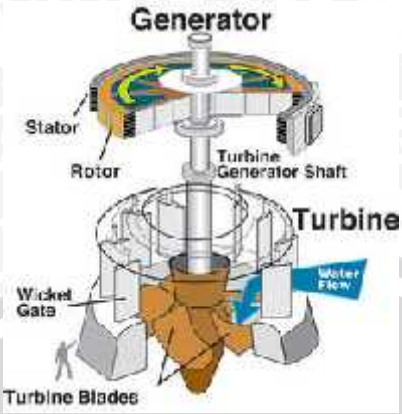



Gambar 2.5 Sketsa Turbin Francis.

Sumber: Wijaya Khisbulloh, 2011.

**2. Turbin Kaplan**

Turbin Kaplan dan Propeller merupakan turbin reaksi aliran aksial. Turbin ini tersusun dari propeller seperti pada perahu. Propeller tersebut biasanya mempunyai tiga hingga enam sudu.




Gambar 2.6 Turbin Air Kaplan.

Sumber: Soy Crenz, 2010.

### 2.4.3 Kincir Air

Kincir air adalah jenis turbin air yang sudah lama digunakan oleh masyarakat mengingat teknologinya yang sederhana. Material kayu dapat dipakai untuk membuat kincir air, tetapi untuk operasi kincir air pada tinggi jatuh air yang yang besar biasanya kincir air dibuat dari material logam seperti besi atau aluminium.

Kincir air merupakan sarana untuk merubah energi air (energi potensial dan energi kinetik) menjadi energi mekanik berupa torsi pada poros kincir. Kincir air merupakan salah satu jenis dari turbin impuls. Secara umum kincir air dikelompokkan menjadi beberapa tipe antara lain kincir air *overshot*, kincir air *undershot*, kincir air *breastshot*, dan kincir air *tub*.

1. **Kincir Air *Overshot***

   Kincir air *overshot* bekerja bila air yang mengalir jatuh ke bagian sisi sudu kincir bagian atas, dan karena gaya berat air yang mengenai sudu kincir sehingga roda kincir berputar. Tipe kincir air *overshot* merupakan jenis kincir air yang paling banyak digunakan dibandingkan dengan tipe kincir air yang lain.

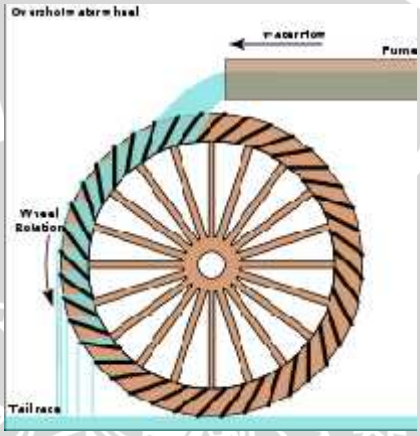
   Kincir air *overshot* memiliki beberapa keuntungan dan kerugian, antara lain:

   Keuntungan

   - Tingakat efisiensi yang tinggi, dapat mencapai 85%.
   - Tidak membutuhkan aliran yang deras.
   - Konstruksi yang sederhana dan mudah diterapkan di daerah yang terisolir.
   - Mudah dalam perawatan.

Kerugian

- Memerlukan reservoir air atau bendungan air karena memanfaatkan air jatuh sehingga memerlukan investasi atau biaya yang lebih banyak.
- Tidak dapat diterapkan untuk mesin putaran tinggi.
- Membutuhkan ruang yang lebih luas untuk penempatan.
- Daya yang dihasilkan relatif kecil.




Gambar 2.7 Kincir Air *Overshot*

Sumber: Pramitasri Pandega, 2011.

**2. Kincir Air *Undershot***

Kincir air *undershot* beroperasi bila air yang mengalir menghantam dinding sudu yang berada pada bagian bawah dari kincir air. Tipe kincir air ini cocok digunakan pada perairan dangkal dan daerah yang rata, sehingga kincir air jenis ini tidak mempunyai tambahan keuntungan dari *head*.

Adapun keuntungan dan kerugian dari penggunaan kincir air *undershot* adalah:

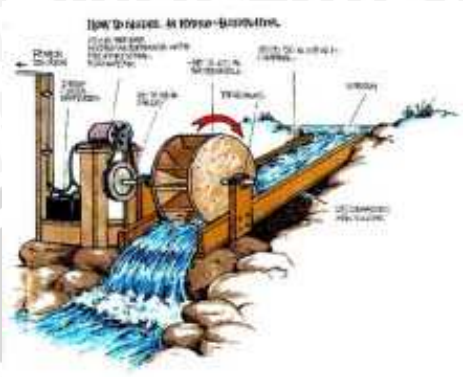
Keuntungan

- Konstruksi lebih sederhana.
- Lebih ekonomis.
- Mudah untuk dipindahkan.

Kerugian

- Efisiensi kecil.

- Daya yang dihasilkan relatif rendah.



Gambar 2.8 Kincir Air *Undershot*

Sumber: Pramitasri Pandega, 2011.

**3. Kincir Air *Breastshot***

Kincir air *breastshot* merupakan kincir air perpaduan antara kincir air tipe *overshot* dan tipe *undershot* yang dilihat dari energi yang diterima oleh kincir air. Kincir air jenis ini bertujuan untuk memperbaiki kinerja dari kincir air tipe *undershot.*

Adapun keuntungan dan kerugian dari kincir air *breastshot* adalah

Keuntungan

- Memiliki efisiensi yang lebih besar dari jenis *undershot.*
- Dibandingkan tipe *overshot* tinggi jatuh air lebih rendah.
- Dapat digunakan pada sumber air dengan aliran datar.

Kerugian

- Kincir air jenis ini memiliki sudu yang tidak rata seperti pada tipe *undershot* (lebih rumit).
- Diperlukan dam pada arus air aliran datar.
- Memiliki efisiensi yang lebih kecil dari tipe *overshot.*

Gambar 2.9 Kincir Air *Breastshot*

Sumber: Pramitasri Pandega, 2011.

**4. Kincir Air *Tub***

Kincir air *tub* imerupakan kincir air yang sudu-sudunya diletakkan secara horisontal dan pada posisi miring terhadap garis vertikal (poros). Karena arah gaya dari jatuhnya air menyamping maka energi yang diterima oleh kincir tipe *tub* adalah energi potensial dan energi kinetik.

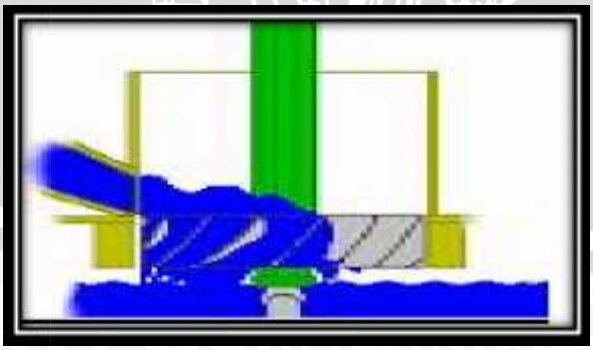
Keuntungan dan kerugian dari kincir air *tub* adalah:

Keuntungan

- Memiliki konstruksi yang lebih ringkas.
- Kecepatan putarnya lebih cepat.

Kerugian

- Tidak menghasilkan daya yang besar.
- Karena komponennya lebih kecil maka diperlukan ketelitian yang lebih teliti.



Gambar 2.10 Kincir Air *Tub*

Sumber : Pramitasri Pandega, 2011.

## 2.5 Kinerja Kincir Air

Pada pengujian kincir air parameter-parameter yang digunakan untuk dapat mengetahui kinerja kincir air tersebut antara lain: Rasio U/Vs, *Water Horse Power* (WHP), *Brake Horse Power* (BHP), dan Efisiensi kincir air.

### 2.5.1 *Water Horse Power* (WHP)

*Water Horse Power* adalah daya yang dimiliki oleh air dalam bentuk *velocity head* (*head turbine*) yang nantinya akan diubah menjadi energi mekanik pada poros kincir air.

$$WHP = \frac{1}{2} \times \rho \times Q \times Vs^2 \text{ (Watt)}$$

Atau

$$WHP = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times Vs^3 \text{ (Watt)}$$

dengan:

WHP : *Water Horse Power*/ Daya Air (Watt)

ρ : Massa Jenis Air (Kg/m$^3$)

A : Luas Penampang Saluran Terbuka (m$^2$)

Q : Debit Air pada Pompa (m$^3$/s)

Vs : Kecepatan Aliran Air (m/s)

### 2.5.2 *Brake Horse Power (BHP)*

*Brake Horse Power* (BHP) merupakan daya yang diterima oleh poros kincir air dari fluida yang melalui atau menumbuk sudu-sudu kincir air. *Brake Horse Power* dapat diukur dengan cara mengukur Torsi pada poros kincir air dengan rem prony.

$$BHP = T \times \omega = F \times l \times \omega \text{ (Watt)}$$

dengan:

BHP : *Brake Horse Power*/ Daya Poros (Watt)

T : Torsi (Nm)

ω : Kecepatan sudut ($\frac{2\pi n}{60}$) (rad/s).

F : Gaya Tangensial (N).

l : Lengan Torsi (m).

### 2.5.3 Rasio U/Vs

Rasio U/Vs adalah perbandingan antara kecepatan keliling atau kecepatan tangensial kincir air (U) terhadap kecepatan teoritis air (Vs).

$$U/Vs = \frac{\omega R}{Vs}$$

dengan:

U : Kecepatan keliling kincir air (m/s)

Vs : Kecepatan aliran air (m/s)

ω : Kecepatan sudut ($\frac{2\pi n}{60}$) (rad/s).

