

**PENGARUH BESAR SUDUT KELENGKUNGAN SUDU
TERHADAP UNJUK KERJA KINCIR AIR TIPE SUDU
LENGKUNG *OVERSHOT***

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

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



Disusun Oleh :
MUHAMMAD AS'AD ABIDIN
NIM. 0910620081 – 62

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

LEMBAR PERSETUJUAN

PENGARUH BESAR SUDUT KELENGKUNGAN SUDU TERHADAP UNJUK KERJA KINCIR AIR TIPE SUDU LENGKUNG *OVERSHOT*

SKRIPSI KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :
MUHAMMAD AS'AD ABIDIN
NIM. 0910620081 – 62

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko, M.Eng.Sc.
NIP. 19490911 198403 1 001

Ir. Djoko Sutikno, M.Eng
NIP. 19541009 198303 1 002

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH BESAR SUDUT KELENGKUNGAN SUDU
TERHADAP UNJUK KERJA KINCIR AIR TIPE SUDU
LENGKUNG *OVERSHOT***

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

MUHAMMAD AS'AD ABIDIN
NIM. 0910620081 – 62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 3 Februari 2014

Penguji Skripsi I

Penguji Skripsi II

Prof. Ir. Sudjito, Ph.D.
NIP. 19470330 198002 1 001

Dr.Eng. Denny Widhiyanuriyawan, ST.,MT.
NIP. 19750113 200012 1 001

Penguji Skripsi III

Ir. Agustinus Ariseno, MT.
NIP. 19510822 198701 1 001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr.Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng.
NIP. 19740121 199903 1 001

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas penyertaan dan rahmatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul **“Pengaruh Besar Sudut Kelengkungan Sudu Terhadap Unjuk Kerja Kincir Air Tipe Sudu Lengkung Overshot”**, yang diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan akademik memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Kedua orang tua tercinta, Ibu Choirunnisa dan Ayah Su'ud Dimiyati.
2. Bapak Nurkholis Hamidi, ST., M.eng., Dr.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
3. Bapak Purnami, ST, MT. selaku Sekertaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang
4. Bapak Agung Sugeng Widodo, ST., MT., Ph.D selaku Ketua Kelompok Dasar Keahlian Konversi Energi.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko, M.Eng, Sc. selaku Pembimbing I serta Bapak Ir. Djoko Sutikno, M.Eng. selaku Pembimbing II yang telah banyak memberikan bimbingan, saran, motivasi, serta ilmunya dalam terselesaikannya skripsi ini.

Akhir kata, penulis mengharapkan skripsi ini dapat memberikan manfaat yang positif pada pembaca. Semoga dapat memunculkan ide-ide baru, semangat untuk mengembangkan energi alternatif, juga mengharapkan saran dan kritik yang membangun kedepannya.

Malang, 2014

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR LAMPIRAN	vi
RINGKASAN	vii
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.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Sebelumnya	4
2.2 Turbin Air	5
2.2.1 Definisi Turbin Air.....	5
2.2.2 Klasifikasi Turbin Air	6
2.3 Turbin impuls	6
2.3.1 Pengertian Turbin Impuls.....	6
2.3.2 Klasifikasi Turbin Impuls	7
2.4 Turbin Reaksi	9
2.4.1 Pengertian Turbin Reaksi.....	9
2.4.2 Klasifikasi Turbin reaksi	10
2.5 Kincir Air.....	12
2.5.1 Klasifikasi kincir Air.....	13
2.5.2 Parameter Persamaan Kincir Air.....	18
2.6 Unjuk Kerja Kincir Air.....	20
2.6.1 Rasio U/Vs.....	21
2.6.2 Debit Aliran Air.....	21

2.6.3 Breake Horse Power (BHP)	21
2.6.3 Water Horse Power (BHP).....	21
2.6.3 Efisiensi Kincir Air.....	22
2.7 Hipotesa	22

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian	23
3.2 Variabel Penelitian	23
3.3 Peralatan Penelitian	24
3.4 Instalasi Penelitian.....	29
3.5 Prosedur Penelitian.....	30
3.6 Tempat Penelitian	30
3.7 Diagram Alir Penelitian.....	31

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data dan Perhitungan Hasil Penelitian	32
4.1.1 Data Hasil Penelitian.....	32
4.1.2 Perhitungan Data Hasil Penelitian	34
4.2 Pembahasan Grafik.....	38
4.2.1 Hubungan Antara Debit Aliran Air Terhadap Daya Poros/ <i>Break</i> <i>Horse Power (BHP)</i>	38
4.2.2 Hubungan Antara Debit Aliran Air Terhadap Rasio U/Vs	39
4.2.4 Hubungan Antara Debit Aliran Air Terhadap Efisiensi.....	41

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan	44
5.2. Saran	44

DAFTAR PUSTAKA

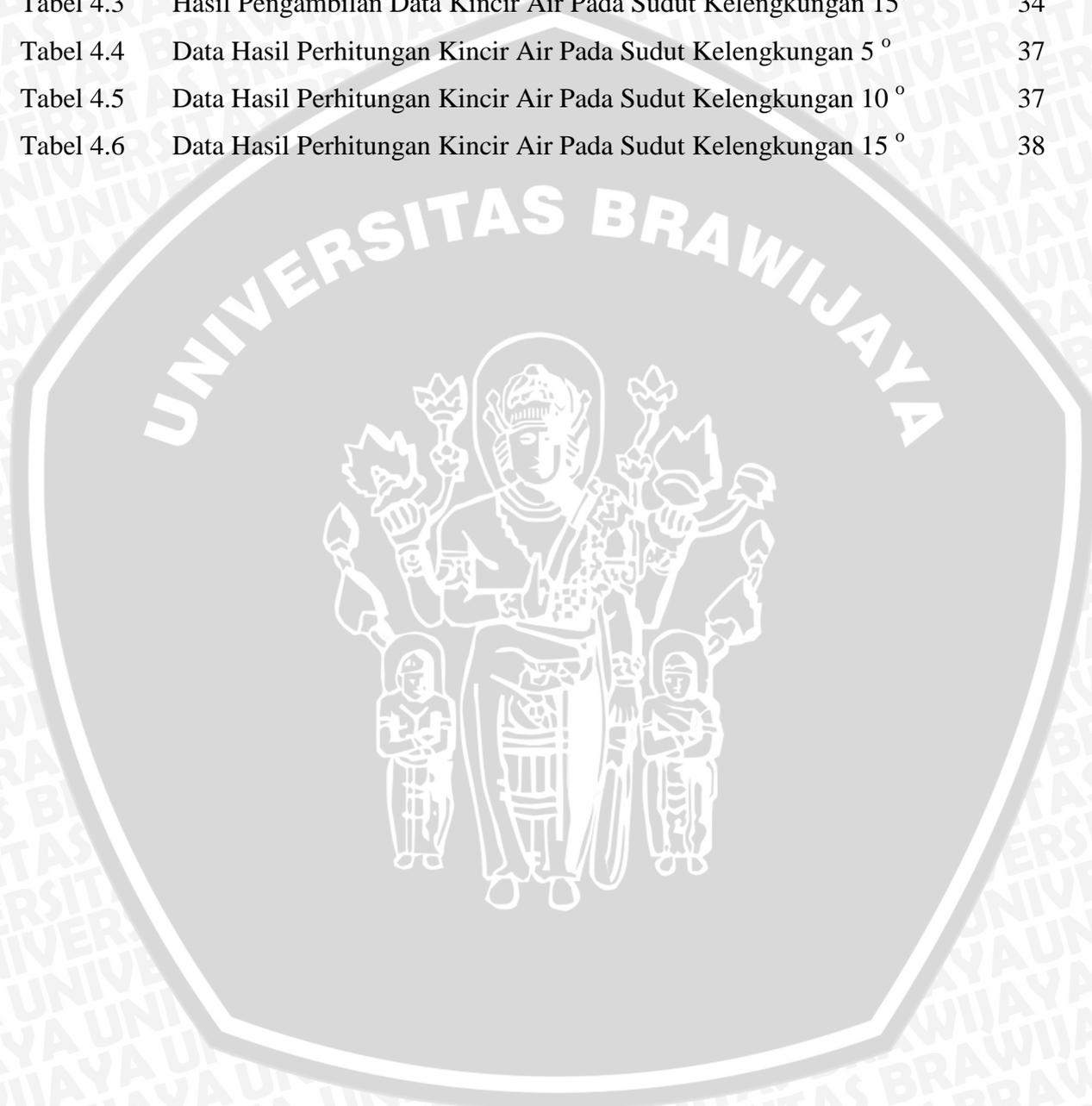
LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Turbin Impuls	6
Gambar 2.2	Turbin Air Pelton	7
Gambar 2.3	Turbin Air Turgo	8
Gambar 2.4	Turbin Michael Banki	8
Gambar 2.5	Turbin Reaksi	9
Gambar 2.6	Perbandingan karakteristik Turbin berdasarkan Q-H	10
Gambar 2.7	Turbin Air Kaplan	11
Gambar 2.8	Instalasi Turbin Propeller	11
Gambar 2.9	Turbin Francis	11
Gambar 2.10	Kincir Air <i>Overshot</i>	13
Gambar 2.11	Kincir Air <i>Undershot</i>	14
Gambar 2.12	Kincir Air <i>Breastshot</i>	15
Gambar 2.13	Kincir Air <i>Tub</i>	17
Gambar 2.14	Segitiga Kecepatan Yang Terpakai	20
Gambar 3.1	Pompa Sentrifugal	24
Gambar 3.2	<i>Magnetic Flowmeter</i>	25
Gambar 3.3	Saluran Terbuka	25
Gambar 3.4	Kincir air sudut kelengkungan 5° 2D	26
Gambar 3.5	Kincir Air sudut kelengkungan 10° 2D	26
Gambar 3.6	Kincir Air sudut kelengkungan 15° 2D	27
Gambar 3.7	Neraca Pegas	27
Gambar 3.8	<i>Digital Tachometer</i>	29
Gambar 3.9	Instalasi Penelitian	29
Gambar 3.10	Diagram Alir Penelitian	31
Gambar 4.1	Grafik Hubungan Debit Air Terhadap Daya Poros/ <i>Breake</i> <i>Horse Power (BHP)</i>	38
Gambar 4.2	Grafik Hubungan Debit Air Terhadap Rasio U/Vs	40
Gambar 4.3	Grafik Hubungan Debit Air terhadap Efisiensi	42

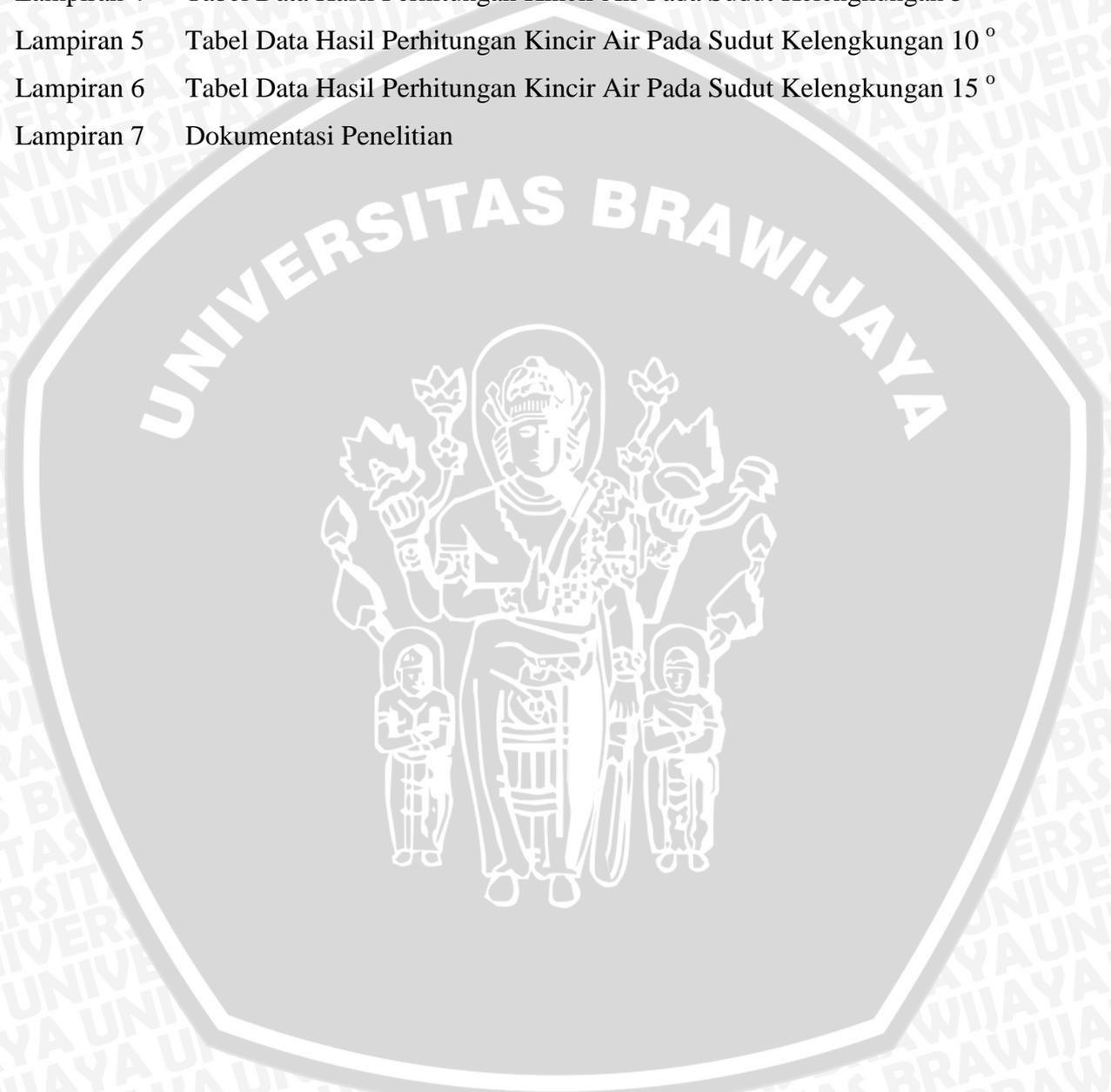
DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 4.1	Hasil Pengambilan Data Kincir Air Pada Sudut Kelengkungan 5°	32
Tabel 4.2	Hasil Pengambilan Data Kincir Air Pada Sudut Kelengkungan 10°	33
Tabel 4.3	Hasil Pengambilan Data Kincir Air Pada Sudut Kelengkungan 15°	34
Tabel 4.4	Data Hasil Perhitungan Kincir Air Pada Sudut Kelengkungan 5 °	37
Tabel 4.5	Data Hasil Perhitungan Kincir Air Pada Sudut Kelengkungan 10 °	37
Tabel 4.6	Data Hasil Perhitungan Kincir Air Pada Sudut Kelengkungan 15 °	38



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Tabel Hasil Pengambilan Data Kincir Air Pada Sudut Kelengkungan 5°
- Lampiran 2 Tabel Hasil Pengambilan Data Kincir Air Pada Sudut Kelengkungan 10°
- Lampiran 3 Tabel Hasil Pengambilan Data Kincir Air Pada Sudut Kelengkungan 15°
- Lampiran 4 Tabel Data Hasil Perhitungan Kincir Air Pada Sudut Kelengkungan 5 °
- Lampiran 5 Tabel Data Hasil Perhitungan Kincir Air Pada Sudut Kelengkungan 10 °
- Lampiran 6 Tabel Data Hasil Perhitungan Kincir Air Pada Sudut Kelengkungan 15 °
- Lampiran 7 Dokumentasi Penelitian



RINGKASAN

Muhammad As'ad Abidin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2014, *Pengaruh besar Sudut Kelengkungan terhadap Unjuk Kerja Kincir Air Tipe Sudu Lengkung Overshot*, Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir.Rudy Soenoko, M.Eng.Sc., dan Ir. Djoko Sutikno, M.Eng.

Saat ini kebutuhan energi didunia semakin meningkat oleh karena itu dibutuhkan suatu Energi alternatif yang digunakan untuk menggantikan energi tak terbarukan yang banyak digunakan saat ini yaitu dengan memanfaatkan potensi energi pada kincir air, Kincir air merupakan salah satu bentuk mesin konversi energi yang cocok digunakan untuk aliran air dengan debit yang tidak terlalu tinggi seperti yang ada di sungai-sungai di daerah pedalaman yang membutuhkan aliran listrik skala kecil. Dengan memanfaatkan kincir air tersebut maka energi potensial yang terkandung pada air akan dirubah menjadi energi mekanik berupa putaran poros pada kincir sehingga aliran listrik dapat dihasilkan. Ketergantungan yang berlebihan terhadap sumber energi tak terbarukan akan menimbulkan beberapa masalah yang harus dihadapi misalnya saja ketersediaan bahan bakar tersebut semakin hari semakin berkurang hingga suatu saat akan habis dan tidak dapat diperbaharui lagi.

Air merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui, sebagian besar wilayah indonesia merupakan air dan banyak sungai-sungai kecil didaerah pedalaman yang belum dimaksimalkan fungsinya. Oleh karena itu perlu adanya sebuah penelitian yang mendukung tentang masalah tersebut. Masalah pemenuhan kebutuhan akan energi di indonesia harus bisa lepas dari energi tak terbarukan seperti batu bara dan minyak bumi agar masalah listrik dapat diselesaikan dengan baik. Dengan membangun pembangkit listrik tenaga air skala mikrohidro secara tidak langsung akan membantu dalam pemenuhan kebutuhan energi listrik di Indonesia. Terlebih Untuk kebutuhan listrik skala kecil, khususnya di daerah-daerah pedalaman, kincir air masih merupakan alternatif solusi yang bisa diaplikasikan karena bentuknya yang sederhana dan perawatannya yang mudah.

Penelitian tentang kincir telah banyak dilakukan diantaranya meneliti mengenai lebar sudu pada kincir yang mempengaruhi kinerja kincir air, Juga penelitian mengenai sistem aliran fluida yang mempengaruhi kinerja kincir air tersebut hingga tinggi sudu pada kincir yang mempengaruhi kinerja kincir air tipe sudu datar *overshot*, sehingga dirasa perlu untuk lebih banyak melakukan penelitian pada kincir air mengenai pengaruh besar sudut kelengkungan sudu kincir pada aliran *overshot*. Pada penelitian kali ini akan melakukan penelitian dengan mengamati pengaruh variasi besar sudut kelengkungan sudu terhadap kinerja kincir air dimana besar sudut yang digunakan ialah 5° , 10° , dan 15° . Dari teori yang disajikan maka pada kesempatan kali ini akan diteliti beberapa variabel seperti daya poros, daya air, rasio U/Vs dan juga Efisiensi. dengan menggunakan bentuk sudu lengkung dan sistem aliran *overshot*. Dari pengujian tersebut didapatkan daya poros tertinggi sebesar 0,20 Watt pada sudut kelengkungan sudu sebesar 15° dengan debit air sebesar $10 \text{ m}^3/\text{jam}$, daya air tertinggi sebesar 1,27 Watt pada sudut 5° pada debit $10 \text{ m}^3/\text{jam}$. Dari hasil tersebut diperoleh efisiensi tertinggi pada sudut 15° pada debit $2 \text{ m}^3/\text{jam}$ sebesar 29,66 %.

Kata kunci : sudut kelengkungan,kincir air, unjuk kerja, sudu lengkung, *overshot*

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semakin berkembangnya zaman kebutuhan energi tiap tahun kian meningkat seiring dengan kemajuan teknologi dan sumber daya manusia, baik untuk kepentingan rumah tangga atau industri. Ketergantungan yang berlebihan terhadap sumber energi tak terbarukan akan menimbulkan beberapa masalah yang harus dihadapi misalnya: ketersediaan bahan bakar tersebut semakin hari semakin berkurang hingga suatu saat akan habis dan tidak dapat diperbaharui lagi. Apabila pemanfaatan energi air ini secara baik dimanfaatkan maka akan banyak memberdayakan banyak masyarakat pula di Indonesia. Di Indonesia, energi air telah dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik melalui PLTA (Pusat Listrik Tenaga Air) yang saat ini telah banyak dikembangkan.

Masalah pemenuhan kebutuhan akan energi listrik pun dapat diselesaikan dengan membangun sebuah instalasi Pusat Listrik Tenaga Air (PLTA) dan salah satu jenis Pusat Listrik Tenaga Air adalah kincir air. Untuk kebutuhan listrik skala kecil, khususnya di daerah-daerah pedalaman, kincir air masih merupakan alternatif solusi yang bisa diaplikasikan karena bentuknya yang sederhana dan perawatannya yang mudah. PLTA (Pusat Listrik Tenaga Air) merupakan pembangkit listrik yang menghasilkan listrik dengan cara mengkonversi energi listrik menjadi mekanik pada poros turbin kemudian menjadi listrik pada generator.

Penelitian tentang kincir dan turbin impuls lainnya telah banyak dilakukan diantaranya lebar sudu turbin mempengaruhi kinerja kincir air tipe sudu datar *overshot*, dan sistem aliran fluida mempengaruhi kinerja kincir air, tinggi sudu mempengaruhi kinerja kincir air tipe sudu datar *overshot*, tebal sudu mempengaruhi kinerja kincir air tipe sudu datar *overshot*. Kincir air yang sudah banyak digunakan adalah kincir air dengan tipe sudu datar, sedangkan bentuk sudu yang lain, seperti bentuk mangkuk atau lengkung banyak digunakan pada turbin air impuls jenis Pelton. Selama ini kincir air masih mempunyai efisiensi yang lebih kecil jika

dibandingkan dengan turbin-turbin air yang lain, padahal instalasi kincir air lebih mudah untuk dibuat jika dibandingkan dengan turbin air jenis lain. Oleh karena itu untuk meningkatkan efisiensinya maka dilakukan penelitian tentang pengaruh variasi besar sudut kelengkungan terhadap kinerja kincir air tipe sudu lengkung *overshot*. Sehingga diharapkan setelah dilakukannya variasi tersebut akan terjadi peningkatan efisiensi dari sebelumnya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas dapat dirumuskan sebuah permasalahan, yaitu bagaimana kinerja kincir air tipe sudu lengkung pada sistem aliran *overshot* dengan variasi besar sudut kelengkungan.

1.3 Batasan masalah

Batasan masalah pada penelitian ini meliputi :

1. Kondisi dianggap *steady state / steady flow*.
2. Kinerja yang diteliti meliputi Rasio U/Vs, daya dan efisiensi kincir air.
3. Jenis saluran yang digunakan adalah saluran terbuka.
4. Sistem aliran yang digunakan adalah *overshot*.
5. Putaran kincir air yang digunakan adalah 30 rpm.
6. Letak jatuhnya air tegak lurus dengan sumbu poros kincir air.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja kincir air tipe sudu lengkung pada sistem aliran *overshot* dengan variasi besar sudut kelengkungan.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut :

- Sebagai bahan pertimbangan bagi kalangan umum bahwa kinerja kincir air masih bisa ditingkatkan efisiensinya.
- Sumbangan pemikiran bagi dunia pendidikan khususnya bidang teknik.
- Mendapatkan hasil analisis kinerja kincir air tipe sudu lengkung pada sistem aliran *overshot* dengan variasi besar sudut kelengkungan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Amri (2012), melakukan penelitian tentang pengaruh variasi lebar sudu pada kincir air tipe sudu datar dengan sistem aliran *overshot*. Pada penelitiannya digunakan dua variasi lebar sudu pada kincir air *overshot* tipe sudu datar yang terbuat dari kayu, yaitu 0,4 m dan 0,5 m dengan tinggi sudu yang sama yaitu 0,16 m, 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). Pada penelitian kali ini peneliti ingin meneliti perbedaan unjuk kerja pada kincir pada variasi lebar sudu yang berbeda dari data tersebut dapat diketahui bahwa lebar sudu pada kincir mempengaruhi kinerja dari kincir air, semakin bertambahnya debit air maka rasio U/Vs akan semakin kecil baik untuk variasi lebar sudu pendek maupun panjang dan semakin besar debit air pada putarn konstan dengan lebar sudu pendek mempunyai daya poros dibandingkan dengan lebar sudu panjang. Pada penelitian kali ini yang memiliki efisiensi tertinggi adalah pada lebar sudu 0,4 m, dan efisiensi dipengaruhi oleh besarnya debit air, semakin tinggi debit air, maka efisiensi kincir air juga semakin tinggi pula.

Sihombing (2009), melakukan penelitian tentang bentuk sudu lengkung yang digunakan pada kincir air terapung, dengan spesifikasi dimensi lebar sudu 19 cm, panjang sudu 49 cm, bahan sudu dibuat dari plat ST-37 dengan tebal 2 mm, jumlah sudu yang digunakan adalah 12 buah dengan posisi sudut kelengkungan 30° terhadap sumbu poros turbin dengan variasi pembebanan lampu dari arus listrik yang dihasilkan alternator kincir air tersebut, variasi pembebanannya yaitu tanpa menggunakan lampu, menggunakan 1 lampu (25 Watt), menggunakan 2 lampu (50 Watt), menggunakan 3 lampu (75 Watt), menggunakan 4 lampu (100 Watt). Peneliti membandingkan banyaknya pembebanan lampu terhadap daya listrik yang dihasilkan alternator, hasilnya adalah jika tanpa menggunakan pembebanan lampu daya yang dihasilkan alternator 125,97 Watt, jika 1 lampu daya yang dihasilkan alternator 101,92 Watt, jika 2 lampu daya yang dihasilkan alternator 75,92 Watt, jika 3 lampu daya yang dihasilkan alternator 50,92 Watt, jika 4 lampu daya yang dihasilkan alternator 26,85 Watt.

Zulfikar (2012) melakukan penelitian tentang perancangan PLTMH tipe kincir air. Pada penelitian kali ini peneliti merancang sebuah kincir air dengan membuat Perencanaan saluran air. Dalam hal ini meliputi saluran pembawa, saluran penghantar dan saluran pembuang yang akan dibangun untuk membawa debit kemudian diteruskan menuju ke kincir air, namun jika terjadi kelebihan debit dapat dibuang oleh saluran pembuang. Dimensi saluran air adalah suatu bentuk penampang saluran yang dapat diuraikan berdasarkan geometri penampang dan kedalaman aliran. Pada perencanaan perbaikan saluran air akan menggunakan bentuk penampang persegi.

Berdasarkan hasil perencanaan yang disesuaikan dengan kondisi di lapangan yaitu dengan debit 0,0686 m³/detik yang mana pengukurannya dengan menggunakan alat current meter dan ketinggian 5,2 meter yang mana pengukuran menggunakan roll meter maka desain bangunan air meliputi saluran bagi dengan bentuk persegi dan 1 pintu sorong di saluran penghantar dengan lebar 0,50 meter serta tinggi 1,50 meter. Untuk kincir air yang digunakan adalah kincir air jenis over-shot dengan D1 sebesar 2,6 m, D2 sebesar 1,8 m dan L sebesar 0,8 m. Pemilihan transmisi mekanik dengan menggunakan kombinasi gardan mobil dan truk serta pulley dengan rasio 16,2. Sehingga daya listrik yang dihasilkan sesuai dengan hasil desain adalah sebesar 1,1417 kW untuk 49 rumah.

2.2 Turbin Air

2.2.1 Definisi Turbin Air

Turbin air adalah mesin konversi energi yang mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik pada poros turbin. Bagian yang berputar disebut runner. Air yang diam pada ketinggian tertentu memiliki energi potensial. Energi ini dapat dimanfaatkan untuk kepentingan yang lebih luas dengan jalan mengubah ke bentuk lain. Apabila air pada ketinggian tertentu terhadap suatu tempat dialirkan ke tempat yang lebih rendah maka energi potensial yang dimiliki berangsur – angsur berubah menjadi kinetik. Energi ini kemudian diubah menjadi energi mekanik pada poros turbin berupa putaran. Selanjutnya turbin akan memutar poros untuk menggerakkan beban generator listrik, pompa, kompresor, baling-baling, ataupun mesin-mesin lainnya.

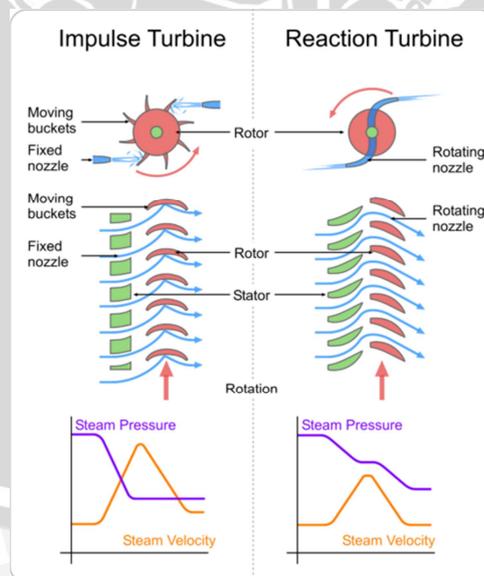
2.2.2 Klasifikasi Turbin Air

Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi mekanis, turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin impuls dan reaksi.