R : Radius kincir (m).

### 2.5.4 Efisiensi Kincir Air

Efisiensi kincir air merupakan perbandingan antara daya yang dihasilkan pada poros kincir (BHP) dengan daya yang diberikan oleh fluida air (WHP). Efisiensi kincir air ini menunjukkan kemampuan dari kincir air dalam mengubah energi yang dimiliki air dalam bentuk *velocity head* menjadi energi mekanik pada putaran poros kincir. Efisiensi kincir air dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\eta = \frac{\text{Brake Horse Power (BHP)}}{Water\ Horse\ Power\ (WHP)}\ (\%)$$

$$\eta = \frac{T \times \omega}{\frac{1}{2} \times \rho \times A \times Vs3}\ (\%)$$

### 2.6 Hipotesis

Untuk debit air yang sama, semakin kecil lebar sudu kincir air maka titik tangkap gaya pada susu-sudu kincir akan semakin besar sehingga Torsi meningkat yang akan berpengaruh terhadap daya poros dan efisiensi kincir air.

# BAB III
# METODE PENELITIAN

## 3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimental nyata (*true experimental research*) yang secara langsung digunakan ke obyek yang akan diteliti. Hasil dari penelitian tersebut berupa beberapa data yang akan dianalisis menjadi suatu obyek untuk dibandingkan.

## 3.2 Variabel Penelitian

Ada beberapa variabel yang akan digunakan pada saat penelitian, antara lain :

1. Variabel Bebas

   Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan dan tidak dipengaruhi variabel lain, variabel bebas pada penelitian ini antara lain variasi lebar sudu kincir air yaitu: 300 mm, 400 mm, 500 mm dan variasi debit air yaitu sebesar 2, 4, 6, 8, dan 10 $m^3$/jam.

2. Variabel Terikat

   Variabel terikat merupakan variabel yang besarnya tergantung pada variabel bebas, dan besarnya dapat diketahui setelah penelitian dilakukan. Variabel terikat dari penelitian ini antara lain :

   - Rasio Kecepatan tangensial (U) / Kecepatan aliran air (Vs)
   - Daya air (WHP) (Watt)
   - Daya poros (BHP) (Watt)
   - Efisiensi (%)

## 3.3 Alat-Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan pada saat penelitian adalah :

1. Pompa

   Pompa yang digunakan dalam penelitian ini adalah pompa sentrifugal yang digunakan untuk memompa fluida kerja dari bak penampung menuju saluran terbuka, seperti ditunjukkan pada gambar 3.1 Adapun spesifikasi pompa tersebut adalah sebagai berikut :

Merk : Ebara Pump P3002876

Hmax : 10 m

Qmax : 1.5 m³/ min

Power : 5 HP

Speed : 1800 rpm

Gambar 3.1 Pompa Sentrifugal

2. *Magnetic Flowmeter*

*Magnetic Flowmeter* merupakan alat untuk mengukur besar debit air pada instalasi seperti ditunjukkan pada gambar adapun spesifikasi *magnetic flowmeter* antara lain :

Model : AX 100 G

Suffix : - ELALSIS - BD21 – 01B - /EG

Style : S1

Size : 100 mm

Meter L : 0,7682

Faktor H : 0,7227

Fluid Press : 2 Mpa Max

Fluid Temp : -40 to 130° C

AMB. Temp : -40 to 60° C

Supply : 100 – 120 VDC = 12 W

Output : CUR 4 – 20 mA (0 - 750Ω)

PLS 30 VDC 0,2 A MAX

1 M3 / P

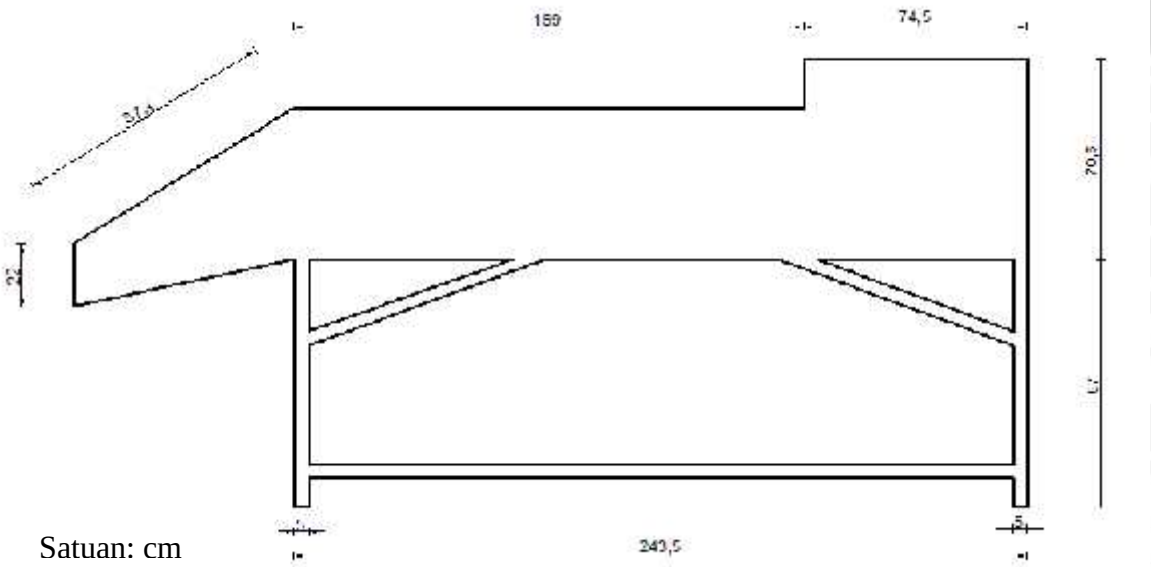
Tag No

No. : S5K904113035

Gambar 3.2 *Magnetic Flowmeter*

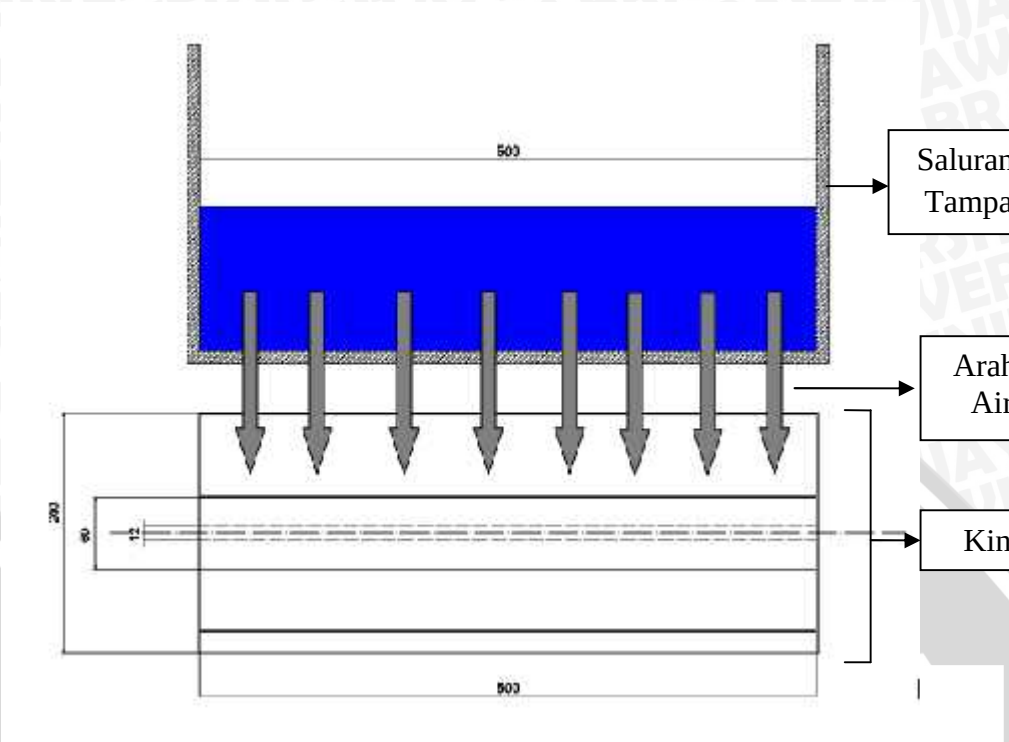
3. Saluran terbuka

Saluran ini digunakan sebagai tempat mengalirnya air dari bak penampungan air menuju kincir air selama penelitian berlangsung.