2.3 Turbin Impuls

2.3.1 Pengertian turbin Impuls

Turbin impuls (*impulse turbine*), yaitu turbin yang digerakkan oleh sebuah atau beberapa pancaran air (*water jet*) berkecepatan tinggi dari *nozzle*. Prinsip kerjanya yaitu mengubah energi potensial dari air menjadi energi kinetik pada *nozzle*. Air keluar dari *nozzle* dengan kecepatan tinggi menumbuk sudu turbin. Setelah menumbuk sudu arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum (*impulse*) akibatnya roda turbin akan berputar. Seluruh energi yang tersedia diubah oleh *nozzle* menjadi kinetik pada tekanan atmosfer sebelum fluida menyentuh sudu-sudu bergerak seperti pada gambar 2.1 turbin impuls ini cocok untuk *head* yang tinggi dengan kapasitas air yang rendah. Jenis turbin ini mengubah *head* yang tinggi menjadi semburan kecepatan tinggi pada *nozzle*. Jenis-jenis turbin impuls adalah turbin Pelton, turbin Turgo, dan turbin *Crossflow*.

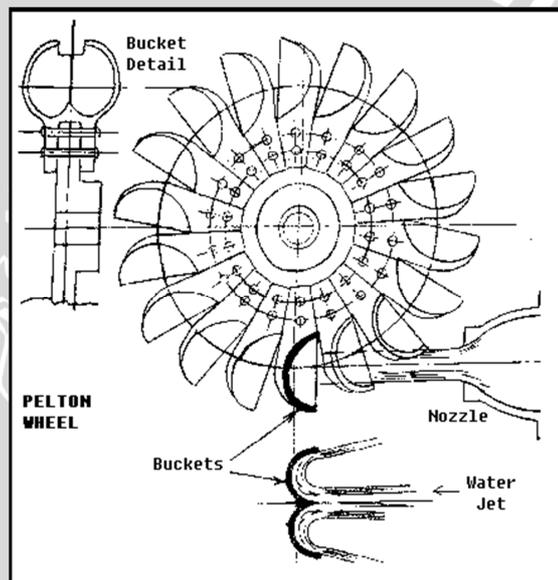


Gambar 2.1 Turbin impuls.
Sumber : Anonymous 8 : 2013

2.3.2 Klasifikasi Turbin Impuls

1. Turbin Pelton

Turbin pelton terdiri dari satu set sudu jalan yang diputar oleh pancaran air yang disemprotkan dari satu atau lebih alat yang disebut *nozzle*. Turbin pelton termasuk salah satu jenis turbin paling efisien, turbin pelton cocok digunakan untuk *head* yang tinggi (>300) dengan aliran kecil. Turbin pelton untuk pembangkit skala besar membutuhkan head kurang lebih 150 meter tetapi untuk skala mikro *head* 20 meter. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2 aliran air yang menumbuk sudu pada turbin pelton berasal dari nozel, daya air yang diberikan pada sudu akan menggerakkan poros turbin disini terjadi perubahan energi kinetis air menjadi energi mekanik pada poros turbin.

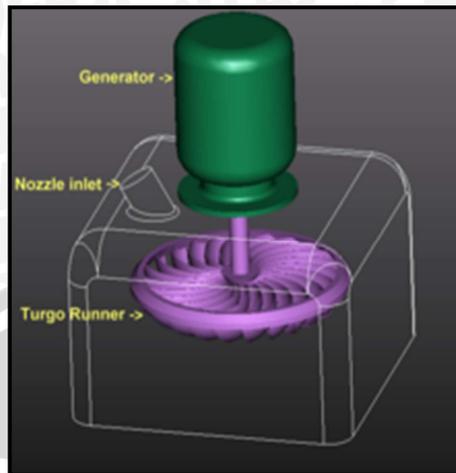


Gambar 2.2 Turbin Air Pelton.
Sumber : *Anonymous 9* : 2013

2. Turbin Turgo

Turbin turgo dapat beroperasi hingga head 30 s/d 300 meter. Seperti turbin pelton merupakan turbin impuls tetapi sudunya berbeda. Pancaran air dari *nozzle* membentur sudu pada sudut 20° . Kecepatan putar turbin turgo lebih besar dari turbin pelton. Akibatnya dimungkinkan transmisi langsung dari turbin ke generator sehingga menaikkan efisiensi total sekaligus menurunkan biaya perawatan. Aliran air yang mengalir pada sudu-sudu turbin dibuat miring dikarenakan bentuk sudu dari turbin sendiri yang membentuk sudu kemiringan seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3, hal ini dibuat agar letak jatuhnya air

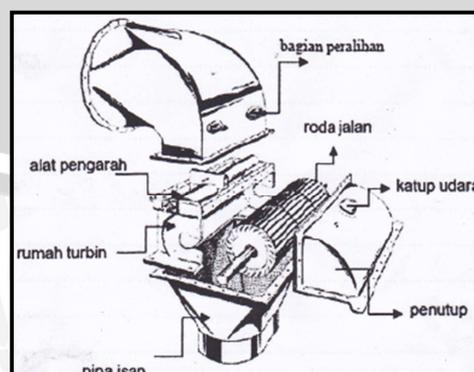
akan sesuai dengan konstruksi dari sudu turbin yang nantinya akan memutar poros turbin.



Gambar 2.3 Turbin Air Turgo.
Sumber : *Anonymous 7* : 2013

3. Turbin *Crossflow*

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. Pada gambar 2.4 terlihat bahwa 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.

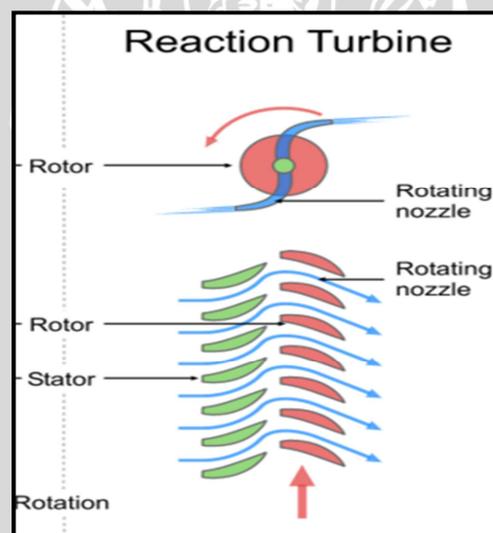


Gambar 2.4 Konstruksi dari Turbin Michael Banki.
Sumber : Dietzel; 1996: *Turbin, Pompa dan Kompresor* (Hal 37)

2.4 Turbin Reaksi

2.4.1 Pengertian Turbin Reaksi

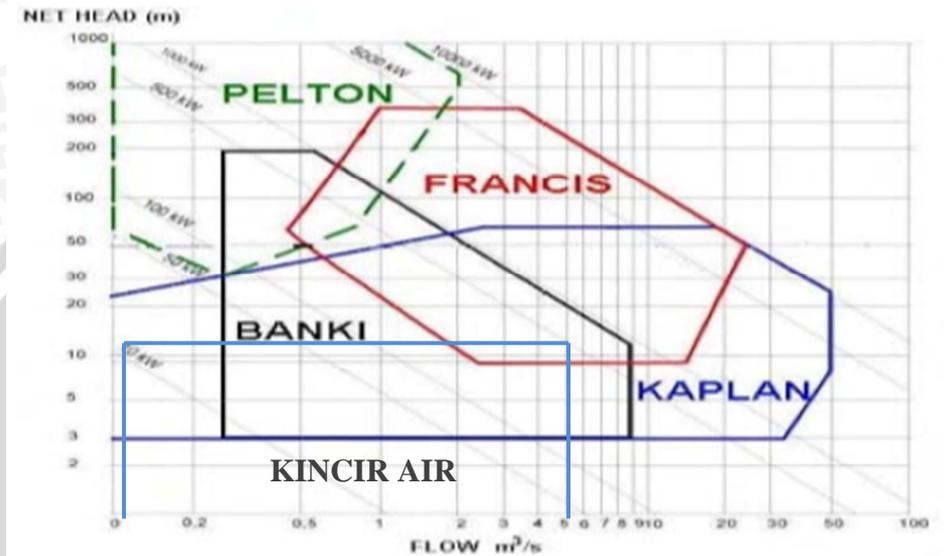
Turbin reaksi (*reaction turbine*), yaitu turbin yang digerakkan oleh gaya tekanan air. Rotor dari turbin reaksi terbenam secara keseluruhan dalam air dan ditutupi oleh selubung tekan (*pressure casing*). Sudu-sudu *runner* mempunyai bentuk profil sedemikian rupa sehingga perbedaan tekanan air yang melewatinya menimbulkan gaya-gaya hidrodinamis yang selanjutnya gaya-gaya tersebut memutar turbin dengan cepat. Jenis-jenis turbin reaksi adalah turbin Propeler, turbin Kaplan, dan turbin Francis. Pada gambar 2.5 terlihat aliran air yang mengalir pada sudu turbin berwarna biru hal ini menunjukkan adanya tumbukan fluida pada sudu sesaat sebelum dan sesudah menumbuk sudu turbin, arah aliran dimulai dari nozel lalu menumbuk pada sudu turbin atau stator. Gaya yang diberikan oleh air tersebut dirubah menjadi gaya mekanik pada poros atau pada rotor sehingga membuat turbin berputar.



Gambar 2.5 Turbin reaksi.
Sumber : *Anonymous* 8 : 2013

Klasifikasi turbin berdasarkan head dan kapasitas aliran turbin bisa dilihat pada gambar 2.6 pada gambar tersebut dijelaskan bahwa pemilihan turbin air harus berdasarkan head dan juga kapasitas aliran air tiap satuan waktu, hal ini dilakukan agar mendapatkan rancangan turbin yang sesuai dengan kondisi dilapangan. Pemilihan jenis turbin ini perlu dilakukan demi optimalnya efisiensi dan daya yang dihasilkan oleh turbin tersebut sehingga pembuatan ataupun perancangannya sesuai dengan kriteria baik secara teoritis maupun aktual. Turbin

pelton merupakan turbin dengan *head* yang paling tinggi yakni dari 20 – 1000 m pada kapasitas air 0,1 – 5 m³/s diikuti oleh francis pada H : 9 – 320 m dengan Q : 0,4 – 25 m³/s, banki pada H : 3 – 200 m dengan Q : 0,3 – 9 m³/s, kaplan pada H : 3 – 20 m dengan Q : 0,1 – 50 m³/s, dan Kincir air pada H : 0,1 – 12 m dengan Q : 0,05 – 5 m³/s.

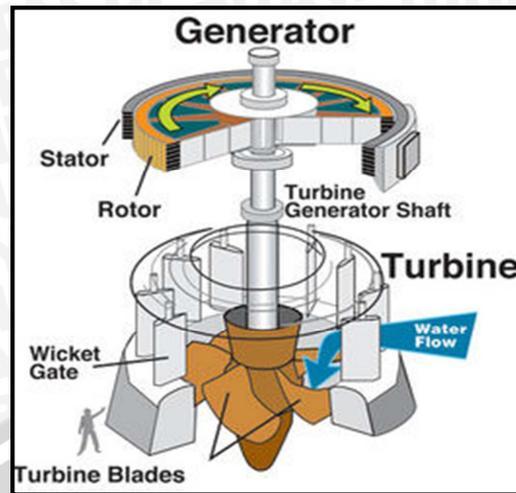


Gambar 2.6 Perbandingan Karakteristik Turbin berdasarkan Q-H.
Sumber : *Anonymous 2* : 2013

2.4.2 Klasifikasi Turbin Reaksi

1. Turbin Kaplan

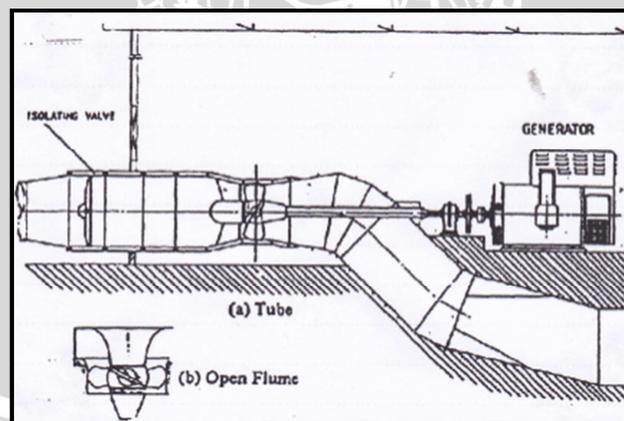
Turbin ini mempunyai roda jalan yang mirip dengan baling-baling pesawat terbang. Berbeda dengan roda jalan pada francis, sudu-sudu pada roda jalan dapat diatur posisinya untuk menyelesaikan kondisi beban turbin. Turbin ini digunakan untuk *head* air yang rendah, yaitu di bawah 20 meter. Pada gambar 2.7 terlihat bahwa terdapat sudu turbin yang nantinya akan mendapat gaya air berupa energi kinetik yang akan berubah menjadi energi mekanik pada poros turbin. Masuknya air pada sudu turbin dapat diatur dengan *wicket gate* sehingga aliran air bisa disesuaikan dengan debit aliran pada bendungan dan putaran yang diinginkan. Energi mekanik berupa putaran poros yang akan diteruskan pada generator sehingga dapat menghasilkan energi listrik.



Gambar 2.7 : Turbin Air Kaplan.
Sumber : *Anonymus* 10: 2013

2. Turbin propeller

Turbin ini mempunyai 3 bagian utama yaitu *runner*, *guide vane*, rumah turbin (*casing*). Pada prinsipnya, turbin ini mirip dengan turbin francis hanya terdapat perbedaan pada sudu *runner* dan poros serta hubungannya. Pada gambar 2.8 bisa dilihat bahwa turbin ini digunakan untuk pemanfaatan potensiohidro yang dimiliki *head* rendah hingga menengah dengan kapasitas aliran besar dan putaran operasi tidak terlalu tinggi antara 1,5 -60 m. Akan tetapi, turbin ini sering digunakan pada *head* yang kurang dari 30 m. Batas pengoperasian turbin ini adalah 75% - 95 % dari efisiensi terbaiknya.



Gambar 2.8 Instalasi Turbin Propeller.
Sumber : Warnick (Hal 19) 1990

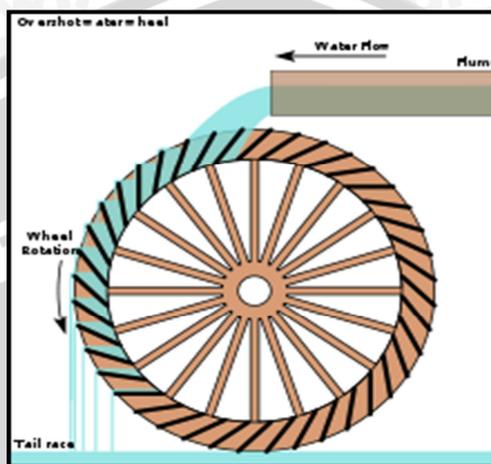
3. Turbin Francis

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

2.5.1 Klasifikasi Kincir Air

Kincir air merupakan mesin konversi energi yang memanfaatkan energi potensial air menjadi energi mekanik pada poros turbin, dalam hal ini kincir air diklasifikasikan menjadi berbagai macam jenis diantaranya yaitu :

a. Kincir Air *Overshot*



Gambar 2.10 kincir air *overshot*.

Sumber : *Anonymous* 12 : 2013

Kincir air *overshot* bekerja bila air yang mengalir jatuh ke dalam bagian sudu-sudu sisi bagian atas, dan karena gaya berat air roda kincir berputar. Kincir air *overshot* adalah kincir air yang paling banyak digunakan dibandingkan dengan jenis kincir air yang lain. Pada kincir ini aliran air yang mengalir berada pada atas seperti pada gambar 2.11 sehingga energi potensial air lebih tinggi dibandingkan kincir air jenis lain sehingga efisiensinya akan lebih tinggi dan juga tidak membutuhkan aliran air yang deras karena mendapatkan energi bantu dari energi potensial air. Tetapi pada aliran *Overshot* ini harus membuat sebuah bendungan untuk mengalirkan air hal ini dikarenakan air berasal dari atas sehingga biaya pembuatan akan lebih mahal dibandingkan dengan kincir air jenis lain. Kincir air merupakan salah satu mesin konversi energi yang cocok ditempatkan pada head yang relatif kecil sehingga akan bekerja pada putaran rendah dan daya yang dihasilkan juga relatif kecil.

Keuntungan :

- Tingkat efisiensi yang tinggi, dapat mencapai 85%.

potensial air lebih rendah sehingga daya air pun akan lebih rendah hal ini mempengaruhi efisiensi dan daya yang dihasilkan pada kincir ini juga relatif rendah dibandingkan dengan sistem aliran *overshot*. Dalam hal ini sistem aliran *Undershot* tidak membutuhkan bendungan sebagai tempat penampungan air, sistem aliran ini hanya memanfaatkan aliran air pada sungai atau saluran sehingga konstruksi lebih sederhana, lebih ekonomis, dan mudah untuk dipindahkan dari pada sistem aliran *overshot*.

Keuntungan :

- Konstruksi lebih sederhana
- Lebih ekonomis
- Mudah untuk dipindahkan

Kerugian :

- Efisiensi kecil
- Daya yang dihasilkan relatif kecil

c. **Kincir Air *Breastshot***



Gambar 2.12 kincir air *Breastshot*.

Sumber : *Anonymous 4* : 2012

Kincir air *Breastshot* merupakan perpaduan antara tipe *overshot* dan *undershot* dilihat dari energi yang diterimanya seperti pada gambar 2.13. Jarak tinggi jatuhnya tidak melebihi diameter kincir, arah aliran air yang menggerakkan kincir air disekitar sumbu poros dari kincir air. Kincir air jenis

ini memperbaiki kinerja dari kincir air tipe *undershot*. Pada aliran sistem *Breastshot* ini memanfaatkan energi potensial air dan juga sistem jatuhnya air yang akan menumbuk sudu kincir seperti pada aliran *undershot* jika dilihat dari arah alirannya, kincir ini lebih efisien dari pada kincir *undershot* dikarenakan energi potensial yang lebih besar, sedangkan dibandingkan dengan tipe aliran *overshot* tinggi jatuhnya air akan lebih pendek, tetapi pembuatannya tidak perlu membuat sebuah bendungan hanya memanfaatkan arus aliran datar pada sungai ataupun saluran yang digunakan. Sehingga Efisiensi sistem aliran ini lebih tinggi dibandingkan dengan sistem aliran *undershot* tapi lebih rendah jika dibandingkan dengan sistem aliran *overshot*. Sudu pada kincir ini lebih rumit karena air yang menumbuk sudu kincir mempunyai perbedaan ketinggian dengan aliran *overshot* maupun *undershot*, hal ini dibuat agar air dapat menumbuk sudu dengan baik dan ketika sesudah menumbuk sudu air bisa terbuang dengan baik agar tidak menghambat laju putaran dari kincir tersebut. Konstruksi dan pemasangan pada kincir dengan sistem aliran ini pun juga menjadi masalah tersendiri karena lebih rumit dalam pemasangan dikarenakan jarak tinggi jatuhnya air tidak melebihi diameter kincir, sehingga membutuhkan penopang yang kuat agar ketika kincir mendapatkan tumbukan dari air yang mengalir kincir ini tidak lepas dari penopangnya.

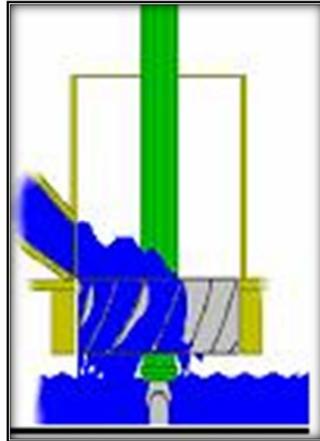
Keuntungan :

- Tipe ini lebih efisien dari tipe *undershot*.
- Dibandingkan tipe *overshot* tinggi jatuhnya lebih pendek.
- Dapat diaplikasikan pada sumber air aliran datar.

Kerugian :

- Sudu-sudu dari tipe ini tidak rata seperti tipe *undershot* (lebih rumit).
- Diperlukan dam pada arus aliran datar.
- Efisiensi lebih kecil dari pada tipe *overshot*.

d. Kincir Air *Tub*



Gambar 2.13 kincir air *Tub*.
Sumber : *Anonymous 5* : 2013

Kincir air *Tub* merupakan kincir air yang kincirnya diletakkan secara horisontal dan sudu-sudunya miring terhadap garis vertical seperti pada gambar 2.14, dan tipe ini dapat dibuat lebih kecil dari pada tipe *overshot* maupun tipe *undershot*. Karena arah gaya dari pancuran air menyamping maka, energi yang diterima oleh kincir yaitu energi potensial dan kinetik. Pada kincir air *tub* air yang mengalir bersumber pada bendungan sehingga pada kincir air jenis ini mempunyai energi potensial air. Arah aliran yang dibuat pada kincir ini disesuaikan dengan bentuk dari sudu-sudu kincir yang miring sehingga dimungkinkan putaran yang lebih cepat dikarenakan daya air yang menumbuk sudu-sudu kincir dari atas memiliki energi potensial yang besar tetapi dimensi dari sudu kincir relatif kecil. Pada kincir aliran *Tub* ini memiliki konstruksi yang lebih teliti dikarenakan komponen kincir yang kecil. Hal ini berpengaruh pada daya yang dihasilkan, dikarenakan dimensi dari kincir ini dibuat relatif kecil maka daya yang dihasilkan dari kincir jenis ini juga kecil.

Keuntungan :

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

Kerugian :

- Tidak menghasilkan daya yang besar.

- Karena komponennya lebih kecil membutuhkan tingkat ketelitian yang lebih teliti

2.5.2 Parameter Persamaan Kincir Air

a. Tinggi jatuh air (*Head*)

Menurut persamaan Bernoulli maka persamaan tinggi jatuh air sebagai berikut:

a) Komponen energi potensial

$$E_z = W \cdot z \quad (\text{Anonymous 2 : 2011 : 8}) \quad (2-1)$$

Dimana : W = Berat fluida

z = Jarak tegak / Head diatas suatu elevasi acuan (m)

b) Komponen energi tekanan

$$E_p = W \cdot P / \gamma \quad (\text{Anonymous 2 : 2011 : 8}) \quad (2-2)$$

Dimana: P = tekanan air (N/m²)

γ = berat jenis fluida (N/m³)

c) Komponen energi kecepatan

$$\text{Dimana: } E_k = W \cdot c^2 / 2g \quad (\text{Anonymous 2 : 2011 : 8}) \quad (2-3)$$

$$c = \text{kecepatan fluida} = \sqrt{2gh}$$

Dari persamaan diatas maka Energi totalnya adalah : $E = E_z + E_p + E_k$

$$H = z + \frac{P}{\rho g} + \frac{c^2}{2g} = \text{konstan} \quad (\text{Anonymous 2 : 2011 : 8}) \quad (2-4)$$

Dimana H = tinggi jatuh air atau head total (m)

z = tinggi tempat atau head potensial (m)

$\frac{P}{\rho g}$ = tinggi tekan atau head tekan (m)

$\frac{c^2}{2g}$ = tinggi kecepatan atau head kecepatan (m)

b. Luas penampang saluran kincir

Pada pembuatan kincir air juga harus memperhatikan luas penampang saluran kincir air dan luas penampang lintang saluran dalam turbin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan kontinuitas. Yang dimaksud dengan luas penampang

lintang saluran adalah suatu luasan permukaan irisan saluran yang dibuat tegak lurus dengan arah aliran cairan.

$$Q = A \cdot V_s \quad (\text{Anonymous 2 : 2011 : 9}) \quad (2-5)$$

Dimana : Q = kapasitas air yang mengalir (m³/detik)

A = luas penampang pipa yang dipakai (m²)

V_s = kecepatan aliran air (m/detik)

Kecepatan aliran air akan besar pada penampang yang semakin kecil, pada kapasitas aliran air yang sama. Adapun kecepatan pancaran air yang ke luar dari saluran adalah $V_s = \sqrt{2gh}$

c. Diameter Kincir Air

Diameter Luar runner dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut

$$U_1 = \pi D_1 n / 60 \quad (\text{Anonymous 2 : 2011 : 9}) \quad (2-6)$$

Maka

$$D_1 = 60 \cdot U_1 / \pi n \quad (\text{Anonymous 2 : 2011 : 9}) \quad (2-7)$$

Dimana :

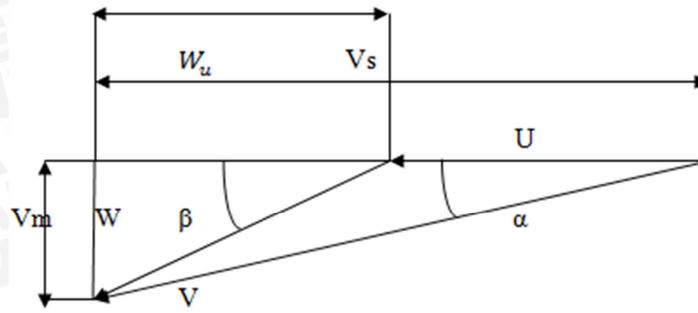
D_1 = Diameter luar runner (m)

n = Putaran kincir (rpm)

U_1 = Kecepatan runner (m/s)

d. Kecepatan Aliran Fluida pada Kincir

Fluida yang bergerak dari saluran kincir akan menumbuk kincir air sehingga terjadi pertukaran energi antara fluida yang bergerak dengan sudu runner yang juga ikut bergerak. Pada saat fluida dipercepat oleh sudu runner, terjadi perubahan energi oleh sudu kepada fluida, sebaliknya dimana fluida diperlambat oleh sudu, terjadi penyerahan energi dari fluida kerja kepada runner. Pertukaran energi antara fluida kerja dan sudu-sudu runner berlangsung bila segitiga kecepatan sisi masuk mempunyai perbedaan, dikarenakan segitiga kecepatan pada kincir tersebut tersusun atas tiga komponen yakni kecepatan absolut air, kecepatan tangensial turbin, dan kecepatan relatif air.



Gambar 2.14 Segitiga kecepatan yang terpakai.

Dihasilkan persamaan energi sebagai berikut :

$$\frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} \quad (\text{Anonymous 2 : 2011 : 10}) \quad (2-8)$$

Selisih tekanan akibat gaya sentrifugal

$$\frac{U_1^2 - U_2^2}{2g} \quad (\text{Anonymous 2 : 2011 : 10}) \quad (2-9)$$

Selisih tekanan dinamis akibat perubahan kecepatan mutlak

$$\frac{W_1^2 - W_2^2}{2g} \quad (\text{Anonymous 2 : 2011 : 10}) \quad (2-10)$$

Energi teoritis H_{th} suatu sistem runner yang merubah energi aliran tanpa kerugian menjadi daya dituliskan bentuk persamaan berikut

$$H_{th} = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} + \frac{U_1^2 - U_2^2}{2g} + \frac{W_1^2 - W_2^2}{2g} \quad (\text{Anonymous 2 : 2011 : 10}) \quad (2-11)$$

Esehingga pada hukum cosinus menjadi :

$$W^2 = U^2 + V^2 - 2.U.V.Cosa \quad (\text{Anonymous 2 : 2011 : 11}) \quad (2-12)$$

2.6 Unjuk Kerja Kincir Air

2.6.1 Rasio U/vs

Rasio U/V_s adalah perbandingan antara kecepatan keliling / kecepatan tangensial turbin terhadap kecepatan teoritis air.

$$U/V_s = \omega R/V_s \quad (\text{Amri : 2012 : 18}) \quad (2-13)$$

Dimana,

U : Kecepatan keliling/kecepatan tangensial kincir (m/s)

V_s : Kecepatan Aliran Fluida (m/s)

2.6.2 Debit Aliran Air

Debit aliran air yang jatuh melalui kincir dapat diketahui dengan menggunakan alat ukur *magnetic flowmeter* untuk mendapatkan kecepatan air V_s (m/s), dengan menggunakan persamaan

$$Q = V_s \cdot A \quad (\text{Amri : 2012 :17}) \quad (2-14)$$

Dimana,

- A : luas penampang saluran terbuka (m^2)
- Q : debit air pada pompa (m^3/s)
- V_s : kecepatan aliran fluida (m/s)

2.6.3 Brake Horse Power (BHP)

Brake Horse Power adalah daya dari kincir yang diukur setelah mengalami pembebanan. BHP dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\text{BHP} = T \omega = F \cdot R \cdot \omega \quad (\text{Amri : 2012 :17}) \quad (2-15)$$

Dimana,

- T : torsi (N.m)
- ω : kecepatan sudut ($\frac{2\pi n}{60}$)
- F : gaya tangensial (N)
- R : lengan torsi (radius kincir) (m)

2.6.4 Water Horse Power (WHP)

Water Horse Power adalah daya yang dihasilkan oleh air akibat ketinggian (*head*) yang selanjutnya akan diubah menjadi energi mekanik pada putaran poros.

$$\text{WHP} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot Q \cdot V_s^2 \quad (\text{Amri : 2012 :17}) \quad (2-16)$$

Atau

$$\text{WHP} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V_s^3 \quad (\text{Amri : 2012 :17}) \quad (2-17)$$

Dimana,

- ρ : massa jenis air (Kg/m^3)
- A : luas penampang saluran terbuka (m^2)
- Q : debit air pada pompa (m^3/s)
- V_s : kecepatan aliran fluida (m/s)

2.6.5 Efisiensi Kincir Air

Efisiensi kincir air merupakan perbandingan antara daya yang dihasilkan pada putaran poros kincir air dengan daya yang diberikan oleh air. Pada efisiensi turbin ini menunjukkan kemampuan kincir air mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik pada putaran poros kincir air. Dapat dirumuskan sebagai berikut,

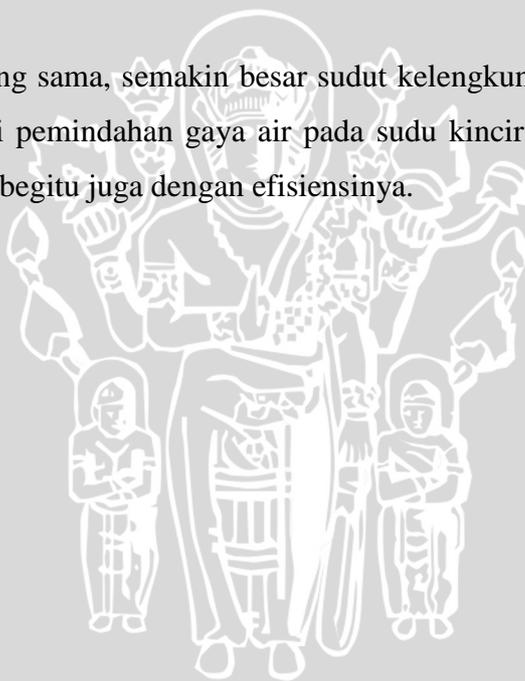
$$\eta = \frac{T \omega}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot Q \cdot V_s^2} (\%) \quad (\text{Amri : 2012 : 19}) \quad (2-18)$$

Dimana,

η : efisiensi turbin (%)

2.7 Hipotesis

Pada debit yang sama, semakin besar sudut kelengkungan pada sudu kincir air maka akan terjadi pemindahan gaya air pada sudu kincir sehingga daya poros kincir air meningkat, begitu juga dengan efisiensinya.