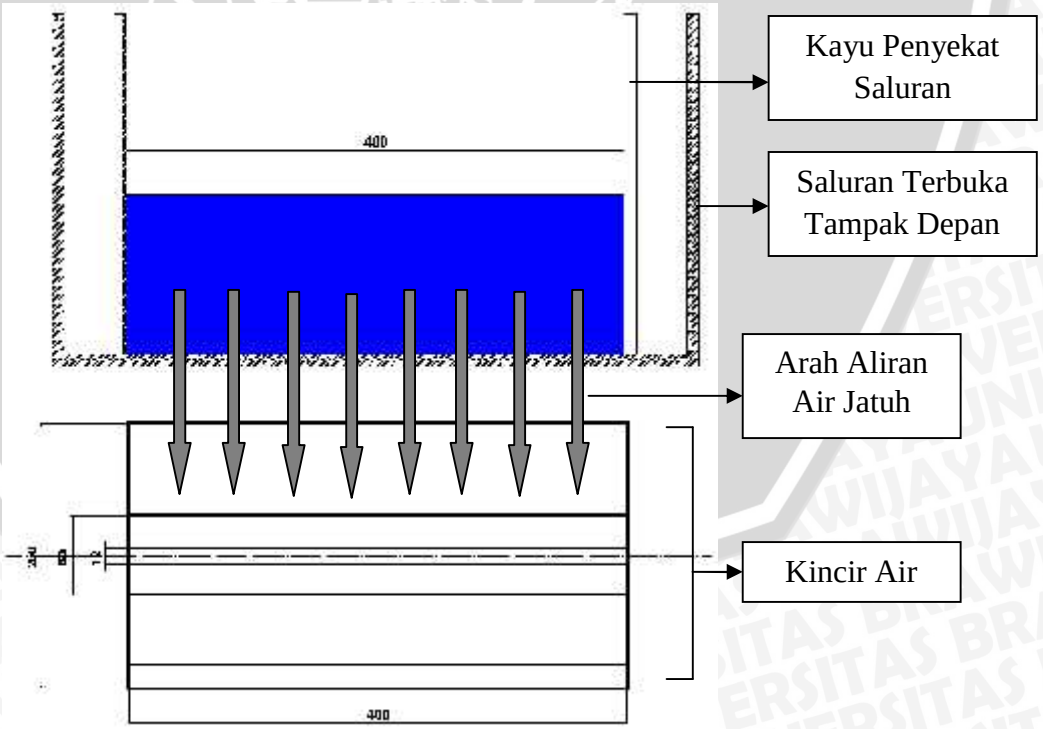



Satuan: cm

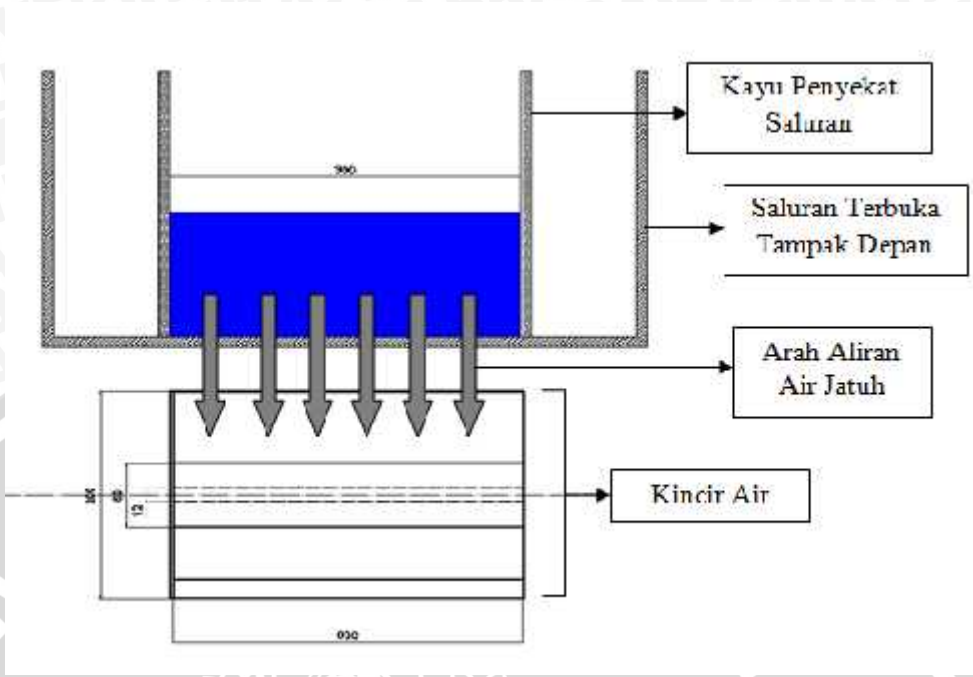
Gamar 3.3 Saluran Terbuka Tampak Samping




Gambar 3.4 Aliran air jatuh pada kincir air variasi lebar sudu 500 mm.



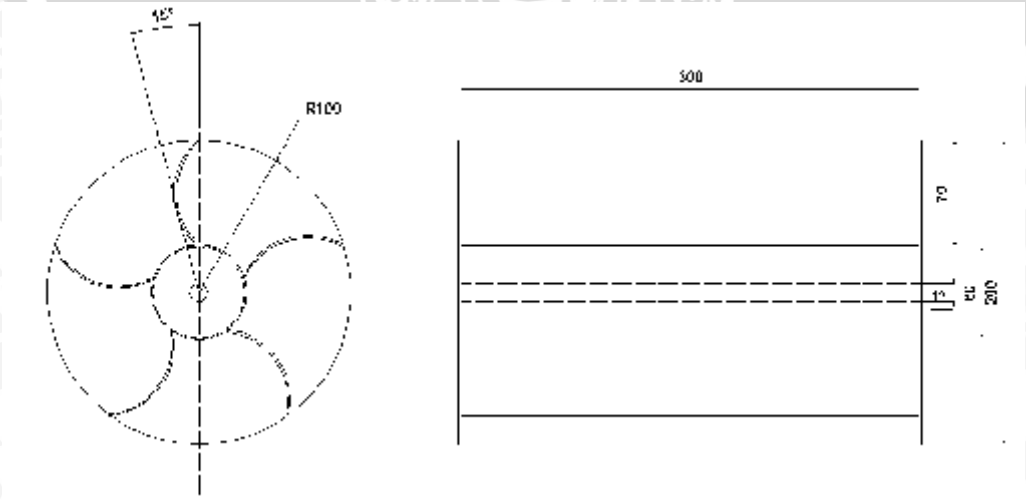

Gambar 3.5 Aliran air jatuh pada kincir air variasi lebar sudu 400 mm.



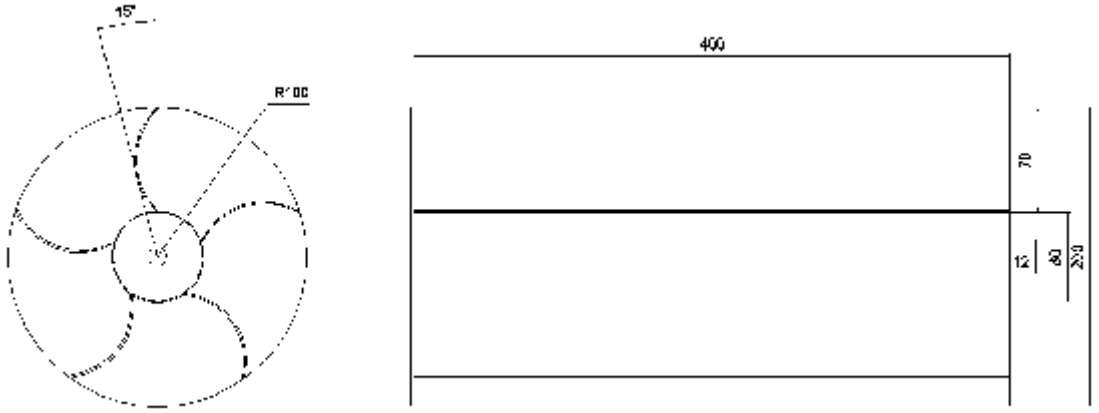

Gambar 3.6 Aliran air jatuh pada kincir air variasi lebar sudu 300 mm.

4. Kincir air

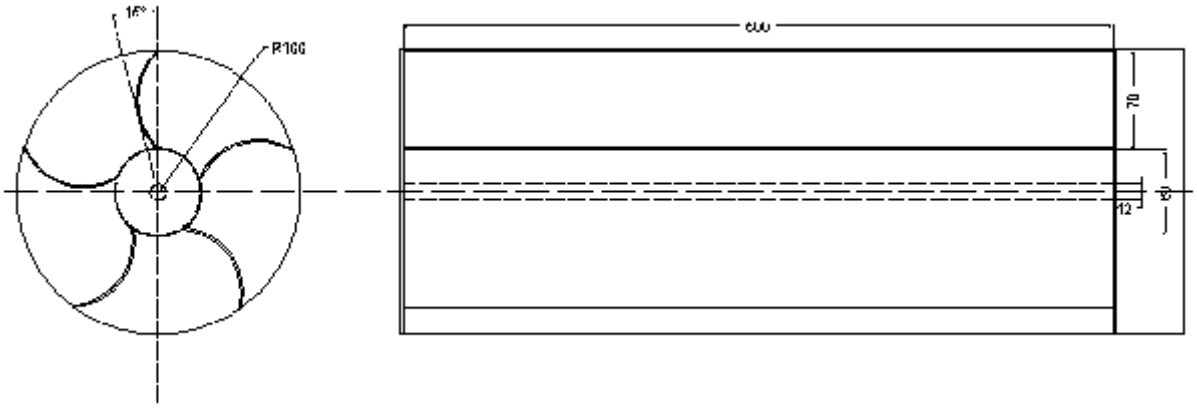
Kincir air yang digunakan adalah jenis kincir air tipe sudu lengkung dengan sudut kelengkungan 15°, tinggi sudu 70 mm, roda kincir terbuat dari bahan pipa PVC dengan tebal 2 mm dan diameter 200 mm, diameter poros kincir 12 mm, sistem aliran yang digunakan adalah *overshot*. Lebar sudu yang digunakan adalah 300 mm, 400 mm, dan 500 mm.




Gambar 3.7 Kincir air lebar sudu 300 mm




Gambar 3.8 Kincir air lebar sudu 400 mm




Gambar 3.9 Kincir air lebar sudu 500 mm

5. Neraca pegas

Alat ini digunakan untuk mengukur gaya yang ditimbulkan akibat putaran pada poros kincir air. Alat ini dihubungkan ke poros kincir air pada sebuah lengan dengan panjang tertentu. Dari besar gaya yang terukur pada neraca pegas, akan didapatkan nilai torsi dari poros kincir air, sehingga dapat diketahui daya porosnya.