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode experimental nyata (*true experimental research*) yang secara langsung digunakan ke obyek yang akan diteliti. Obyek tersebut akan diteliti dengan mengambil beberapa data kemudian mengolahnya menjadi suatu obyek untuk dibandingkan.

3.2 Variabel Penelitian

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

1. Variabel Bebas (*independent variable*)

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan oleh peneliti sebelum melakukan penelitian. Besar variabel bebas boleh diubah-ubah atau konstan dan tidak dipengaruhi variabel lain, variabel bebas pada penelitian adalah :

- debit air (m^3/jam) yaitu 2 (m^3/jam), 4 (m^3/jam), 6 (m^3/jam), 8 (m^3/jam), 10 (m^3/jam).
- Besar sudut kelengkungan sudu yakni 5° , 10° , 15° .

2. Variabel Terkontrol (*Controlled Variable*)

Variabel terkontrol merupakan variabel yang nilainya ditentukan oleh peneliti sebelum melakukan penelitian dan dikondisikan tetap atau konstan. Dalam penelitian ini variabel terkontrol yang digunakan adalah Putaran kincir air sebesar 30 rpm.

3. Variabel Terikat (*dependent variable*)

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 U/Vs.
- Daya poros / *Breake Horse Power* (BHP) (Watt).
- Efisiensi (%).

3.3 Peralatan 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*

Merupakan alat untuk mengukur besar debit air pada instalasi seperti ditunjukkan pada gambar 3.2. Adapun spesifikasi *magnetic flowmeter* antara lain :

Model : AX 100 G

Suffix : - ELALSIS - BD21 – 01B - /EG

Style : S1

Size : 100 mm 4

Meter L : 0,7682

Faktor H : 0,7227

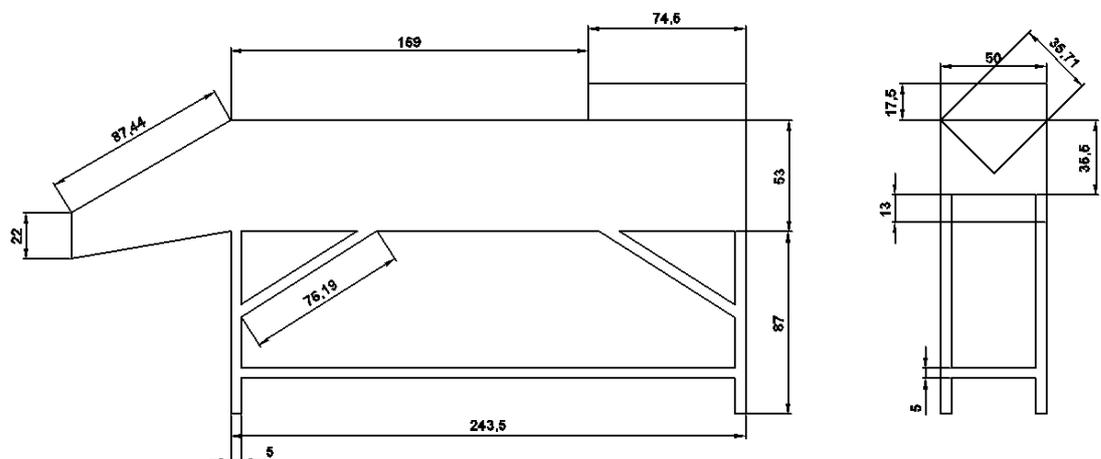
Fluid Press : 2 Mpa Max
 Fluid Temp : -40 to 130° C
 AMB. Temp : -40 to 60° C
 Supply : 100 – 120 VDC = 12 W
 Output : CUR 4 – 20 mA (0 - 750Ω)
 PLS 30 VDC 0,2 A MAX
 1 M3 / P
 Tag No. : S5K904113035



Gambar 3.2 Magnetic Flowmeter

3. Saluran terbuka

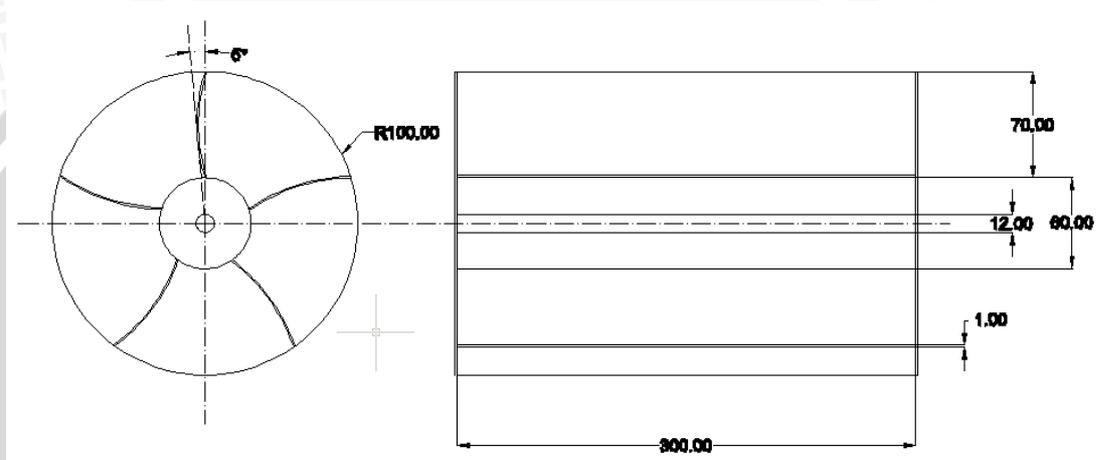
Saluran ini digunakan sebagai tempat mengalirnya air dari bak penampungan air menuju kincir air seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.3.



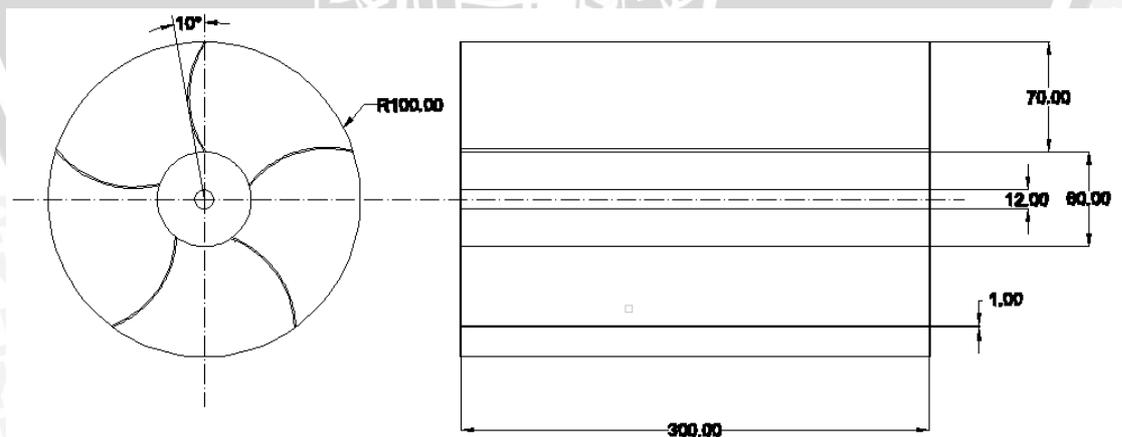
Gambar 3.3 Saluran Terbuka

4. Kincir air

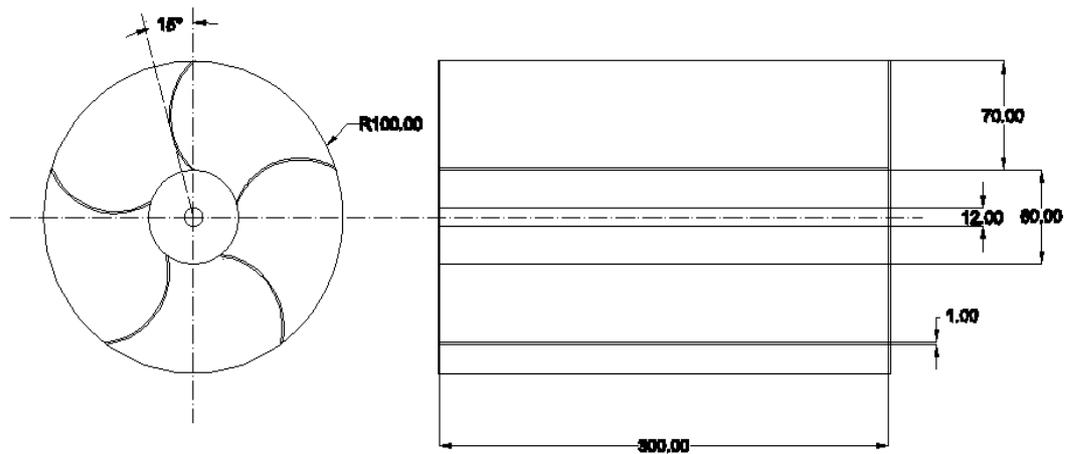
Kincir air yang digunakan adalah jenis kincir air tipe sudu lengkung dengan lebar sudu 0.3 m, dan tinggi sudu 0.07 m, sistem aliran yang digunakan adalah *overshot*. Besar sudut lengkung yang digunakan adalah 5° , 10° , 15° , roda kincir terbuat dari bahan akrilik dengan tebal 0.002 m dan diameter 0.2 m, diameter poros kincir 0.012 m. Berturut – turut seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.4 – 3.6)



Gambar 3.4 kincir air dengan besar sudut kelengkungan sudu 5°



Gambar 3.5 kincir air dengan besar sudut kelengkungan sudu 10°



Gambar 3.6 kincir air dengan besar sudut kelengkungan sudu 15°

5. Neraca pegas

Alat ini digunakan untuk mengukur gaya yang ditimbulkan akibat putaran pada poros kincir air seperti pada gambar 3.7. 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 3.7 Neraca Pegas

Model	: AL-10007-026
Toleransi Pembacaan:	+ 0,1
Maerial Pegas	: Stainless Steel
Material Tabung	: Polycarbonate
Skala	: 1000 gram
Dimensi	: 80 x 58 mm

6. Digital Tachometer

Alat ini digunakan untuk mengukur besarnya putaran yang dihasilkan poros kincir air yang ditampilkan pada sebuah layar indikator digital pada gambar 3.8, satuannya adalah rpm (*rotation per minutes*). Pengukuran ini penting dilakukan untuk mengetahui debit aliran air sesuai dengan yang diinginkan

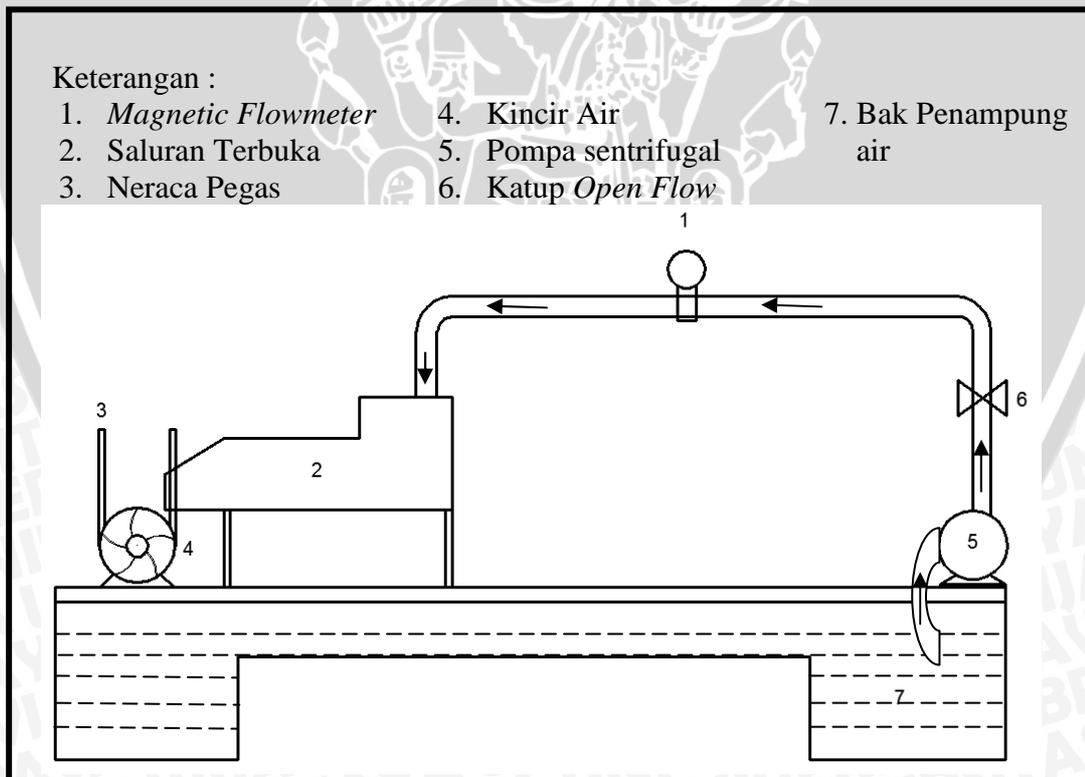
Display	: 5 digits, 10 mm (0,4'') LCD
Test Range	: 5 to 100.000 rpm
Resolution	: 0,1 rpm (0,5 to 999,9 rpm) 1 rpm (over 1,000 rpm)
Accuracy	: +/- (0,05% + 1 digit)
Sampling Time	: 1 sec (over 60 rpm)
Test Range Select	: Automatic
Memory	: Last Value, Max.Value, Min.Value
Detecting Distance	: 50 to 150 mm/2 to 6 inch (typical max. 300 mm/ 12 inch Depending upon ambient light
Time Base	: Quartz Crystal
Circuit	: Exclusive one-chip of microcomputer LSI circuit
Battery	: 4 x 1,5V AA (UM-3) battery
Power Consumpption:	Approx. 150 mA (operation)
Operation Temp.	: 0 to 50° C (32 to 122° F)
Size	: 190 x 72 x 37 mm (7,5 x 2,8 x 1,5 inch)
Weight	: 250 g / 0,55lb (including battery)



Gambar 3.8 Digital Tachometer

3.4 Instalasi Penelitian

Gambar ini menjelaskan instalasi penelitian beserta keterangannya dan beberapa alat pendukungnya dapat dilihat pada gambar 3.9.



Gambar 3.9 Instalasi Penelitian

3.5 Prosedur Penelitian

A. Persiapan

1. Mempersiapkan peralatan dan alat ukur yang diperlukan untuk penelitian.
2. Menyusun serta memasang semua peralatan dan alat ukur dengan benar seperti pada gambar 3.9.
3. Pengecekan kondisi alat ukur dan peralatan yang akan digunakan penelitian.

B. Pelaksanaan Percobaan

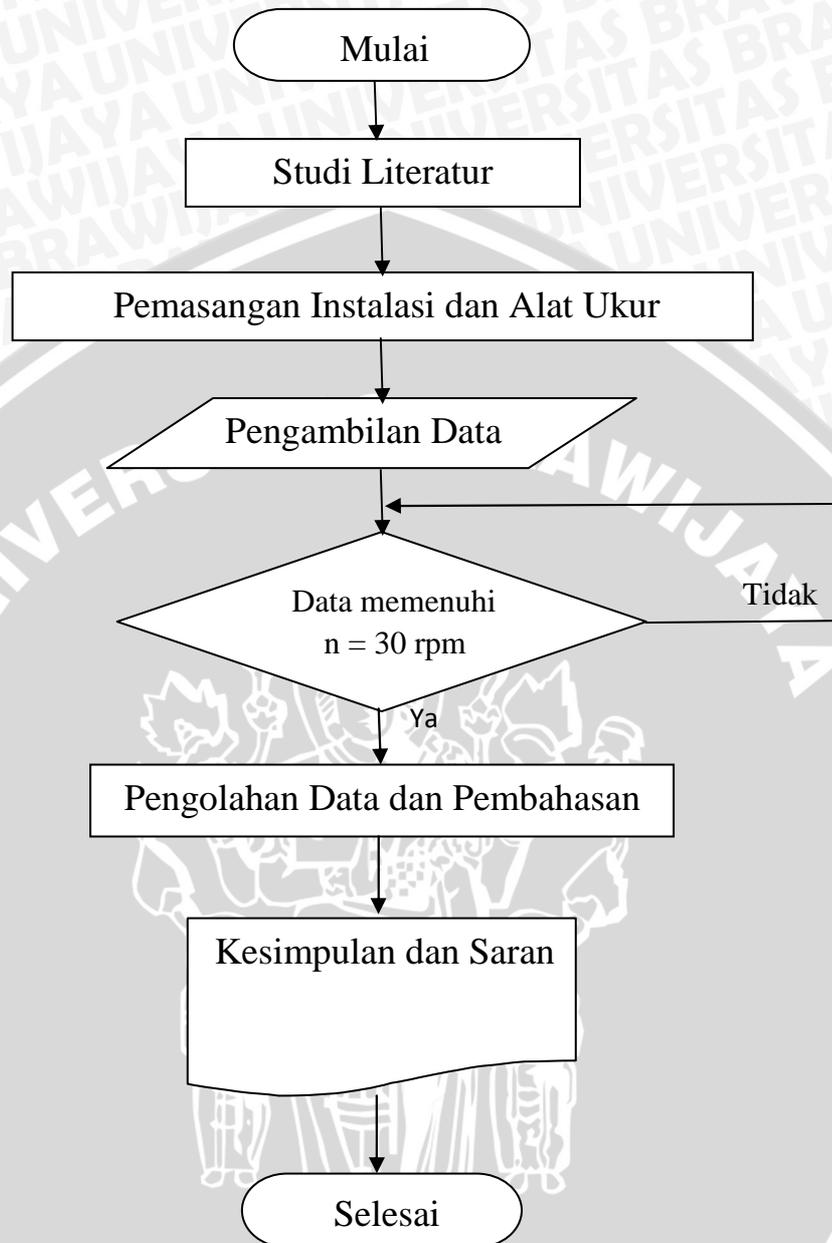
1. Pasang kincir air dengan besar sudut kelengkungan sudu 5° .
2. Nyalakan pompa.
3. Atur debit air sesuai yang divariasikan, dengan melihat *magnetic flowmeter*, debit dimulai dari 2 (m^3/jam).
4. Setelah kondisi *steady*, ukur parameter yang diperlukan (kecepatan putar poros kincir, dan gaya pengereman poros kincir)
5. Tambahkan debit air menjadi 4 (m^3/jam), 6 (m^3/jam), 8 (m^3/jam), 10 (m^3/jam) secara berturut – turut, kemudian catat kecepatan putar poros kincir serta gaya pengereman.
6. Mengganti kincir air dengan variasi besar sudut kelengkungan yang lain yakni 10° dan 15° untuk diuji selanjutnya.
7. Ulangi langkah No.3 sampai No.5 dengan besar sudut kelengkungan yang tetap.
8. Data diolah, kemudian dianalisa pengaruh jumlah sudu dan debit air terhadap kinerja kincir air. Dari analisa tersebut nantinya akan dapat diketahui hubungan antara variabel bebas dan variabel terkontrol terhadap variabel terikatnya. Dari hubungan tersebut akan digunakan untuk menjawab rumusan masalah yang telah dikemukakan lebih awal.
9. Percobaan selesai.

3.6 Tempat Penelitian

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

3.7 Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.10, diagram alir penelitian, menunjukkan alur dari proses penelitian.



Gambar 3.10 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data dan Perhitungan Hasil Penelitian

4.1.1 Data Hasil Penelitian

Pada penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah debit aliran fluida dengan variasi yaitu 2 m³/jam, 4 m³/jam, 6 m³/jam, 8 m³/jam, serta 10 m³/jam dan variasi sudut kelengkungan 5°, 10°, 15°. Data hasil penelitian bisa kita lihat pada tabel

Tabel 4.1 Hasil Pengambilan data pengujian kincir air tipe sudu lengkung dengan variasi sudut kelengkungan 5° (Lampiran 1)

No	Debit Aliran (m ³ /jam)	Gaya Pengereman (gram)	Tinggi Air (m)	Putaran kincir (Rpm)
1	2	73,3	0.003	30
			0.003	30
			0.003	30
2	4	163,3	0.005	30
			0.005	30
			0.005	30
3	6	213,3	0.007	30
			0.007	30
			0.007	30
4	8	256,6	0.009	30
			0.009	30
			0.009	30
5	10	313,4	0.01	30
			0.01	30
			0.01	30

Tabel 4.2 Hasil Pengambilan data pengujian kincir air tipe sudu lengkung dengan variasi sudut kelengkungan 10^0 (Lampiran 2)

No	Debit Aliran (m ³ /jam)	Gaya Pengereman (gram)	Tinggi Air (m)	Putaran kincir (Rpm)
1	2	110	0.003	30
			0.003	30
			0.003	30
2	4	233,3	0.005	30
			0.005	30
			0.005	30
3	6	376,7	0.007	30
			0.007	30
			0.007	30
4	8	400	0.009	30
			0.009	30
			0.009	30
5	10	513,3	0.01	30
			0.01	30
			0.01	30

Tabel 4.3 Hasil Pengambilan data pengujian kincir air tipe sudu lengkung dengan variasi sudut kelengkungan 15° (Lampiran 3)

No	Debit Aliran (m ³ /jam)	Gaya Pengereman (gram)	Tinggi Air (m)	Putaran kincir (Rpm)
1	2	100	0.003	30
			0.003	30
			0.003	30
2	4	246,7	0.005	30
			0.005	30
			0.005	30
3	6	370	0.007	30
			0.007	30
			0.007	30
4	8	550	0.009	30
			0.009	30
			0.009	30
5	10	643,3	0.01	30
			0.01	30
			0.01	30

4.1.2 Perhitungan Data Hasil Penelitian

Perhitungan data dilakukan untuk mencari nilai besaran – besaran yang diperlukan untuk menentukan efisiensi kincir air *overshot* tipe sudu datar. Adapun besaran – besaran yang akan dihitung adalah torsi, daya poros (BHP), kecepatan aliran (Vs), luas penampang air (A), rasio U/Vs, daya air (WHP), serta efisiensi. Contoh perhitungan berikut menggunakan data pada debit 2 (m³/jam) untuk variasi sudut 5° .

a. Torsi

Jika diketahui gaya pengereman rata – rata pada debit 2 (m³/jam) untuk sudut 5° adalah 0,073 N

$$T = F \cdot R$$

$$= 0,073 \cdot 0.075$$

$$= 0,0054 \text{ Nm}$$

Dimana :

T : torsi

F : gaya pengereman

R : radius kincir

b. Daya poros (BHP)

Diketahui putaran poros kincir yaitu 30 Rpm

$$\text{BHP} = T \omega = F.R. \omega$$

$$= T \cdot \frac{2 \pi n}{60}$$

$$= 0,0054 \frac{2,3,14,30}{60}$$

$$= 0.017 \text{ Watt}$$

Dimana,

T : torsi (Nm)

ω : kecepatan sudut ($\frac{2 \pi n}{60}$)

F : gaya tangensial pada poros kincir (N)

R : lengan torsi (radius kincir) (m)

c. Kecepatan Aliran Air (Vs)

Diketahui tinggi permukaan air yang mengalir sebelum menumbuk sudu kincir yaitu 3 mm = 0.003 m, lebar saluran air yaitu 30 cm = 0.3 m, debit aliran air 2 m³/jam = 0.000555556 m³/s, maka didapatkan luas permukaan air :

$$A = 0,003 \cdot 0,3 = 0.0009 \text{ m}^2$$

$$V_s = \frac{Q}{A} = \frac{0.000555556}{0.0009}$$

$$= 0.6172 \text{ m/s}$$

Dimana,

A : luas penampang saluran terbuka (m²)

Q : debit air pada pompa (m³/s)

V_s : kecepatan aliran fluida (m/s)

d. Rasio U/Vs

$$\begin{aligned}\frac{U}{V_s} &= \frac{\omega \cdot R}{V_s} \\ &= \frac{2.3,14 \cdot \frac{30}{60} \cdot 0.1}{0.6172} \\ &= 0.50\end{aligned}$$

Dimana,

U : kecepatan keliling (m/s)
 ω : kecepatan sudut (rad/s)
 R : radius kincir

e. Daya Air (WHP)

Jika diketahui massa jenis air adalah 1000 kg/m^3 , maka daya air dapat dihitung dengan :

$$\begin{aligned}WHP &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot Q \cdot V_s^2 \\ &= 0,5 \cdot 1000 \cdot 0.00055 \cdot 0.6172^2 \\ &= 0.0076 \text{ Watt}\end{aligned}$$

Dimana,

ρ : massa jenis air (kg/m^3)
 A : luas penampang saluran terbuka (m^2)
 Q : debit air pada pompa (m^3/s)
 V_s : kecepatan aliran fluida (m/s)

f. Efisiensi kincir (%)

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{BHP}{WHP} \cdot 100 \\ &= \frac{0.0172}{0.1058} \\ &= 16,3 \%\end{aligned}$$

Dimana,

η : efisiensi turbin (%)

Data hasil perhitungan yang diperoleh berdasarkan langkah – langkah yang telah dijelaskan pada contoh perhitungan dapat dilihat pada tabel

Tabel 4.4 Data hasil perhitungan kincir air tipe sudu lengkung dengan variasi sudut kelengkungan 5° (Lampiran 4)

F (N)	debit (m ³ /s)	luas rata2 (m ²)	torsi (N m)	BHP (watt)	Vs (m/s)	rasio U/Vs	WHP (watt)	Efisiensi (%)
0,07	0,0005	0,0009	0,005	0,01	0,61	0,50	0,10	16,31
0,16	0,0011	0,0015	0,012	0,03	0,74	0,42	0,34	12,61
0,21	0,0016	0,0021	0,016	0,05	0,79	0,39	0,52	9,57
0,25	0,0022	0,0026	0,019	0,06	0,92	0,33	0,95	6,34
0,31	0,0027	0,0033	0,023	0,07	0,92	0,33	1,19	6,19

Tabel 4.5 Data hasil perhitungan kincir air tipe sudu lengkung dengan variasi sudut kelengkungan 10° (Lampiran 4)