Gambar 3.10 Neraca Pegas

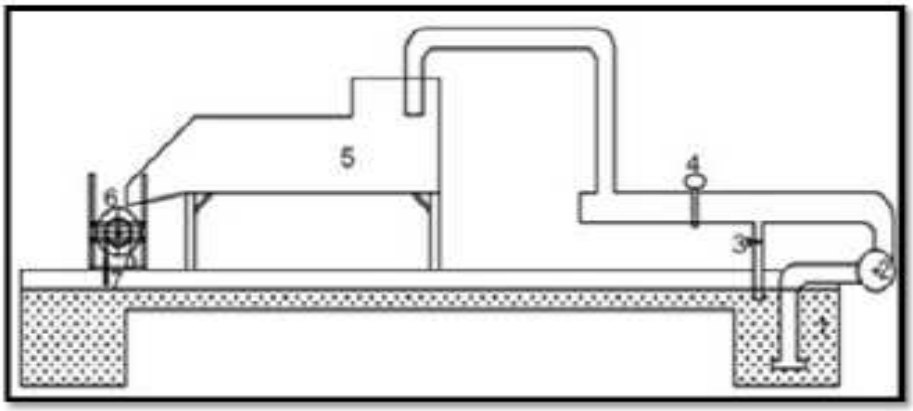
6. *Digital Tachometer*

Alat ini digunakan untuk mengukur besarnya putaran yang dihasilkan poros kincir air yang ditampilkan pada sebuah layar indikator digital, satuannya adalah rpm (*revolution per minutes*).

Gambar 3.11 *Digital Tachometer*

**3.4 Instalasi Penelitian**

Instalasi penelitian akan dijelaskan pada gambar




Gambar 3.12 Instalasi Penelitian

KETERANGAN :

1. Bak Penampung air
2. Pompa
3. Katup
4. *Magnetic Flowmeter*
5. Saluran terbuka
6. Kincir air
7. Neraca pegas

**3.5 Prosedur Penelitian**

Berikut ini adalah prosedur penelitian yang akan dilakukan yaitu:

1. Menyiapkan alat, bahan dan instalasi penelitian beserta alat bantu yang diperlukan.
2. Melakukan pengecekan kondisi alat ukur yang digunakan meliputi: *tachometer, magnetic flowmeter*, neraca pegas, dan lain-lain.
3. Memastikan kondisi dari instalasi penelitian dalam kondisi baik dan siap digunakan.
4. Menyiapkan kincir air dengan lebar sudu 300 mm.
5. Menyalakan pompa, kemudian membuka katup saluran pengalir secara perlahan sampai debit air konstan sebesar 2 $m^3$/jam.
6. Mencatat ketinggian air pada saluran.
7. Menunggu sampai poros putaran kincir air mencapai putaran maksimum tanpa memberikan pembebanan pada kincir air.
8. Mengatur putaran poros kincir air dari putaran maksimal agar menjadi konstan sebesar 30 rpm.
9. Mengambil data gaya pembebanan pada debit 2 $m^3$/jam dengan putaran poros kincir air 30 rpm.
10. Mengulangi langkah no. 5, 6, 7, 8, dan 9 untuk debit air 4, 6, 8, dan 10 $m^3$/jam.
11. Matikan pompa.
12. Mengulangi langkah no.4 sampai 11 untuk lebar sudu kinci air 400 mm, dan 500 mm.
13. Percobaan selesai.

### 3.6 Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Mesin-Mesin Fluida Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.

### 3.7 Rencana Pengambilan Data

Tabel 3.1 Hasil pengambilan data pengujian kecepatan kincir air tipe sudu lengkung dengan lebar sudu 300 mm .

| No | Q ($m^3$/jam) | Q ($m^3$/s) | h (cm) | h (m) | A ($m^2$) | Vs (m/s) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | $2,778 \times 10^{-3}$ | | | | |
| 2 | 4 | $3,333 \times 10^{-3}$ | | | | |
| 3 | 6 | $3,889 \times 10^{-3}$ | | | | |
| 4 | 8 | $4,444 \times 10^{-3}$ | | | | |
| 5 | 10 | $5 \times 10^{-3}$ | | | | |

Tabel 3.2 Hasil pengambilan data pengujian kecepatan kincir air tipe sudu lengkung dengan lebar sudu 400 mm.

| No | Q ($m^3$/jam) | Q ($m^3$/s) | h (cm) | h (m) | A ($m^2$) | Vs (m/s) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | $2,778 \times 10^{-3}$ | | | | |
| 2 | 4 | $3,333 \times 10^{-3}$ | | | | |
| 3 | 6 | $3,889 \times 10^{-3}$ | | | | |
| 4 | 8 | $4,444 \times 10^{-3}$ | | | | |
| 5 | 10 | $5 \times 10^{-3}$ | | | | |

Tabel 3.3 Hasil pengambilan data pengujian kecepatan kincir air tipe sudu lengkung dengan lebar sudu 500 mm.

| No | Q ($m^3$/jam) | Q ($m^3$/s) | h (cm) | h (m) | A ($m^2$) | Vs (m/s) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | $2,778 \times 10^{-3}$ | | | | |
| 2 | 4 | $3,333 \times 10^{-3}$ | | | | |
| 3 | 6 | $3,889 \times 10^{-3}$ | | | | |
| 4 | 8 | $4,444 \times 10^{-3}$ | | | | |
| 5 | 10 | $5 \times 10^{-3}$ | | | | |

Tabel 3.4 Pengolahan data hasil pengujian kincir air tipe sudu lengkung dengan lebar sudu 300 mm.

| No | Debit Aliran Air ($m^3$/jam) | Kecepatan Aliran Air (m/s) | Gaya Pengerem an (N) | Torsi (Nm) | Rasio U/Vs | Daya Air (Watt) | Daya Poros (Watt) | Efisiensi (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | | | | | | | |
| 2 | 4 | | | | | | | |
| 3 | 6 | | | | | | | |
| 4 | 8 | | | | | | | |
| 5 | 10 | | | | | | | |

Tabel 3.5 Pengolahan data hasil pengujian kincir air tipe sudu lengkung dengan lebar sudu 400 mm.

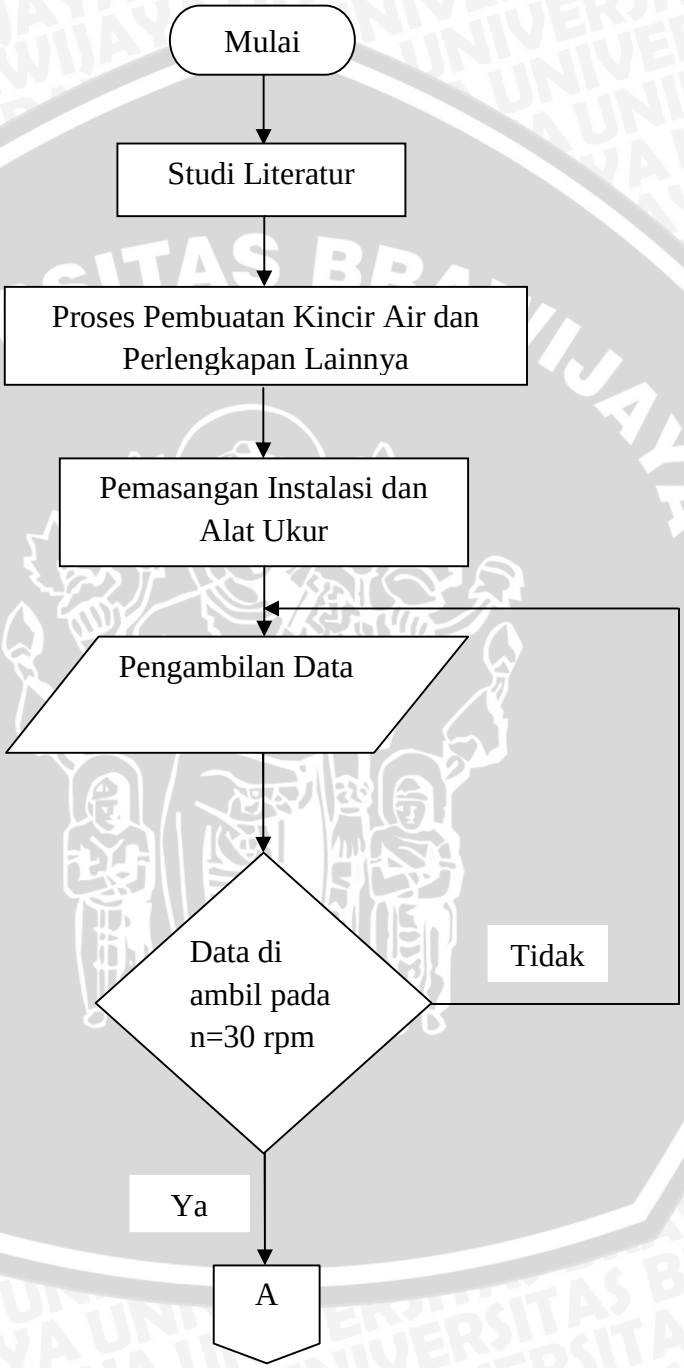
| No | Debit Aliran Air ($m^3$/jam) | Kecepatan Aliran Air (m/s) | Gaya Pengerem an (N) | Torsi (Nm) | Rasio U/Vs | Daya Air (Watt) | Daya Poros (Watt) | Efisiensi (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | | | | | | | |
| 2 | 4 | | | | | | | |
| 3 | 6 | | | | | | | |
| 4 | 8 | | | | | | | |
| 5 | 10 | | | | | | | |