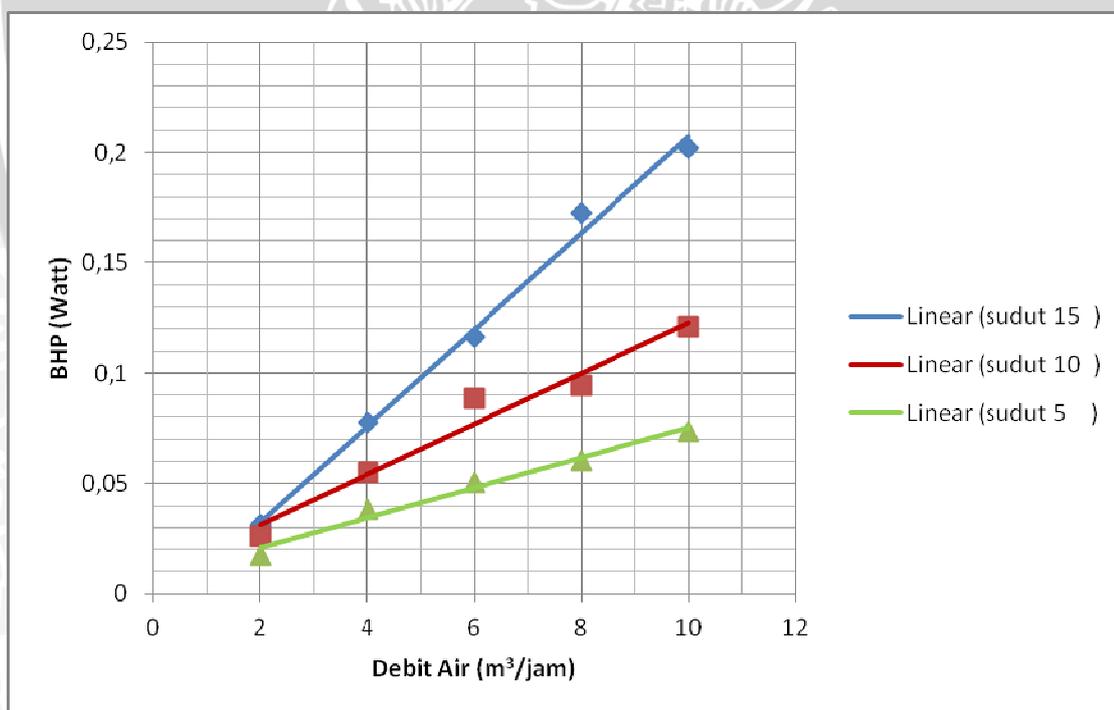
F (N)	debit (m ³ /s)	luas rata2 (m ²)	torsi (N m)	BHP (watt)	Vs (m/s)	rasio U/Vs	WHP (watt)	Efisiensi (%)
0,11	0,0005	0,0009	0,008	0,02	0,61	0,50	0,10	24,47
0,23	0,0011	0,0015	0,017	0,05	0,74	0,42	0,30	18,02
0,37	0,0016	0,0021	0,028	0,08	0,79	0,39	0,52	16,89
0,4	0,0022	0,0024	0,030	0,09	0,92	0,33	0,95	9,88
0,51	0,0027	0,003	0,038	0,12	0,92	0,33	1,19	10,15

Tabel 4.6 Data hasil perhitungan kincir air tipe sudu lengkung dengan variasi sudut kelengkungan 15° (Lampiran 4)

F (N)	debit (m ³ /s)	luas rata2 (m)	torsi (N m)	BHP (watt)	Vs (m/s)	rasio U/Vs	WHP (watt)	Efisiensi (%)
0,1	0,00055	0,0009	0,01	0,03	0,61	0,50	0,10	29,66
0,24	0,00111	0,0015	0,024	0,07	0,74	0,42	0,30	25,40
0,37	0,00166	0,0021	0,037	0,11	0,79	0,39	0,52	22,13
0,55	0,00222	0,0024	0,055	0,17	0,92	0,33	0,95	18,12
0,64	0,00277	0,0033	0,064	0,20	0,92	0,33	1,19	16,96

4.2 Pembahasan Grafik

4.2.1 Analisa Grafik Hubungan Antara Debit Aliran Air Terhadap Daya Poros/*Break Horse Power* (BHP) Kincir Air *Overshot*



Gambar 4.1 Grafik Hubungan Antara Debit Aliran Air Terhadap Daya Poros/*Break Horse Power* (BHP) Kincir Air *Overshot*.

Dari gambar 4.1 dapat diketahui bahwa debit air (m³/jam) berpengaruh terhadap BHP (watt) yang dihasilkan. Pada awal hingga akhir grafik hubungan debit air

terhadap daya poros pada sudut yang sama mengalami kecenderungan yang meningkat. Semakin besar debit air akan menyebabkan semakin besar pula daya porosnya, sedangkan pada perbedaan variasi sudut juga mengalami kecenderungan yang sama pula yakni mengalami peningkatan mulai sudut 5° , 10° , dan 15° . Sehingga pada debit yang sama, Semakin besar sudut kelengkungan sudu maka BHP juga semakin meningkat. Ini dikarenakan semakin besar debit maka akan semakin besar pula volume air yang menumbuk sudu kincir air sehingga meningkatkan putaran kincir air tersebut, dengan meningkatnya putaran kincir air maka gaya pengereman yang dibutuhkan juga akan semakin besar dikarenakan untuk mendapatkan putaran yang konstan sebesar 30 rpm, dengan itu maka torsinya pun juga semakin besar sehingga akan berbanding lurus dengan peningkatan dari nilai BHP (watt).

Hal ini sesuai dengan persamaan berikut :

$$\text{BHP} = T \omega = F.R. \omega = T \cdot \frac{2\pi n}{60}$$

Dimana,

T : torsi (Nm)

ω : kecepatan sudut ($\frac{2\pi n}{60}$)

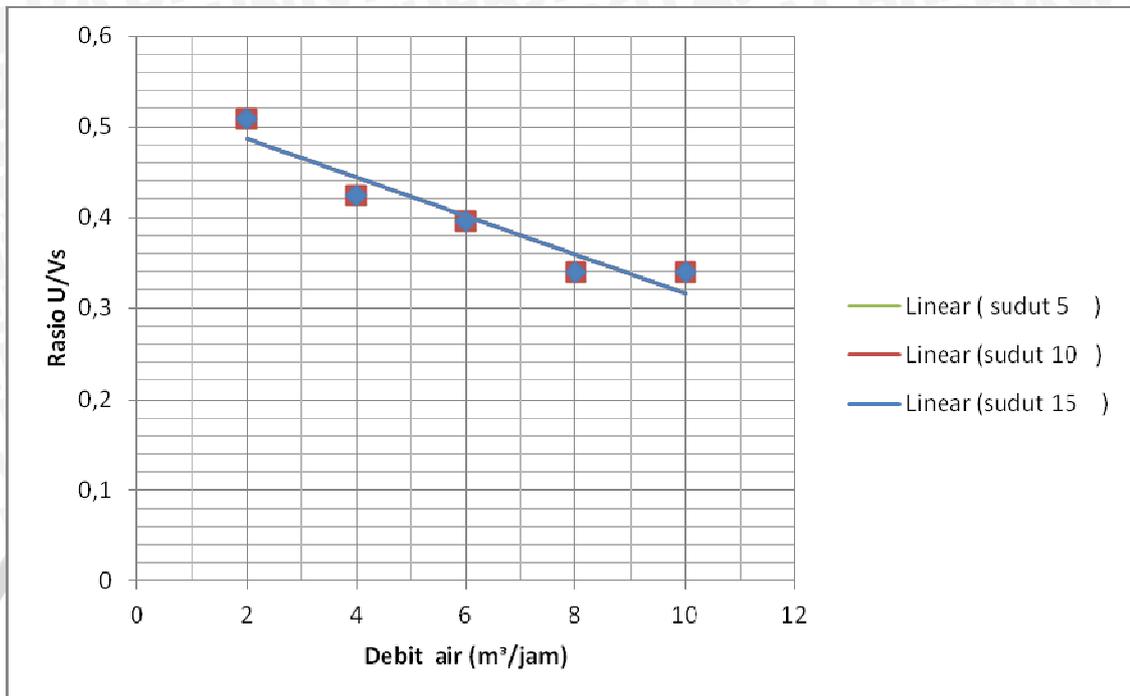
F : gaya tangensial pada poros kincir (N)

R : lengan torsi (radius pulley) (m)

n : putaran poros kincir (rpm)

Dari gambar 4.1 dapat diketahui bahwa pada debit yang sama kincir air dengan sudut kelengkungan sudu 15° mempunyai nilai daya poros yang lebih besar jika dibandingkan dengan kincir air dengan sudut kelengkungan sudu 10° , dan 5° . Sebagai contoh pada debit 2 (m^3/jam) daya poros kincir air dengan sudut kelengkungan 15° sebesar 0,03 Watt, sedangkan pada sudut kelengkungan 10° , dan 5° masing-masing memiliki daya poros sebesar 0,02 Watt dan 0,01 Watt.

4.2.2 Analisa Grafik Hubungan Antara Debit Aliran Air Terhadap Rasio U/Vs Kincir Air *Overshot*



Gambar 4.2 Grafik Hubungan Antara Debit Aliran Air Terhadap Rasio U/Vs Kincir Air *Overshot*.

Gambar diatas menunjukkan hubungan antara Debit Air terhadap Rasio U/Vs, dapat dilihat bahwa semakin bertambahnya debit maka terjadi penurunan nilai rasio U/Vs, pada ketiga variasi sudut kelengkungan. Rasio U/Vs sendiri merupakan perbandingan antara kecepatan tangensial kincir (U) dengan kecepatan aliran air (Vs) sehingga penurunan rasio U/Vs dipengaruhi oleh kecepatan aliran air, semakin tinggi kecepatan air yang mengalir pada saluran maka debit air yang dibutuhkan untuk menghasilkan kecepatan aliran juga semakin tinggi. Hal ini sesuai persamaan kontinuitas berikut :

$$Q = V_s \cdot A$$

Dimana,

A : luas penampang saluran terbuka (m^2)

Q : debit air pada pompa (m^3/s)

V_s : kecepatan aliran fluida (m/s)

Karena nilai V_s sebagai besaran pembanding, dan nilai U yang tetap maka nilai perbandingan U/V_s akan semakin menurun seiring bertambahnya kecepatan air (V_s). Nilai U sendiri didapatkan dari persamaan berikut :

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

Dimana,

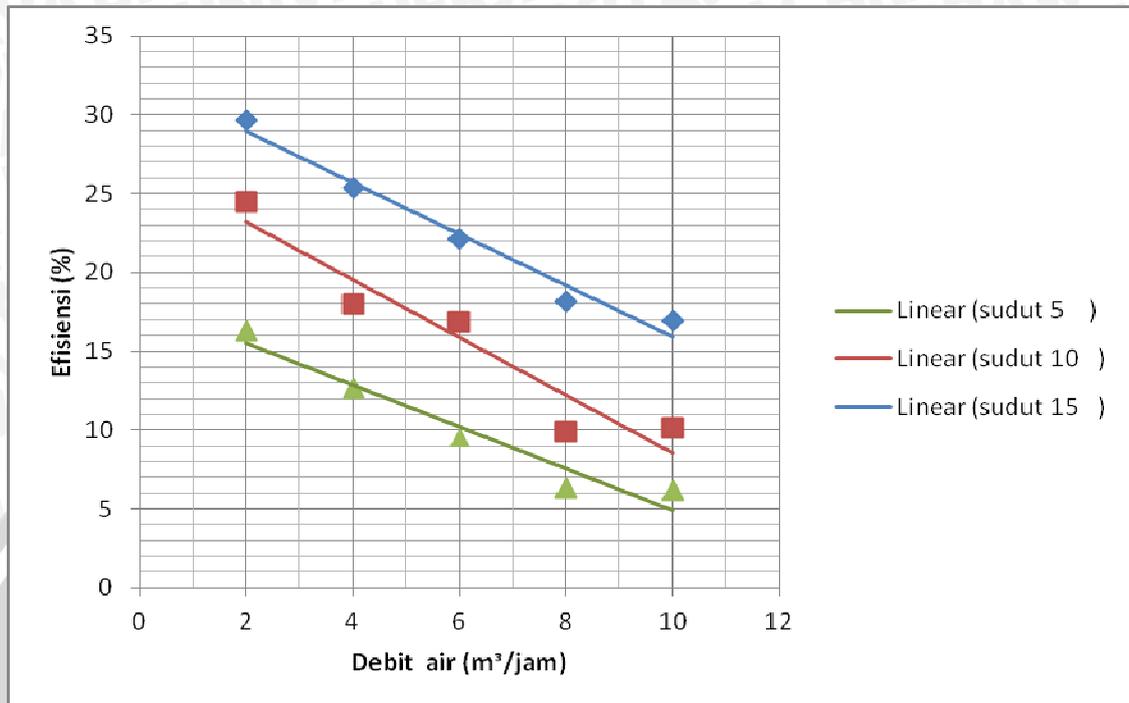
n : putaran poros kincir (rpm)

R : radius kincir (m)

Dengan jari-jari kincir yang sama yakni 0,1 m dan putaran yang dijaga konstan 30 rpm, maka nilai U juga konstan. Ketika nilai U konstan dan nilai V_s meningkat, maka rasio U/V_s akan mengalami penurunan, semakin tinggi debit aliran air maka semakin tinggi kecepatan aliran air, semakin rendah pula rasio U/V_s , nilai kecepatan tangensial kincir lebih rendah daripada kecepatan aliran air, hal ini agar aliran air yang mendorong sudu kincir tidak terbuang akibat kecepatan tangensial kincir yang lebih tinggi dari kecepatan air. Perubahan nilai rasio U/V_s ini memang tidak terlalu signifikan memberikan perubahan pada setiap variasi sudut. Hal ini lebih dikarenakan lebar saluran air sama yaitu 0,3 m, dan tinggi permukaan air dari ketiga variasi sudut juga sama.



4.2.3 Analisa Grafik Hubungan Antara Debit Aliran Air Terhadap Efisiensi Kincir Air Overshot



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Antara Debit Aliran Air Dan sudut kelengkungan Terhadap Efisiensi Kincir Air Overshot

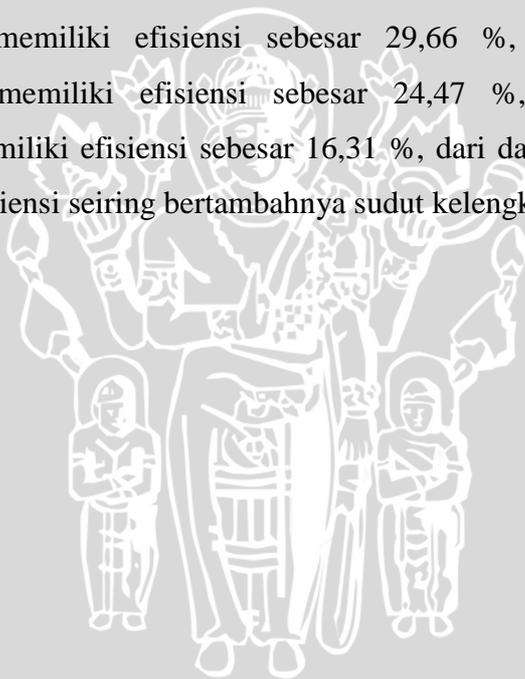
Gambar 4.4 menunjukkan kecenderungan dari ketiga variasi kincir, dapat dilihat bahwa seiring dengan meningkatnya debit aliran air, maka efisiensi kincir air menurun. Hal ini dikarenakan kenaikan daya poros (BHP) tidak sebanding dengan kenaikan daya air (WHP). Diketahui bahwa :

$$\eta = \frac{T \omega}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot Q \cdot V_s^2} \times 100 \%$$

Jika debit air semakin besar sedangkan tingkat kenaikan daya poros tidak sebanding dengan nilai debit itu sendiri maka hasil dari efisiensinya juga akan mengecil seiring dengan bertambahnya debit. Adanya ketidaksebandingan nilai ini disebabkan oleh air yang menerpa sudu kincir tidak semuanya masuk ke sudu kincir tetapi banyak volume air yang tidak tertampung pada sudu kincir. Hal tersebut mempengaruhi penambahan daya poros kincir yang tidak sebanding

dengan penambahan daya air, sehingga efisiensi kincir menurun. Tetapi dalam perbedaan variasi sudut kelengkungan, nilai efisiensi terlihat lebih besar pada sudut kelengkungan sudu 15° dibandingkan sudut kelengkungan sudu 10° dan 5° . Ini dikarenakan pada sudut 15° air yang masuk untuk menumbuk sudu-sudu kincir lebih banyak tertampung dari pada sudut kelengkungan 10° dan 5° , sehingga efisiensinya lebih tinggi. Banyaknya air yang tertampung ini akan mempengaruhi putaran kincir yang dikondisikan konstan 30 rpm, jika semakin besar putaran maka gaya pengereman pun akan semakin besar, dan seiring dengan bertambahnya gaya pengereman maka daya porospun juga meningkat.

Pada gambar diatas terlihat bahwa yang memiliki efisiensi tertinggi adalah pada variasi sudut kelengkungan 15° , kemudian sudut kelengkungan 10° , dan sudut kelengkungan 5° secara berturut-turut. Pada debit $2 \text{ m}^3/\text{jam}$ variasi sudut kelengkungan 15° memiliki efisiensi sebesar 29,66 %, pada variasi sudut kelengkungan 10° memiliki efisiensi sebesar 24,47 %, dan variasi sudut kelengkungan 5° memiliki efisiensi sebesar 16,31 %, dari data tersebut dapat kita lihat peningkatan efisiensi seiring bertambahnya sudut kelengkungan sudu.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. Daya poros tertinggi terdapat pada kincir dengan sudut kelengkungan sudu 15° dengan debit $10 \text{ m}^3/\text{jam}$ yakni sebesar 0,20 Watt. Jadi Semakin besar sudut kelengkungan dan debit air maka daya poros semakin meningkat pula. Sedangkan daya air terbesar terdapat pada kincir pada ketiga setiap variasi sudut pada kincir air dengan debit $10 \text{ m}^3/\text{jam}$ yakni sebesar 1,19 Watt.
2. Semakin tinggi debit air, maka semakin kecil nilai rasio U/V_s , nilai U/V_s tertinggi adalah pada debit $2 \text{ m}^3/\text{jam}$, untuk ketiga variasi sudut kelengkungan sudu sebesar yaitu sebesar 0.50.
3. Efisiensi tertinggi terdapat pada kincir dengan sudut kelengkungan sudu 15° pada debit $2 \text{ m}^3/\text{jam}$ yakni sebesar 29,66. Semakin besar sudut kelengkungan sudu maka efisiensi juga semakin semakin meningkat.

5.2 Saran

1. Disarankan untuk memperbesar dimensi dari kincir air agar air yang tertampung pada sudu kincir bisa tertampung seluruhnya.
2. Untuk mendapatkan data yang valid disarankan menggunakan alat ukur yang akurat agar mempermudah pada saat pengambilan data.
3. Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk memperbaiki saluran terbuka yang tidak rata agar aliran air yang akan menumbuk turbin bisa lebih fokus.



Daftar Pustaka

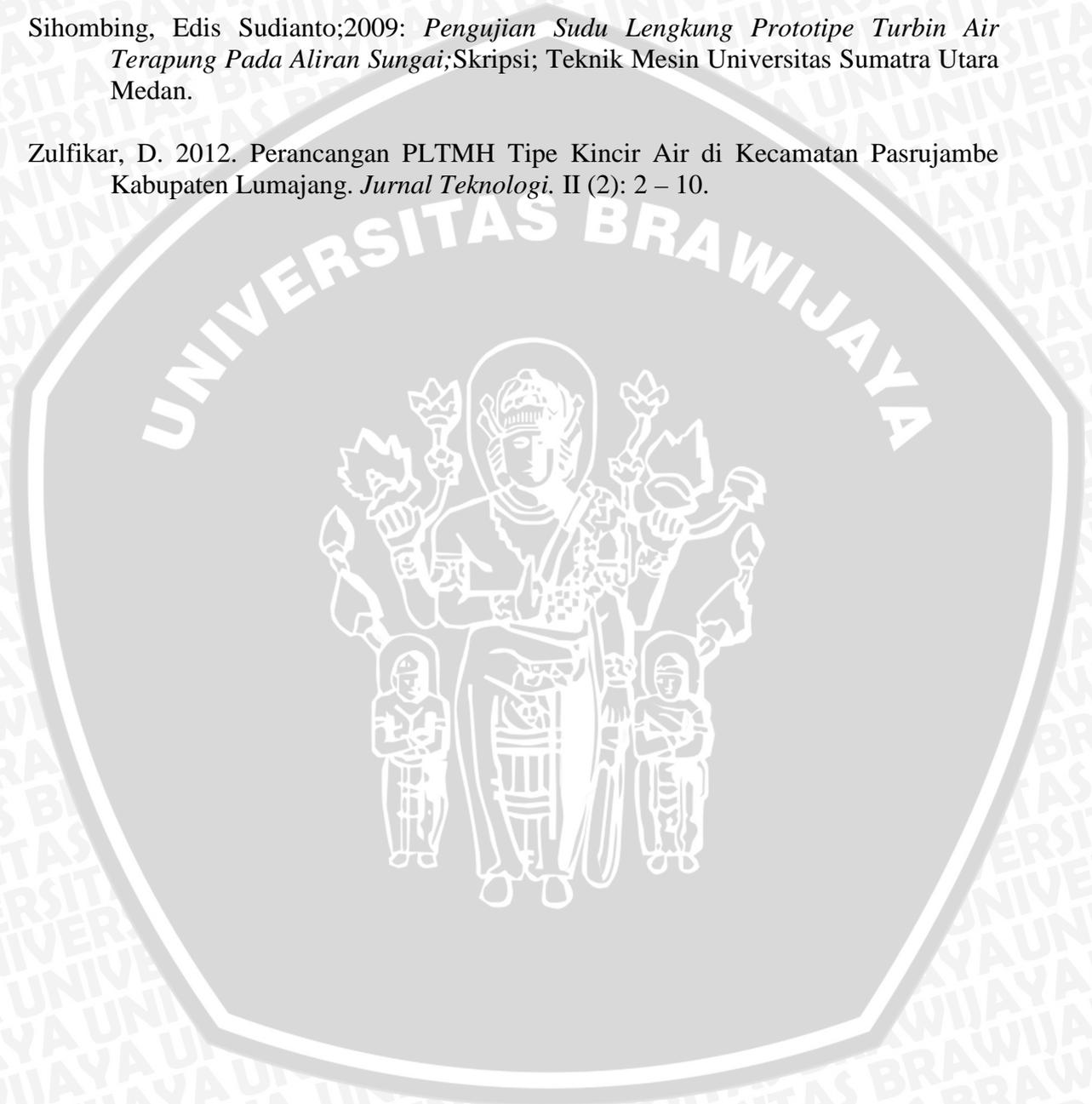
- Anonymous1*, <http://www.scribd.com/doc/73229565/Evolusi-Kincir-Air>.(diakses pada tanggal 7 juli 2013)
- Anonymous2*, <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/24300/4/Chapter%20II.pdf> f(diakses pada tanggal 19 juli 2013)
- Anonymous3*, http://id.wikipedia.org/wiki/Prinsip_Bernoulli (diakses pada tanggal 8 Agustus 2013)
- Anonymous4*, <http://akademik.che.itb.ac.id/labtek/wp-content/uploads/2012/05/alfaliran-fluid.Pdf> (diakses pada tanggal 14 Agustus 2013)
- Anonymous5*, http://feriantoraharjo.files.wordpress.com/2010/08/11_fluida.pdf (diakses pada tanggal 19 Agustus 2013)
- Anonymous6*, <http://akademik.che.itb.ac.id/labtek/wp-content/uploads/2012/05/alf-aliran fluida. pdf> (diakses pada tanggal 2 September 2013)
- Anonymous7*, http://feriantoraharjo.files.wordpress.com/2010/08/11_fluida.pdf (diakses pada tanggal 8 September 2013)
- Anonymous8*, <http://www.gunawananeva.wordpress.com/impulse-turbine/image.jpg> (diakses tanggal 4 Oktober 2013)
- Anonymous9*, <http://www.sistem-tenaga-listrik.blogspot.com/pelton-turbin> (diakses tanggal 8 Oktober 2013)
- Anonymous10*, <http://www.en.wikipedia.org/image.jpg> (diakses tanggal 5 November 2013)
- Anonymous11*, <http://www.greybullvalleyhydropower.blogspot.com> (diakses tanggal 10 Desember 2013)
- Anonymous12*, <http://www.darwin1797.wordpress.com> (diakses tanggal 22 Desember 2013)
- Anonymous13*, <http://www.umi.ac.id/kincir-air-undershot/image> (diakses tanggal 27 Desember juli 2013)
- Warnick, ce; 1990: *Hydro Power Engineering*, Inc, New York
- Darwin1797. 2009. *Pembangkit Listrik Tenaga Air Mikro Hidro*. Darwin1797.wordpress.com (diakses pada tanggal 17 september 2013)
- Dietzel, Friez; 1996: *Turbin, Pompa dan Kompresor*, Erlangga, Jakarta

Mashuri, Muhammad Irfan; 2011: *Pengaruh Variasi Head Terhadap Tingkat Kavitasi Pada Turbin Francis Poros Horizontal*; Skripsi; Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.

Amri, Syaiful; 2012: *Analisa Kinerja Kincir Air Tipe Sudu Datar Pada Sistem Aliran Overshot Dengan Variasi Lebar Sudu*; Skripsi; Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.

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

Zulfikar, D. 2012. Perancangan PLTMH Tipe Kincir Air di Kecamatan Pasrujambe Kabupaten Lumajang. *Jurnal Teknologi*. II (2): 2 – 10.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel Hasil Pengambilan Data Kincir Air Pada Sudut Kelengkungan 5°

No	Debit Aliran (m ³ /jam)	Gaya Pengereman (gram)	Tinggi Air (m)	Putaran kincir (Rpm)
1	2	73,3	0.003	30
			0.003	30
			0.003	30
2	4	163,3	0.005	30
			0.005	30
			0.005	30
3	6	213,3	0.007	30
			0.007	30
			0.007	30
4	8	256,6	0.009	30
			0.009	30
			0.009	30
5	10	313,4	0.01	30
			0.01	30
			0.01	30

Lampiran 2. Tabel Hasil Pengambilan Data Kincir Air Pada Sudut Kelengkungan 10°

No	Debit Aliran (m ³ /jam)	Gaya Pengereman (gram)	Tinggi Air (m)	Putaran kincir (Rpm)
1	2	110	0.003	30
			0.003	30
			0.003	30
2	4	233,3	0.005	30
			0.005	30
			0.005	30
3	6	376,7	0.007	30
			0.007	30
			0.007	30
4	8	400	0.009	30
			0.009	30
			0.009	30
5	10	513,3	0.01	30
			0.01	30
			0.01	30

Lampiran 3. Tabel Hasil Pengambilan Data Kincir Air Pada Sudut Kelengkungan 15°

No	Debit Aliran (m ³ /jam)	Gaya Pengereman (gram)	Tinggi Air (m)	Putaran kincir (Rpm)
1	2	100	0.003	30
			0.003	30
			0.003	30
2	4	246,7	0.005	30
			0.005	30
			0.005	30
3	6	370	0.007	30
			0.007	30
			0.007	30
4	8	550	0.009	30
			0.009	30
			0.009	30
5	10	643,3	0.01	30
			0.01	30
			0.01	30

Lampiran 4. Tabel Data Hasil Perhitungan Kincir Air Pada Sudut Kelengkungan 5 °

F (N)	debit (m ³ /s)	luas rata2 (m ²)	torsi (N m)	BHP (watt)	Vs (m/s)	rasio U/Vs	WHP (watt)	Efisiensi (%)
0,07	0,0005	0,0009	0,005	0,01	0,61	0,50	0,10	16,31
0,16	0,0011	0,0015	0,012	0,03	0,74	0,42	0,34	12,61
0,21	0,0016	0,0021	0,016	0,05	0,79	0,39	0,52	9,57
0,25	0,0022	0,0026	0,019	0,06	0,92	0,33	0,95	6,34
0,31	0,0027	0,0033	0,023	0,07	0,92	0,33	1,19	6,19



Lampiran 5. Tabel Data Hasil Perhitungan Kincir Air Pada Sudut Kelengkungan 10 °

F (N)	debit (m ³ /s)	luas rata2 (m ²)	torsi (N m)	BHP (watt)	Vs (m/s)	rasio U/Vs	WHP (watt)	Efisiensi (%)
0,11	0,0005	0,0009	0,008	0,02	0,61	0,50	0,10	24,47
0,23	0,0011	0,0015	0,017	0,05	0,74	0,42	0,30	18,02
0,37	0,0016	0,0021	0,028	0,08	0,79	0,39	0,52	16,89
0,4	0,0022	0,0024	0,030	0,09	0,92	0,33	0,95	9,88
0,51	0,0027	0,003	0,038	0,12	0,92	0,33	1,19	10,15



Lampiran 6. Tabel Data Hasil Perhitungan Kincir Air Pada Sudut Kelengkungan 15 °

F (N)	debit (m ³ /s)	luas rata2 (m)	torsi (N m)	BHP (watt)	Vs (m/s)	rasio U/Vs	WHP (watt)	Efisiensi (%)
0,1	0,00055	0,0009	0,01	0,03	0,61	0,50	0,10	29,66
0,24	0,00111	0,0015	0,024	0,07	0,74	0,42	0,30	25,40
0,37	0,00166	0,0021	0,037	0,11	0,79	0,39	0,52	22,13
0,55	0,00222	0,0024	0,055	0,17	0,92	0,33	0,95	18,12
0,64	0,00277	0,0033	0,064	0,20	0,92	0,33	1,19	16,96



Lampiran 7. Dokumentasi Penelitian



Gambar : Kincir Air Variasi Sudut Kelengkungan 5°



Gambar : Kincir Air Variasi Sudut Kelengkungan 10°



Gambar : Kincir Air Variasi Sudut Kelengkungan 15°



Gambar : Tampak depan Instalasi Penelitian



Gambar : Proses Pengukuran Pada Neraca Pegas



Gambar : Tampak Kincir Air siap Uji