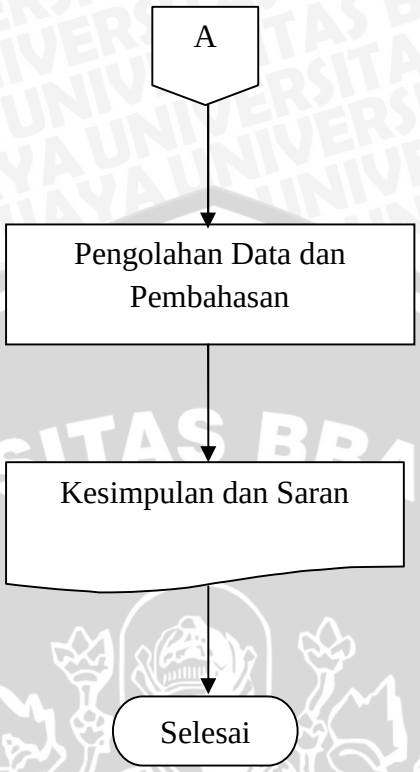
Tabel 3.6 Pengolahan data hasil pengujian kincir air tipe sudu lengkung dengan lebar sudu 500 mm.

| No | Debit Aliran Air ($m^3$/jam) | Kecepatan Aliran Air (m/s) | Gaya Pengerem an (N) | Torsi (Nm) | Rasio U/Vs | Daya Air (Watt) | Daya Poros (Watt) | Efisiensi (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | | | | | | | |
| 2 | 4 | | | | | | | |
| 3 | 6 | | | | | | | |
| 4 | 8 | | | | | | | |
| 5 | 10 | | | | | | | |

### 3.8 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian menunjukkan alur dari proses penelitian yang akan dilakukan, yang di tunjukkan gambar di bawah ini.






Gambar 3.13 Diagram Alir Penelitian

# BAB IV
# HASIL DAN PEMBAHASAN

## 4.1 Hasil

### 4.1.1 Data Hasil Pengujian

Di bawah ini adalah data hasil pengujian pengaruh lebar sudu terhadap unjuk kerja kincir air tipe sudu lengkung pada aliran *overshot* pada putaran 30 rpm.

Tabel 4.1 Hasil pengambilan data pengujian kincir air sudu lengkung dengan lebar sudu 500 mm.

| No | Q ($m^3$/Jam) | Q ($m^3$/s) | h (m) | Gaya Pengereman F (N) | A ($m^2$) | Vs (m/s) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 0,00056 | 0,0025 | 0,12 | 0,00125 | 0,44 |
| 2 | 4 | 0,00111 | 0,004 | 0,26 | 0,002 | 0,56 |
| 3 | 6 | 0,00167 | 0,005 | 0,39 | 0,0025 | 0,67 |
| 4 | 8 | 0,00222 | 0,006 | 0,6 | 0,003 | 0,74 |
| 5 | 10 | 0,00278 | 0,007 | 0,7 | 0,0035 | 0,79 |

Tabel 4.2 Hasil pengambilan data pengujian kincir air sudu lengkung dengan lebar sudu 400 mm.

| No | Q ($m^3$/Jam) | Q ($m^3$/s) | h (m) | Gaya Pengereman F (N) | A ($m^2$) | Vs (m/s) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 0,00056 | 0,003 | 0,16 | 0,0012 | 0,46 |
| 2 | 4 | 0,00111 | 0,005 | 0,31 | 0,002 | 0,56 |
| 3 | 6 | 0,00167 | 0,006 | 0,58 | 0,0024 | 0,69 |
| 4 | 8 | 0,00222 | 0,007 | 0,7 | 0,0028 | 0,79 |
| 5 | 10 | 0,00278 | 0,0085 | 0,75 | 0,0034 | 0,82 |



repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Tabel 4.3 Hasil pengambilan data pengujian kincir air sudu lengkung dengan lebar sudu 300 mm.

| No | Q ($m^3$/Jam) | Q ($m^3$/s) | h (m) | Gaya Pengereman F (N) | A ($m^2$) | Vs (m/s) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 0,00056 | 0,004 | 0,1 | 0,0012 | 0,46 |
| 2 | 4 | 0,00111 | 0,005 | 0,24 | 0,0015 | 0,74 |
| 3 | 6 | 0,00167 | 0,007 | 0,38 | 0,0021 | 0,79 |
| 4 | 8 | 0,00222 | 0,009 | 0,52 | 0,0027 | 0,82 |
| 5 | 10 | 0,00278 | 0,01 | 0,65 | 0,003 | 0,93 |

### 4.1.2 Pengolahan Data

Perhitungan data dilakukan untuk memperoleh nilai dari rasio U/Vs, daya air, daya poros, dan efisiensi dari kincir air tipe sudu lengkung pada sistem aliran *overshot* dengan variasi lebar sudu. Sebagai contoh perhitungan dari data hasil penelitian, diambil pada debit 2 $m^3$/jam dengan variasi lebar sudu lengkung 0,4 meter.

Berikut ini adalah data yang diperoleh pada saat pengujian antara lain:

- Debit aliran air (Q) : 2 $m^3$/jam = 0,00056 $m^3$/jam
- Ketinggian permukaan air (h) : 0,003 m
- Kecepatan putar kincir (n) : 30 rpm
- Gaya pengereman (F) : 0,16 N
- Lebar sudu kincir air : 400 mm
- Radius kincir (R) : 100 mm
- Lengan *pulley* (l) : 0,075 m
- Massa jenis air (ρ) : 1000 kg/$m^3$

Berikut ini adalah contoh perhitungannya:

1. Kecepatan aliran air (Vs)

$$Q = A \times Vs$$

$$Vs = \frac{Q}{A}$$

$$Vs = \frac{0{,}00056}{0{,}003 \times 0{,}4}$$

Vs = 0,46 [m/s]

2. Torsi (T)

T = F x l

T = 0,16 x 0,075

T = 0,012 [N.m]

3. Rasio U/Vs

$$\frac{U}{Vs} = \frac{\omega \times R}{Vs}$$

$$\frac{U}{Vs} = \frac{\frac{2\pi \times n}{60} \times R}{Vs}$$

$$\frac{U}{Vs} = \frac{\frac{2 \times 3,14 \times 30}{60} \times 0,1}{0,46} = 0,68$$

4. Daya air (*Water Horse Power*)

$WHP = ½ \times \rho \times A \times Vs^3$

$WHP = ½ \times 1000 \times (0,003 \times 0,4) \times (0,46)^3$

$WHP$ = 0,06 Watt

5. Daya poros (*Brake Horse Power*)

$BHP = T \times \omega$

$BHP = 0,012 \times \frac{2 \times 3,14 \times 30}{60}$

$BHP$ = 0,04 Watt

6. Efisiensi (η)

$\eta = \frac{BHP}{WHP} \times 100\ \%$

$\eta = \frac{0,03768}{0,05954} \times 100\ \% = 63,29\ \%$

Tabel 4.4 Data hasil pengujian kincir air tipe sudu lengkung dengan lebar sudu 500 mm.

| No | Debit Q ($m^3/s$) | Kecepatan Aliran Air Vs (m/s) | Gaya Pengereman F (N) | Torsi T (N.m) | Rasio U/Vs | Daya Air WHP (Watt) | Daya Poros BHP (Watt) | Efisiensi (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,000556 | 0,44 | 0,12 | 0,009 | 0,71 | 0,05 | 0,03 | 51,50 |
| 2 | 0,001111 | 0,56 | 0,26 | 0,0195 | 0,57 | 0,17 | 0,06 | 35,71 |
| 3 | 0,001667 | 0,67 | 0,39 | 0,0293 | 0,47 | 0,37 | 0,09 | 24,80 |
| 4 | 0,002222 | 0,74 | 0,6 | 0,0450 | 0,42 | 0,61 | 0,14 | 23,18 |
| 5 | 0,002778 | 0,79 | 0,7 | 0,0525 | 0,40 | 0,87 | 0,16 | 18,84 |

Tabel 4.5 Data hasil pengujian kincir air tipe sudu lengkung dengan lebar sudu 400 mm.

| No | Debit Q ($m^3/s$) | Kecepatan Aliran Air Vs (m/s) | Gaya Pengereman F (N) | Torsi T (N.m) | Rasio U/Vs | Daya Air WHP (Watt) | Daya Poros BHP (Watt) | Efisiensi (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,000556 | 0,46 | 0,16 | 0,0120 | 0,68 | 0,06 | 0,04 | 63,29 |
| 2 | 0,001111 | 0,56 | 0,313 | 0,0235 | 0,57 | 0,17 | 0,07 | 42,99 |
| 3 | 0,001667 | 0,69 | 0,58 | 0,0435 | 0,45 | 0,40 | 0,14 | 33,99 |
| 4 | 0,002222 | 0,79 | 0,7 | 0,0525 | 0,40 | 0,70 | 0,16 | 23,55 |
| 5 | 0,002778 | 0,82 | 0,75 | 0,0563 | 0,38 | 0,93 | 0,18 | 19,05 |

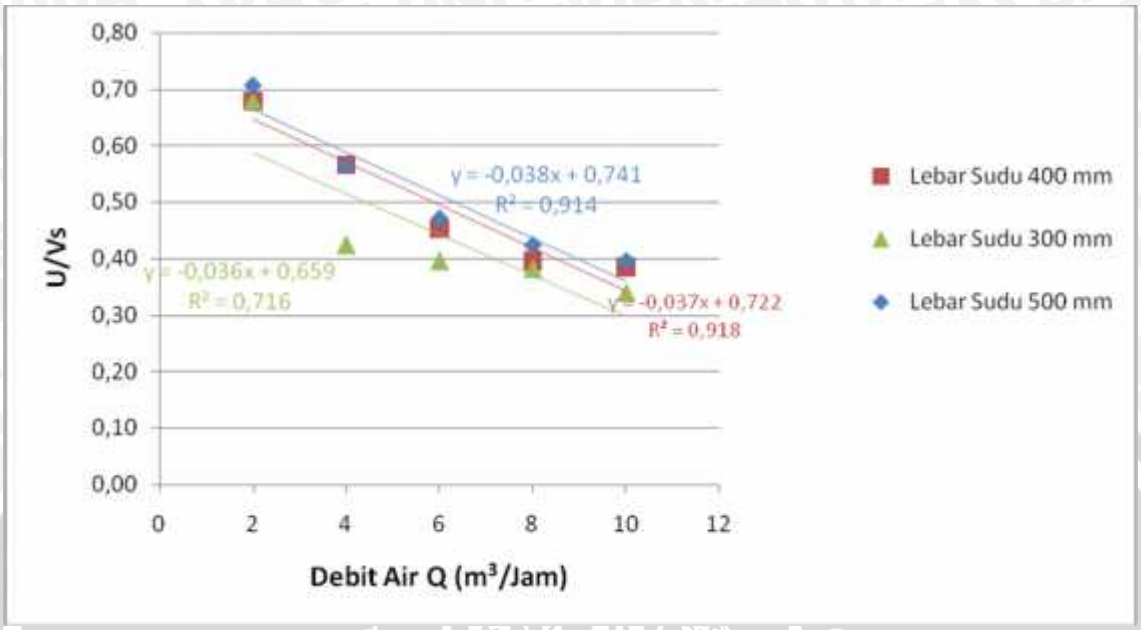
Tabel 4.6 Data hasil pengujian kincir air tipe sudu lengkung dengan lebar sudu 300 mm.

| No | Debit Q ($m^3/s$) | Kecepatan Aliran Air Vs (m/s) | Gaya Pengereman F (N) | Torsi T (N.m) | Rasio U/Vs | Daya Air WHP (Watt) | Daya Poros BHP (Watt) | Efisiensi (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,000556 | 0,46 | 0,1 | 0,0075 | 0,68 | 0,06 | 0,02 | 39,55 |
| 2 | 0,001111 | 0,74 | 0,24 | 0,0180 | 0,42 | 0,30 | 0,06 | 18,54 |
| 3 | 0,001667 | 0,79 | 0,38 | 0,0285 | 0,40 | 0,52 | 0,09 | 17,05 |
| 4 | 0,002222 | 0,82 | 0,52 | 0,0390 | 0,38 | 0,75 | 0,12 | 16,27 |
| 5 | 0,002778 | 0,93 | 0,65 | 0,0488 | 0,34 | 1,19 | 0,15 | 12,86 |

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

## 4.2. Pembahasan

### 4.2.1 Hubungan Antara Debit Aliran Air (Q) Terhadap Rasio U/Vs pada Variasi Lebar Sudu Kincir Air Sudu Lengkung *Overshot*




Gambar 4.1 Grafik Hubungan Antara Debit Aliran Air (Q) Terhadap Rasio U/Vs pada Variasi Lebar Sudu Kincir Air Sudu Lengkung *Overshot*

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa untuk lebar sudu yang sama, semakin meningkat debit maka nilai rasio kecepatan tangensial (U) / kecepatan aliran air (Vs) akan semakin menurun. Pada lebar sudu 500 mm didapat rasio kecepatan tangensial (U) / kecepatan aliran air (Vs) tertingi pada debit 2 $m^3$/jam sebesar 0,71 dan yang terendah pada debit 10 $m^3$/jam sebesar 0,40. Untuk lebar sudu 400 mm didapat rasio U/Vs tertinggi pada debit 2 $m^3$/jam sebesar 0,68 dan yang terendah pada debit 10 $m^3$/jam sebesar 0,38. Kemudian untuk lebar sudu 300 mm rasio kecepatan tangensial (U)/kecepatan aliran air (Vs) tertinggi pada debit 2 $m^3$/jam sebesar 0,68 dan yang terendah pada debit 10 $m^3$/jam sebesar 0,34. Rasio U/Vs merupakan perbandingan antara kecepatan tangensial kincir (U) dengan kecepatan aliran air (Vs). Pada grafik di atas dengan meningkatnya debit pada luas penampamg saluran yang tetap maka akan meningkatkan nilai dari Vs sesuai dengan persamaan berikut dimana:

$$Q = A \cdot Vs \qquad (1)$$

$$U/Vs = \omega . R / Vs \qquad (2)$$

dengan:

Q : Debit aliran air ($m^3/s$)

A : Luas penampang saluran ($m^2$)

Vs: Kecepatan aliran air (m/s)

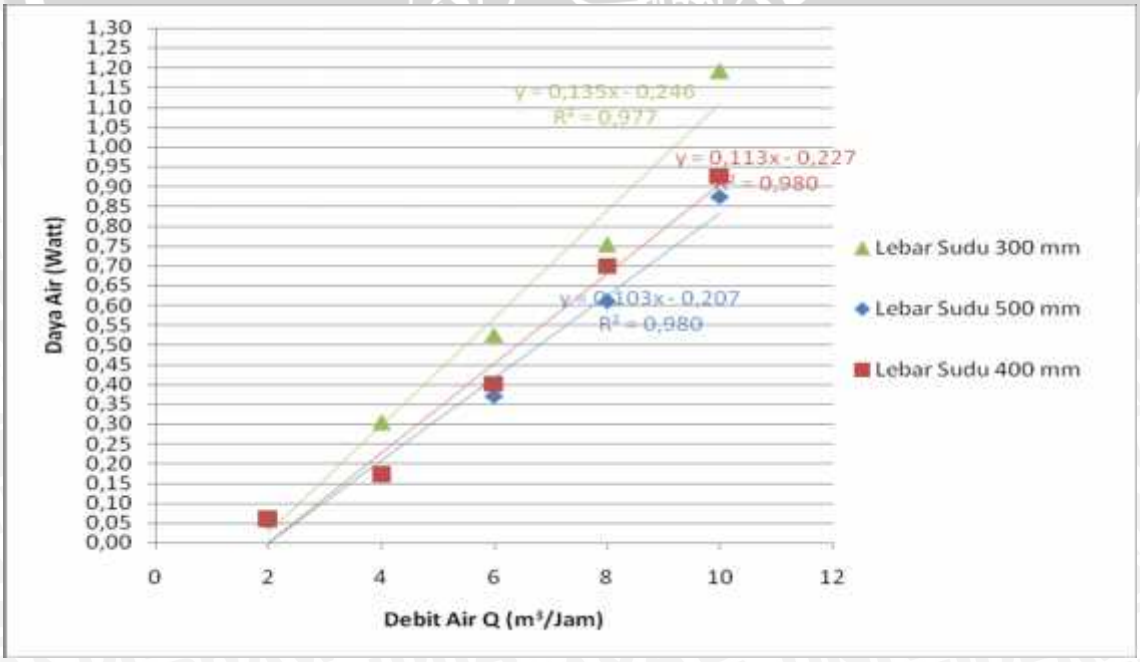
ω : Kecepatan sudut ($\frac{2\pi n}{60}$) (rad/s).

R : Radius Kincir (m)

Sehingga untuk nilai kecepatan tangaensial kincir yang konstan semakin meningkatnya debit maka nilai dari rasio U/Vs akan semakin menurun.

Dari grafik di atas juga terlihat bahwa nilai rasio U/Vs tertinggi diperoleh pada variasi lebar sudu 500 mm,berikutnya lebar sudu 400 mm, dan yang terendah pada lebar sudu 300 mm. Hal ini dikarenakan semakin lebar sudu kincir air pada debit yang sama akan diperoleh luas penampang aliran yang semakin besar, dan sesuai dengan persamaan (1) di atas maka didapat nilai kecepatan aliran air (Vs) yang semakin kecil, sehingga pada kecepatan tangensial yang dijaga konstan nilai rasio U/Vs akan semakin meningkat sesuai dengan persamaan (2).

### 4.2.2 Hubungan Antara Debit Aliran Air (Q) Terhadap Daya Air (WHP) pada Variasi Lebar Sudu Kincir Air Sudu Lengkung *Overshot*




Gambar 4.2 Grafik Hubungan Antara Debit Aliran Air (Q) Terhadap Daya Air (WHP) pada Variasi Lebar Sudu Kincir Air Sudu Lengkung *Overshot*

Dari gambar 4.2 terlihat bahwa pada lebar sudu yang sama, semakin meningkatnya debit makan nilai daya air (WHP) akan semakin meningkat pula. Dapat kita lihat pada lebar sudu 500 mm dengan debit 2 $m^3$/jam memiliki nilai daya air sebesar 0,05 Watt, debit 4 $m^3$/jam memiliki nilai daya air 0,17 Watt, debit 6 $m^3$/jam memiliki daya air 0,37 Watt, debit 8 $m^3$/jam memiliki daya air 0,61 Watt, dan debit 10 $m^3$/jam memiliki nilai daya air sebesar 0,87 Watt. Begitu juga pada lebar sudu 400 mm dan 300 mm memiliki nilai daya air yang semakin meningkat seiring meningkatnya nilai debit. Hal ini dikarenakan sesuai dengan persamaan:

$$Q = A \cdot Vs \qquad (1)$$

$$WHP = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times Vs^3 \qquad (3)$$

dengan:

Q : Debit aliran air ($m^3$/s)

A : Luas penampang saluran ($m^2$)

Vs : Kecepatan aliran air (m/s)

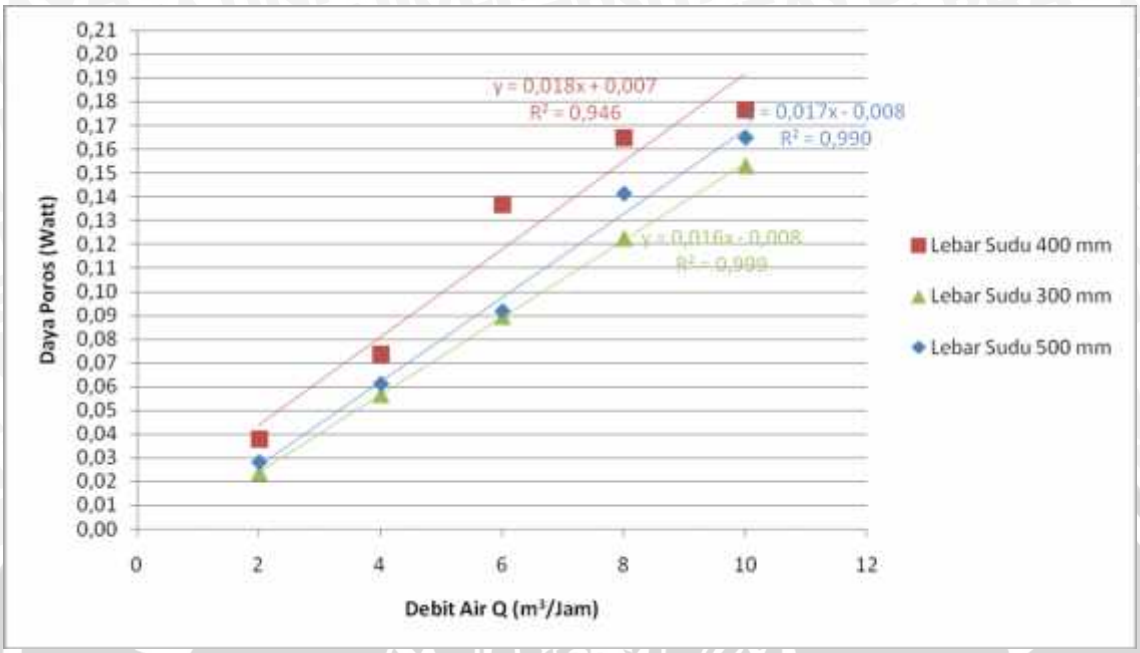
WHP : *Water Horse Power*/ Daya air (Watt)

ρ : Massa jenis air (1000 kg/$m^3$)

maka semakin bertambahnya debit aliran air pada lebar sudu yang sama maka nilai dari Vs (kecepatan aliran air) akan semakin meningkat sehingga mengakibatkan peningkatan nilai dari daya air (WHP).

Pada grafik di atas juga dapat kita lihat bahwa nilai daya air tertinggi di dapat pada lebar sudu 300 mm pada debit 10 $m^3$/jam sebesar 1,19 Watt, diikuti lebar sudu 400 mm pada debit 10 $m^3$/jam sebesar 0,93 Watt, dan yang terendah pada lebar sudu 500 mm dengan debit 10 $m^3$/jam sebesar 0,87 Watt. Hal ini terjadi karena pada lebar sudu 300 mm akan menghasilkan luas penampang saluran air yang lebih kecil dibandingkan dengan lebar sudu 400 mm, dan 500 mm, sehingga akan menghasilkan nilai Vs yang lebih besar. Dan berdasarkan persamaan (3) dengan meningkatnya nilai Vs maka nilai dari daya air (WHP) akan semakin meningkat pula.

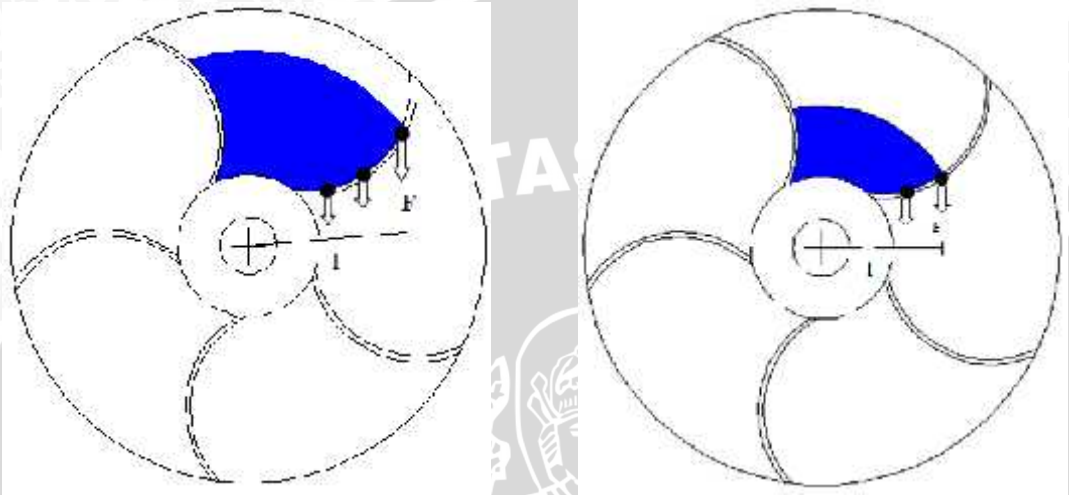
### 4.2.3 Hubungan Antara Debit Aliran Air (Q) Terhadap Daya Poros (BHP) pada Variasi Lebar Sudu Kincir Air Sudu Lengkung *Overshot*




Gambar 4.3 Grafik Hubungan Antara Debit Aliran Air (Q) Terhadap Daya Poros (BHP) pada Variasi Lebar Sudu Kincir Air Sudu Lengkung *Overshot*

Pada gambar 4.3 diatas menunjukkan grafik hubungan antara debit terhadap daya poros (BHP) pada variasi lebar sudu. Pada grafik terlihat bahwa semakin tinggi debit air maka daya poros kincir air juga semakin tinggi pada semua variasi, pada variasi lebar sudu 500 mm terlihat pada debit 2 m³/jam menghasilkan daya poros sebesar 0,03 Watt, pada debit 4 m³/jam menghasilkan daya poros sebesar 0,06 Watt, pada debit 6 m³/jam menghasilkan daya poros sebesar 0,09 Watt, pada debit 8 m³/jam menghasilkan daya poros 0,14 Watt, pada debit 10 m³/jam menghasilkan daya poros sebesar 0,16 Watt. Hal ini sesuai dengan teori bahwa semakin bertambahnya debit air akan meningkatkan kecepatan aliran air, peningkatan kecepatan air ini yang akan mendorong sudu kincir sehingga putaran kincir semakin meningkat seiring penambahan kecepatan. Meningkatnya putaran kincir ini akan mempengaruhi torsi pada poros kincir, hal ini dikarenakan pada putaran poros yang tinggi maka dibutuhkan gaya yang besar pula untuk mengerem poros agar mendapatkan putaran yang konstan sebesar 30 rpm, akibatnya gaya pengereman juga akan meningkat, dari peningkatan gaya pengereman maka daya poros (BHP) juga semakin meningkat.

Pada grafik di atas dapat kita lihat bahwa daya poros tertinggi didapat pada variasi lebar sudu kincir air 400 mm pada debit 10 $m^3$/jam sebesar 0,18 Watt. Hal ini disebabkan karena pada variasi lebar sudu 400 mm memiliki titik tangkap gaya yang lebih besar dan lengan gaya yang lebih besar dibandingkan dengan variasi lebar sudu 500 mm untuk debit aliran air yang sama. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar di bawah ini:




(a) (b)

Gambar 4.4 (a) Titik tangkap gaya pada kincir dengan lebar 400 mm; (b) Titik tangkap gaya pada kincir dengan lebar 500 mm

Dengan kondisi ini maka kincir air dengan lebar sudu 400 mm akan menghasilkan nilai torsi dan daya poros yang lebih besar dibandingkan dengan kincir air dengan lebar sudu 500 mm dan 300 mm, sesuai dengan persamaan berikut ini:

$$T = F \times l$$

$$BHP = T \times \omega$$

dengan:

T : Torsi (N.m)

F : Gaya pengereman (N)

l : Lengan torsi (0,075 m)

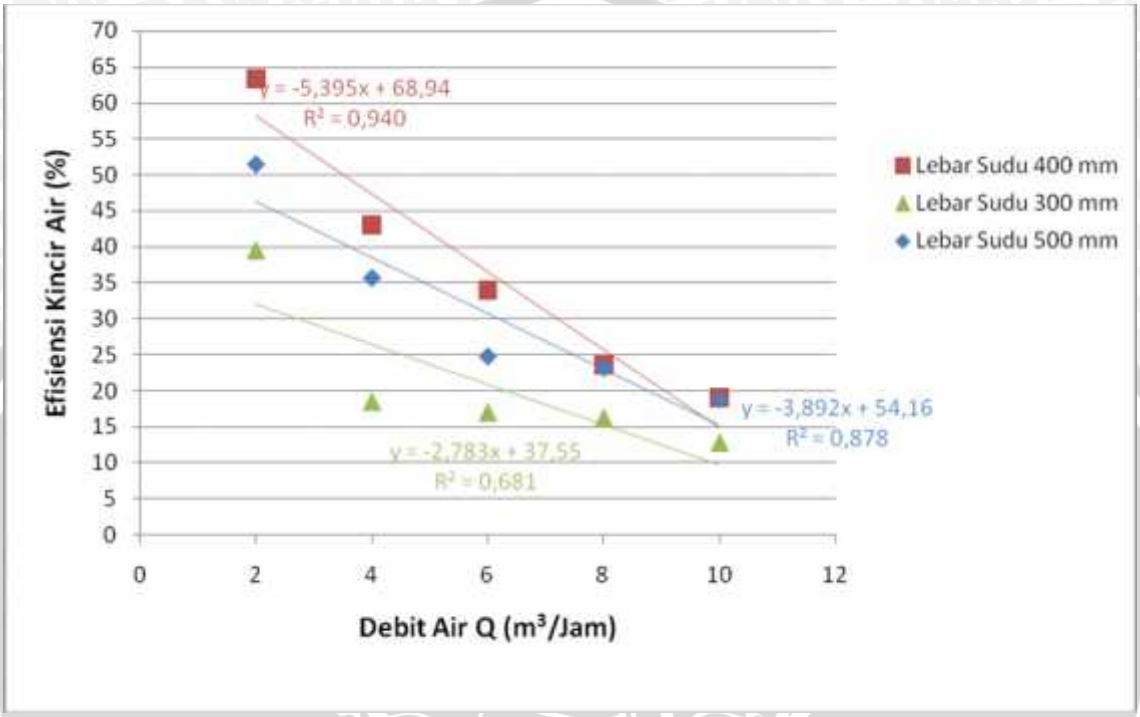
ω : Kecepatan sudut ($\frac{2\pi n}{60}$) (rad/s).

BHP : *Brake Horse Power*/ Daya poros (Watt).

Pada lebar sudu 300 mm memiliki nilai BHP yang terkecil dibandingkan variasi yang lainnya karena lorong sudu yang ada tidak mampu menampung semua massa air yang

menumbuk sudu, sehingga tidak semua energi air dikonversi menjadi energi mekanis berupa putaran pada poros kincir.

### 4.2.4 Hubungan Antara Debit Aliran Air (Q) Terhadap Efisiensi pada Variasi Lebar Sudu Kincir Air Sudu Lengkung *Overshot*




Gambar 4.5 Grafik Hubungan Antara Debit Aliran Air (Q) Terhadap Efisiensi pada Variasi Lebar Sudu Kincir Air Sudu Lengkung *Overshot*

Pada grafik hubungan antara debit aliran air terhadap efisiensi pada variasi lebar sudu terlihat bahwa kecenderungan grafik ketiga variasi tersebut menurun seiring meningkatnya debit aliran air. Efisiensi merupakan perbandingan antara daya poros (BHP) dengan daya air (WHP), yang dirumuskan pada persamaan dibawah ini:

$$\eta = \frac{\text{Brake Horse Power (BHP)}}{\text{Water Horse Power (WHP)}} \times 100\ (\%)$$

Penurunan nilai efisiensi seiring meningkatnya debit aliran air disebabkan karena kenaikan nilai daya poros (BHP) yang tidak sebanding dengan kenaikan nilai daya air (WHP).

Pada grafik di atas juga terlihat efisiensi tertinggi diperoleh pada variasi lebar sudu 400 mm dengan debit 2 $m^3$/jam sebesar 63,29 %. Kemudian diikuti lebar sudu 500

mm dengan debit 2 $m^3$/jam sebesar 51,50 % dan variasi lebar sudu 300 mm dengan debit $m^3$/jam sebesar 39,55 %. Hal ini dapat kita lihat dari Gambar 4.3 Grafik Hubungan Antara Debit Aliran Air (Q) Terhadap Daya Poros (BHP) pada Variasi Lebar Sudu Kincir Air Sudu Lengkung *Overshot*, dimana nilai BHP tertinggi diperoleh pada variasi lebar sudu 400 mm pada debit 2 $m^3$/jam sehingga mendapatkan nilai efisiensi tertinggi pula. Pada variasi lebar sudu 400 mm memiliki titik tangkap gaya yang lebih besar sehingga menghasilkan nilai torsi yang lebih besar dibandingkan variasi lebar sudu yang lain. Peningkatan dari torsi akan meningkatkan nilai dari daya poros atau BHP, sehingga efisiensi dari kincir akan meningkat.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

# BAB V
# KESIMPULAN DAN SARAN

## 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa lebar sudu kincir air dan debit aliran air berpengaruh terhadap unjuk kerja kincir air tipe sudu lengkung pada aliran *overshot*, dimana:

- Semakin meningkatnya debit aliran air maka rasio kecepatan tangensial (U)/kecepatan aliran air (Vs) akan mengalami penurunan untuk semua variasi lebar sudu.
- Semakin meningkatnya debit aliran air maka daya air (WHP) dan daya poros (BHP) akan meningkat pula untuk semua variasi lebar sudu. Nilai daya poros tertinggi diperoleh pada kincir air variasi lebar sudu 400 mm pada debit 10 $m^3$/jam sebesar 0,18 Watt.
- Semakin meningkatnya debit aliran air maka efisiensi kincir air semakin menurun untuk semua variasi lebar sudu. Efisiensi tertinggi diperoleh pada kincir air variasi lebar sudu 400 mm pada debit 2 $m^3$/jam sebesar 63,29 % dan efisiensi terkecil diperoleh pada kincir air variasi lebar sudu 300 mm pada debit 10 $m^3$/jam sebesar 12,86 %.

## 5.2 Saran

Untuk penelitian lebih lanjut mengenai kinerja kincir air, khususnya kincir air tipe sudu lengkung maka peneliti menyarankan untuk dilakukan penelitian tentang pengaruh beberapa sistem aliran air (*undershot, breasthot,* dan *tub*) terhadap kinerja kincir air tipe sudu lengkung.



repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

# DAFTAR PUSTAKA


Amri, Syaiful, 2012. *Analisa Kinerja Kincir Air Tipe Sudu Datar pada Sistem Aliran Overshot dengan Variasi Lebar Sudu*: Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.

Asep Neris Bachtiar, 2009. *Karakteristik Turbin Crossflow*. http://aseppadang.wordpress.com/2009/06/21/karakteristik-turbin-crossflow/ (Diakses tanggal 7 Februari 2014)

David Mateos Fernández, 2012. *Turbinas Hidráulicas Turbina Pelton*. http://www.atmosferis.com/turbinas-hidraulicas-turbina-pelton/ (Diakses tanggal 7 Februari 2014)

Dietzel, Frietz, 1996. *Turbin. Pompa dan Kompresor*. Jakarta: Erlangga.

Gunawan Aneva, 2010. *Turbin Uap (Pendahuluan)***.** http://gunawananeva.wordpress.com/2010/05/04/turbin-uap-pendahuluan/ (Diakses tanggal 7 Februari 2014)

Nanang Atlazt Alezana , 2013. *Turbin yang Digunakan di PLTA*. http://ciemonzter.blogspot.com/2013/02/turbin-di-plta.html (Diakses tanggal 7 Februari 2014)

Nur Cahyadi, Dhimas. 2012. *Pengaruh Variasi Tebal Sudu Terhadap Kinerja Kincir Air Tipe Sudu Datar*: Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.

Pramitasri Pandega, 2011. *Pemanfaatan Energi Air*. http://blog.umy.ac.id/pandega/2011/11/16/pemanfaatan-energy-air/ (Diakses tanggal 7 Februari 2014)

Sihombing, Edis Sudianto, 2009. *Pengujian Sudu Lengkung Prototipe Turbin Air Terapung Pada Aliran Sungai*. Skripsi: Teknik Mesin Universitas Sumatra Utara Medan.

Soy Crenz, 2010. *Turbin*. http://soycrenz.blogspot.com/2010_10_27_archive.html (Diakses tanggal 7 Februari 2014)

Wijaya Khisbulloh, 2011. *PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air) Part 1*. http://sistem-tenaga-listrik.blogspot.com/2011/05/plta-pembangkit-listrik-tenaga-air-part.html (Diakses tanggal 7 Februari 2014)

Zahri dkk, 2010. *Pengaruh Tinggi Sudu Kincir Air Terhadap Daya Dan Efisiensi Yang Dihasilkan*. Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM): Teknik Mesin Universitas Brawijaya.

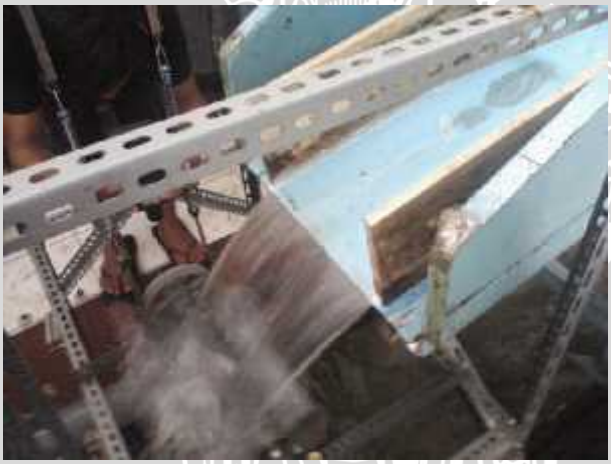

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

# LAMPIRAN

Lampiran 1

Foto Dokumentasi Pengujian Kincir Air



repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA