

**PENGARUH JUMLAH SUDU TERHADAP UNJUK KERJA
KINCIR AIR TIPE SUDU LENGKUNG *UNDERSHOT***

**SKRIPSI
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun Oleh :

MERVYN Y. SIMARMATA

NIM. 105060200111039 – 62

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

2015

LEMBAR PERSETUJUAN

PENGARUH JUMLAH SUDU TERHADAP UNJUK KERJA KINCIR AIR TIPE SUDU LENGKUNG *UNDERSHOT*

SKRIPSI KONSENTRASI KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :
MERVYN Y. SIMARMATA
NIM. 10105060200111039 – 62

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

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

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH JUMLAH SUDU TERHADAP UNJUK KERJA
KINCIR AIR TIPE SUDU LENGKUNG *UNDERSHOT***

**SKRIPSI
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :
MERVYN Y. SIMARMATA
NIM. 105060200111039 – 62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 29 Januari 2015

Penguji Skripsi I

Penguji Skripsi II

Dr.Eng. Eko Siswanto, ST., MT.
NIP. 19701017 199802 1 001

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

Penguji Skripsi III

Francisca Gayuh Utami Dewi, ST., MT.
NIP. 820919 06 1 2 0259

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Dr.Eng. Widya Wijayanti, ST., MT.
NIP. 19750802 199903 2 002

PENGANTAR

Segala puji syukur dan kemuliaan hanya kepada Tuhan Yesus Kristus atas segala limpahan kasih karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Kincir Air Tipe Sudu Lengkung Undershot”**.

Dalam menyusun laporan kerja praktek ini penulis memperoleh bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng., Dr.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Bapak Purnami, ST., MT. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang dan Dosen Penasehat.
3. Ibu Widya Wijayanti, ST., MT., Dr. Eng. selaku Kepala Program Studi S1 sekaligus Ketua Kelompok Dasar Keahlian Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
4. Bapak Prof. Dr. Ir.Rudy Soenoko, M.Eng.Sc. selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan bimbingan, masukan dan ilmu yang bermanfaat selama proses penyusunan skripsi ini.
5. Ayahanda dan Ibunda tercinta yang dengan penuh kesabaran dan kasih sayang mendukung serta memanjatkan doa hingga menghantarkan penulis dari awal sampai akhir penyusunan skripsi ini.
6. Teman-teman M'10, UAKK, dan YEHEZKIEL untuk segala dukungan yang telah diberikan.
7. Seluruh pihak terkait yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat kekurangan, hal ini dikarenakan keterbatasan ilmu dan pengetahuan yang dimiliki. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun agar kedepannya menjadi lebih baik.

Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi yang sederhana ini bermanfaat bagi semua pihak.

Malang, Januari 2015

DAFTAR ISI

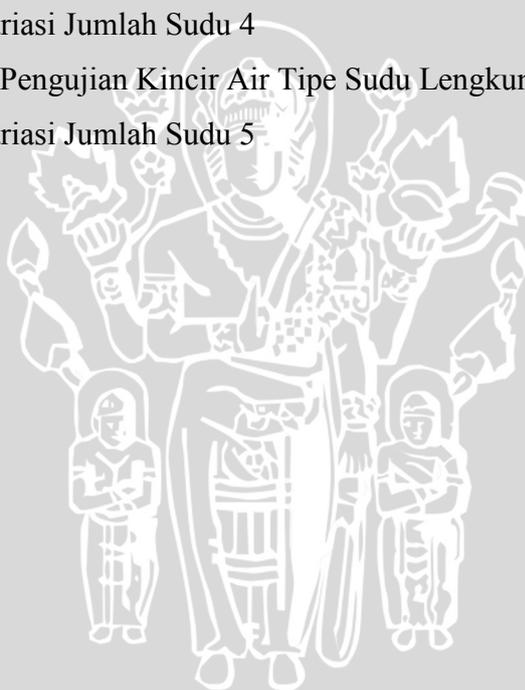
	Halaman
PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR LAMPIRAN	vi
DAFTAR SIMBOL	vii
RINGKASAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Penelitan Sebelumnya	3
2.2 Turbin Air	4
2.2.1 Definisi Turbin Air	4
2.2.2 Klasifikasi Turbin Air	5
2.2.2.1 Turbin Impuls	5
2.2.2.2 Turbin Reaksi	6
2.2.3 Kincir Air	9
2.3 Kinerja Kincir Air	12
2.3.1 Torsi	12
2.3.2 Debit Aliran Air	13
2.3.3 Brake Horse Power (BPH)	13
2.3.4 Water Horse Power (WHP)	13
2.3.5 Rasio (U/Vs)	14
2.3.6 Efisiensi Kincir Air	14
2.4 Hipotesa	15

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	16
3.1 Metode Penelitian.....	16
3.2 Variabel Penelitian.....	16
3.3 Alat yang Digunakan.....	16
3.4 Instalasi Penelitian.....	21
3.5 Prosedur Pelaksanaan Penelitian.....	22
3.6 Tempat Penelitian.....	23
3.7 Diagram Alir Penelitian.....	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	24
4.1 Analisa Data.....	24
4.1.1 Data Hasil Penelitian.....	24
4.1.2 Perhitungan Data.....	26
4.1.3 Data Hasil Perhitungan.....	28
4.2 Analisa Grafik dan Pembahasan.....	30
4.2.1 Analisa Grafik Hubungan antara Debit Aliran Air dan Jumlah Sudu terhadap Daya Poros (BHP) Kincir Air <i>Undershot</i>	30
4.2.2 Analisa Hubungan antara Debit Aliran Air terhadap Daya Air (WHP).....	33
4.2.3 Analisa Grafik Hubungan antara Debit Aliran Air dan Jumlah Sudu terhadap Efisiensi Kincir Air <i>Undershot</i>	35
4.2.4 Analisa Grafik Pengaruh Rasio U/Vs dan Jumlah Sudu terhadap Efisiensi Kincir Air <i>Undershot</i>	37
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	39
5.1 Kesimpulan.....	39
5.2 Saran.....	39
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 4.1	Hasil pengambilan data pengujian kincir air tipe sudu lengkung dengan variasi jumlah sudu 3	24
Tabel 4.2	Hasil pengambilan data pengujian kincir air tipe sudu lengkung dengan variasi jumlah sudu 4	25
Tabel 4.3	Hasil pengambilan data pengujian kincir air tipe sudu lengkung dengan variasi jumlah sudu 5	26
Tabel 4.4	Data Hasil Pengujian Kincir Air Tipe Sudu Lengkung Dengan Variasi Jumlah Sudu 3	28
Tabel 4.5	Data Hasil Pengujian Kincir Air Tipe Sudu Lengkung Dengan Variasi Jumlah Sudu 4	29
Tabel 4.6	Data Hasil Pengujian Kincir Air Tipe Sudu Lengkung Dengan Variasi Jumlah Sudu 5	29



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Turbin Impuls	5
Gambar 2.2	Turbin <i>Pelton</i>	6
Gambar 2.3	Turbin Reaksi	6
Gambar 2.4	Turbin <i>Kaplan</i>	7
Gambar 2.5	Turbin <i>Francis</i>	8
Gambar 2.6	Instalasi Turbin <i>Propeller</i>	8
Gambar 2.7	Kincir Air <i>Overshot</i>	9
Gambar 2.8	Kincir Air <i>Undershot</i>	10
Gambar 2.9	Kincir Air <i>Breastshot</i>	11
Gambar 2.10	Kincir Air <i>Tub</i>	12
Gambar 3.1	Pompa	17
Gambar 3.2	<i>Magnetic Flowmeter</i>	18
Gambar 3.3	Neraca Pegas	19
Gambar 3.4	Digital Tachometer	20
Gambar 3.5	Kincir Air dengan Jumlah Sudu 3	20
Gambar 3.6	Kincir Air dengan Jumlah Sudu 4	21
Gambar 3.7	Kincir Air dengan Jumlah Sudu 5	21
Gambar 3.8	Instalasi Penelitian	21
Gambar 3.9	Diagram Alir Penelitian	23
Gambar 4.1	Grafik Hubungan antara Debit Aliran Air dan Jumlah Sudu terhadap Daya Poros (BHP) Kincir Air <i>Undershot</i>	30
Gambar 4.2	Hubungan antara Debit Aliran Air terhadap Daya Air (WHP)	33
Gambar 4.3	Grafik Hubungan antara Debit Aliran Air dan Jumlah Sudu terhadap Efisiensi Kincir Air <i>Undershot</i>	35
Gambar 4.4	Grafik Pengaruh Rasio U/Vs dan Jumlah Sudu terhadap Efisiensi Kincir Air <i>Undershot</i>	37

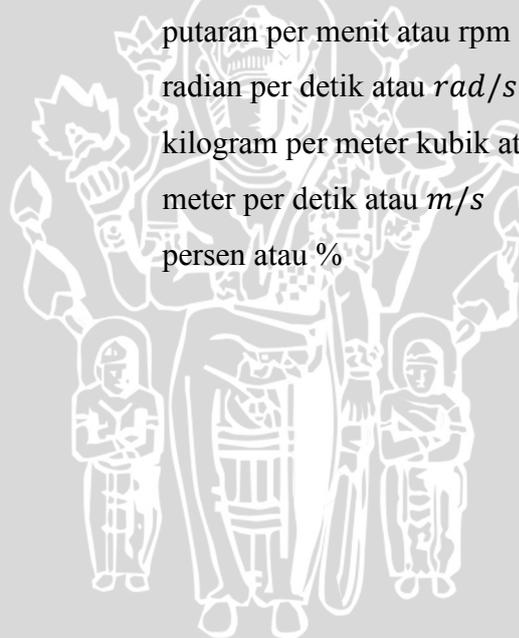
DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Tabel Perhitungan Data pada Semua Variasi	41
Lampiran 2.	Foto Dokumentasi Pengujian Kincir Air	42
Lampiran 3.	Gambar Kincir Air Pada Semua Variasi	44



DAFTAR SIMBOL

Besaran dasar	Satuan dan Singkatannya	Simbol
Torsi	Newton meter atau Nm	T
Gaya tangensial	Newton atau N	F
Radius	meter atau m	R
Debit air	meter kubik per detik atau m^3/s	Q
Kecepatan aliran	meter per detik atau m/s	Vs
Luas penampang	meter kuadrat atau m^2	A
Watt	Watt	W
<i>Brake horse power</i>	Watt atau W	BHP
<i>Water horse power</i>	Watt atau W	WHP
Putaran	putaran per menit atau rpm	n
Kecepatan sudut	radian per detik atau rad/s	ω
Massa jenis	kilogram per meter kubik atau kg/m^3	ρ
Kecepatan keliling	meter per detik atau m/s	U
Efisiensi	persen atau %	η



RINGKASAN

Mervyn Yudikaputra Simarmata, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Desember 2014, *Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Kincir Air Tipe Sudu Lengkung Undershot*, Dosem Pembimbing: Rudy Soenoko.

Dengan meningkatnya pemakaian energi listrik setiap tahun yang sebagian besar berasal dari bahan bakar fosil, terjadi penipisan enery yang tidak terbarukan dan peningkatan polusi. Salah satu alternatif adalah energi terbarukan seperti kincir air dimana saat ini efisiensinya masih rendah. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan dan mengetahui efisiensi kincir air dengan aliran *undershot*.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental nyata (*true experimental research*). Pengujian ini menggunakan kincir air yang terbuat dari pipa PVC dengan tipe sudu lengkung dengan lebar 30 cm, tinggi 20 cm, dengan aliran *undershot*. Variasi yang digunakan adalah jumlah sudu sebanyak 3 buah, 4 buah, dan 5 buah dengan aliran air sebesar $20 \text{ m}^3/\text{jam}$ hingga $30 \text{ m}^3/\text{jam}$.

Dari hasil Pengujian, dapat disimpulkan bahwa dengan jumlah sudu yang semakin banyak maka efisiensi akan meningkat. Efisiensi tertinggi terdapat pada jumlah sudu 5 dengan aliran air $30 \text{ m}^3/\text{jam}$ sebesar 70,29 %

Kata Kunci: kincir air sudu lengkung, jumlah sudu, unjuk kerja, *undershot*.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Dengan kemajuan teknologi dan perkembangan zaman, kebutuhan energi akan selalu meningkat tiap tahun, baik untuk kepentingan rumah tangga maupun industri. Dimana Energi listrik yang digunakan berasal dari sumber energi tak terbarukan seperti bahan bakar fosil. Menggunakan sumber energi tak terbaharukan 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. Satu hal yang perlu juga diperhatikan bahwa penggunaan bahan bakar tak terbaharukan tersebut akan menambah jumlah karbondioksida (CO_2) di udara bebas semakin meningkat yang dapat mengganggu dan mencemari kehidupan lingkungan.

Masalah pemenuhan kebutuhan akan energi listrik pun dapat diselesaikan dengan membangun sebuah instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dan salah satu jenis Pembangkit 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.

Penelitian tentang mendapatkan efisiensi yang tinggi dari kincir air telah banyak dilakukan, diantaranya lebar sudu mempengaruhi kinerja kincir air tipe sudu lengkung *overshot*, sistem aliran fluida mempengaruhi kinerja kincir air, tebal sudu mempengaruhi kinerja kincir air tipe sudu datar *overshot*, tinggi sudu mempengaruhi kinerja kincir air tipe sudu datar *overshot*, dan jumlah sudu mempengaruhi kinerja kincir air tipe sudu lengkung *overshot*. Kincir air yang sudah banyak digunakan adalah kincir air dengan sistem aliran *overshot*, sedangkan jenis kincir ada banyak, seperti kincir air *breastshot*, *tub*, dan *undershot*. Instalasi kincir air *undershot* lebih mudah untuk dibuat jika dibandingkan dengan kincir air jenis lain. Oleh karena itu untuk meningkatkan dan mengetahui efisiensinya maka dilakukan penelitian tentang pengaruh variasi jumlah sudu terhadap kinerja kincir air tipe sudu lengkung *undershot*.

1.2 Rumusan Masalah

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

1.3 Batasan masalah

Batasan masalah pada penelitian ini meliputi :

1. Kondisi dianggap *steady state / steady flow*.
2. Fluida yang dipakai adalah air.
3. Kinerja yang diteliti meliputi rasio U/Vs, daya, dan efisiensi kincir air.
4. Jenis saluran yang digunakan adalah saluran terbuka.
5. Sistem aliran yang digunakan adalah *undershot*.
6. Konstruksi kincir air
 - Lebar sudu yang digunakan 0.3 m
 - Tinggi sudu yang digunakan 0.07 m
 - Terdiri dari satu roda.
 - Jenis / tipe sudu yang digunakan adalah tipe sudu lengkung.
 - Bahan yang dipakai adalah pvc berbentuk setengah lingkaran, kecuali bantalan dan *pulley*.
 - Diameter kincir 0.2 m
 - Sudut kelengkungan 15°
7. Putaran kincir air yang digunakan adalah 50 rpm.
8. Jumlah sudu yang digunakan adalah 3 buah, 4 buah, dan 5 buah.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja kincir air tipe sudu lengkung pada sistem aliran *undershot* dengan variasi jumlah sudu.

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 *undershot* dengan variasi jumlah sudu.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Edis Sudianto 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.

Beliau 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. Semakin tinggi pembebanan lampu yang dipasang, maka semakin rendah daya yang dihasilkan putaran alternator.

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 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 $10 \text{ m}^3/\text{jam}$, $12 \text{ m}^3/\text{jam}$, $14 \text{ m}^3/\text{jam}$, $16 \text{ m}^3/\text{jam}$, $18 \text{ m}^3/\text{jam}$, $20 \text{ m}^3/\text{jam}$.

Dari penelitiannya didapatkan efisiensi terbesar dari lebar sudu 0,4 m adalah pada debit $20 \text{ m}^3/\text{jam}$ yaitu 70,02 %, sedangkan efisiensi terendah adalah pada debit $10 \text{ m}^3/\text{jam}$ yaitu 51,48 %. Pada lebar sudu 0,5 m memiliki efisiensi tertinggi pada debit $20 \text{ m}^3/\text{jam}$ yaitu 62,36 %, sedangkan efisiensi terendah pada debit $10 \text{ m}^3/\text{jam}$ yaitu 39,07 %, Efisiensi tertinggi adalah pada lebar sudu 0,4 m yaitu 70,02 %. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa 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.

Gede Arif Surya Mardana (2014), melakukan penelitian tentang pengaruh lebar sudu terhadap unjuk kerja kincir air tipe sudu lengkung pada sistem aliran *overshot* di laboratorium Mesin-Mesin Fluida Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Pada penelitiannya digunakan 3 variasi lebar sudu yaitu 300, 400, dan 500 mm, dan pada debit air sebesar 2, 4, 6, 8, dan 10 m³/jam. Dari hasil penelitian dapat diketahui bahwa unjuk kerja kincir air sudu lengkung *overshot* dipengaruhi oleh variasi lebar sudu. Dan dari data hasil penelitian beliau memperoleh efisiensi tertinggi pada variasi lebar sudu 400 mm dengan debit aliran air 2 m³/jam dengan efisiensi sebesar 63,29%.

Hardianto Dwi Siswandi (2014), melakukan penelitian tentang pengaruh jumlah sudu terhadap unjuk kerja kincir air tipe sudu lengkung dengan system aliran *overshot* di laboratorium Mesin-Mesin Fluida Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Pada penelitiannya digunakan 3 variasi jumlah sudu yaitu 3 buah, 4 buah, dan 5 buah pada kincir air *undershot* tipe sudu lengkung dengan kelengkungan terhadap pusat poros 15°. Debit air yang digunakan pada pengujiannya adalah 2 m³/jam, 4 m³/jam, 6 m³/jam, 8 m³/jam, dan 10 m³/jam.

Dari pengujian tersebut didapatkan Daya poros tertinggi adalah pada variasi jumlah sudu 5 yaitu sebesar 0.05 Watt, kemudian variasi jumlah sudu 4 yaitu sebesar 0.04 Watt, dan variasi jumlah sudu 3 yaitu sebesar 0.03 Watt. Semakin banyak jumlah sudu, maka daya poros semakin meningkat. Daya poros tertinggi adalah pada debit 10 m³/jam, pada jumlah sudu 3 yaitu sebesar 0.1 Watt, pada jumlah sudu 4 yaitu sebesar 0.12 Watt, pada jumlah sudu 5 sebesar 0.17 Watt. Efisiensi tertinggi adalah pada jumlah sudu 5 yaitu sebesar 50,4 %, kemudian variasi jumlah sudu 4 yaitu sebesar 38,5 %, dan variasi jumlah sudu 3 yaitu 36,3 %. Semakin banyak jumlah sudu maka efisiensi semakin meningkat.

2.2 Turbin Air

2.2.1. Definisi Turbin Air

Turbin air adalah mesin konversi energi yang mengambil energi kinetik dari aliran fluida menjadi energi mekanik pada poros turbin berupa putaran yang nantinya akan menghasilkan listrik. Turbin air dikembangkan pada awal abad ke-19 dan digunakan secara luas untuk tenaga industri sebelum adanya jaringan listrik. Sekarang mereka digunakan untuk pembangkit tenaga listrik. Turbin air adalah salah satu sumber energi yang bersih dan terbarui.

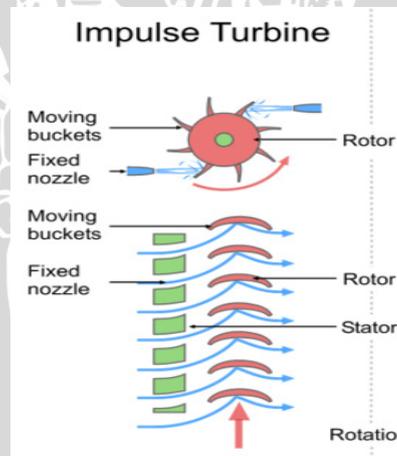
2.2.2. Klasifikasi Turbin Air

Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik, maka turbin air dibagi menjadi dua yaitu:

1. Turbin impuls
2. Turbin reaksi

2.2.2.1 Turbin Impuls

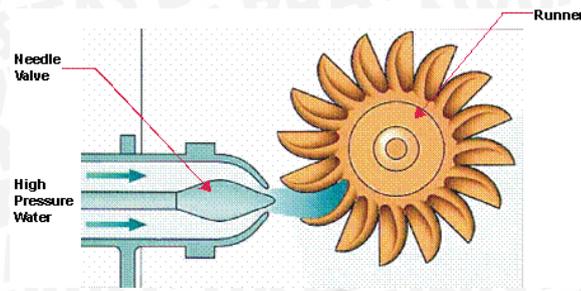
Turbin impuls merupakan turbin yang digerakkan oleh sebuah atau beberapa pancaran air (*water jet*) berkecepatan tinggi dari *nozzle*. Prinsip kerjanya yaitu mengubah energi potensial dari air menjadi energi kinetik pada *nozzle*. Pada saat air melewati *nozzle* seluruh energi yang terdapat pada air 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.



Gambar 2.1 Turbin Impuls

Sumber: Anonymous 1

Salah satu contoh turbin impuls adalah turbin *pelton*. Turbin *Pelton* terdiri dari satu set sudu yang digerakkan oleh semburan air dari *nozzle* dengan kecepatan yang tinggi. Turbin jenis ini cocok digunakan untuk *head* yang tinggi (>300m) dengan aliran yang kecil.

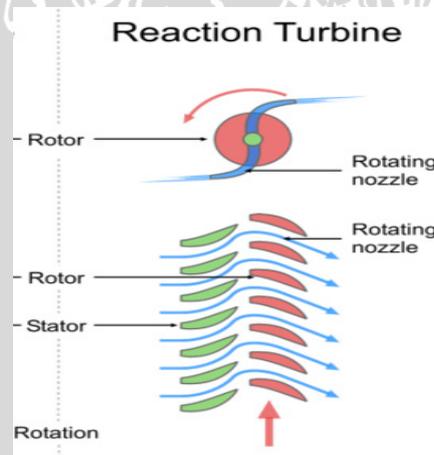


Gambar 2.2 Turbin Pelton

Sumber: Anonymous 2

2.2.2.2 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 *propeller*, turbin *kaplan*, dan turbin *francis*.



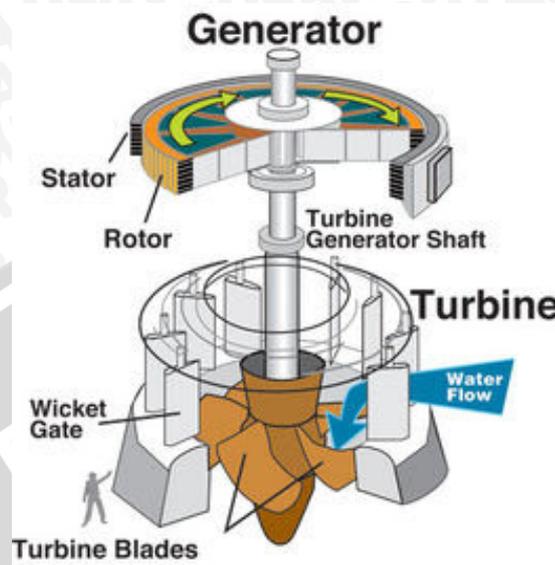
Gambar 2.3 Turbin Reaksi

Sumber: Anonymous 1

1. Turbin Kaplan

Turbin ini mempunyai roda jalan yang mirip dengan baling-baling pesawat terbang. Bila baling-baling pesawat terbang berfungsi untuk menghasilkan gaya dorong, roda jalan pada *kaplan* berfungsi untuk menghasilkan gaya F yaitu gaya putar yang bisa menghasilkan torsi pada poros turbin. 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.

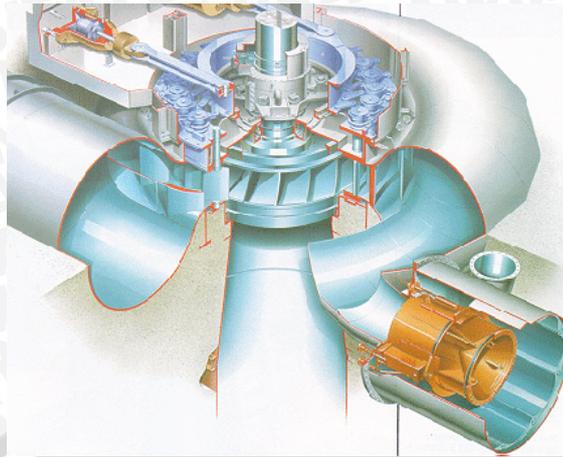


Gambar 2.4 Turbin Kaplan

Sumber: Anonymous 2

2. 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 putarannya 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.

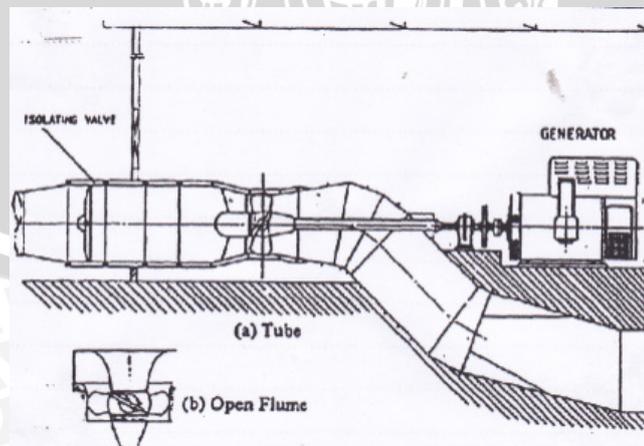


Gambar 2.5 Turbin *Francis*

Sumber: Anonymous 2

3. *Propeller*

Turbin *propeller* dapat dipasang pada posisi poros horizontal maupun vertikal. Turbin ini mempunyai 3 bagian utama yaitu *runner*, *guide vane*, dan rumah turbin (*casing*). Pada prinsipnya, turbin ini mirip dengan turbin *francis* hanya terdapat perbedaan pada sudu *runner* dan poros serta hubungannya. Turbin ini digunakan untuk pemanfaatan potensio hidro 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 2.6 Instalasi Turbin *Propeller*

Sumber: Warnick ce, Hydro Power Engineering (19)

Dengan melihat jenis sudu, maka sudu turbin *propeller* dapat dibagi menjadi dua, yaitu:

- a. Sudu tetap (*fixed blade*), turbin jenis ini merupakan turbin generasi pertama dari jenis ini. Karena sudu tidak dapat diatur, maka efisiensinya berkurang jika digunakan pada kisaran debit yang lebar. Oleh karena itu dikembangkan jenis dengan sudu yang dapat diatur agar efisiensi tetap tinggi walaupun kisaran debitnya lebar.
- b. Sudu dapat diatur (*adjustable blade*), contoh *Kaplan*, *nagler*, *bulb*, *moody*.

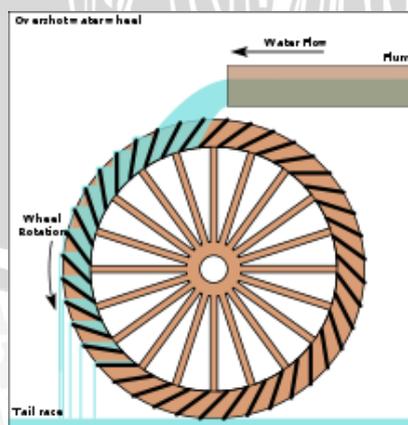
2.2.3. Kincir Air

Kincir air adalah jenis turbin impuls yang paling sederhana dan telah lama digunakan oleh masyarakat. Untuk operasi yang tidak terlalu berat, turbin jenis ini bisa menggunakan kayu sebagai bahan utama. Tetapi untuk operasi kincir air pada tinggi jatuh air yang besar membutuhkan kekuatan yang lebih tinggi, maka bahan kincir biasanya menggunakan material logam seperti *aluminium* atau besi.

Kincir air adalah suatu turbin yang merubah energi air (energi potensial dan kinetik) menjadi energi mekanik pada poros kincir. Secara umum kincir air dikelompokkan menjadi beberapa tipe:

1. Kincir air *Overshot*

Bila air mengalir jatuh ke dalam bagian sudu-sudu sisi bagian atas maka kincir disebut kincir *overshot*. Kincir *overshot* adalah kincir yang paling banyak digunakan dibandingkan dengan kincir lain.



Gambar 2.7 Kincir Air *Overshot*

Sumber: Anonymous 3

Keuntungan:

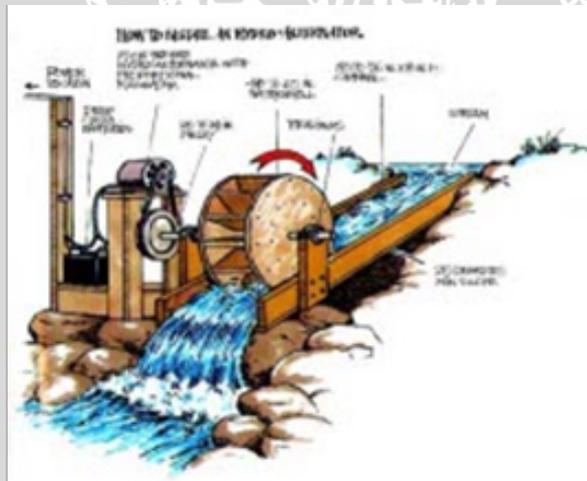
- Tingkat efisiensi tinggi, dapat mencapai 85 %
- Tidak membutuhkan aliran yang deras
- Konstruksi sederhana
- Perawatan yang mudah
- Mudah diterapkan di daerah terisolir

Kerugian

- Memerlukan reservoir karena aliran yang berasal dari atas
- Tidak dapat diterapkan untuk mesin putaran tinggi
- Membutuhkan ruang yang lebih luas untuk penempatan
- Daya yang dihasilkan relatif kecil

2. Kincir air *Undershot*

Bila air mengalir menghantam dinding sudu pada bagian bawah maka kincir disebut kincir *undershot*. Kincir ini tidak mempunyai tambahan keuntungan *head* karena posisinya yang rata dengan aliran air.



Gambar 2.8 Kincir Air *Undershot*

Sumber: Anonymous 3

Keuntungan

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

Kerugian

- Efisiensi tidak terlalu tinggi
- Daya yang dihasilkan relatif rendah

3. Kincir air *Breastshot*

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



Gambar 2.9 Kincir Air *Breastshot*

Sumber: Anonymous 3

Keuntungan

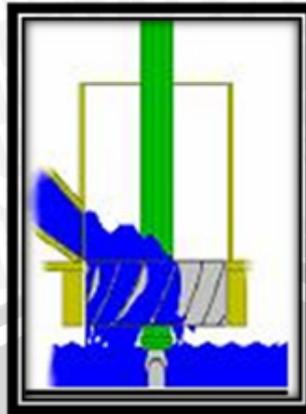
- Lebih efisien dari pada kincir *undershot*
- Tinggi jatuh air lebih rendah dibandingkan dengan kincir *overshot*
- Dapat diaplikasikan pada sumber air dengan aliran datar

Kerugian

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

4. Kincir air *Tub*

Kincir air *tub* merupakan kincir air yang kincirnya diletakkan secara horizontal dengan posisi poros vertikal. Karena arah gaya dari jatuhnya air menyamping maka energi yang diterima oleh kincir adalah energi kinetik.



Gambar 2.10 Kincir Air *Tub*

Sumber: Anonymous 3

Keuntungan

- Konstruksi yang lebih ringkas
- Kecepatan putar lebih cepat

Kerugian

- Tidak menghasilkan daya yang besar
- Memerlukan ketelitian yang lebih teliti dikarenakan komponen yang lebih kecil

2.3 Kinerja Kincir Air

Untuk dapat mengetahui kinerja kincir air, kita akan menggunakan beberapa parameter antara lain: Torsi, Debit Aliran Air, *Brake Horse Power* (BHP), *Water Horse Power* (WHP), Rasio U/Vs, dan efisiensi kincir air.

2.3.1 Torsi

Torsi didapatkan dari pengukuran gaya dengan menggunakan neraca pegas, kemudian hasilnya dikalikan dengan lengan pengukur momen (l).

$$T = F \times l \quad (2-1)$$

dengan :

T = Torsi (Nm)

F = Gaya pengereman (N)

l = Lengan torsi (radius puli) (m)

2.3.2 Debit Aliran Air

Untuk menentukan debit aliran air kita harus menentukan terlebih dahulu kecepatan air V_s (m/s) dengan menggunakan alat ukur *magnetic flowmeter*. Dengan menggunakan persamaan berikut kita dapat menentukan debit air.

$$Q = V_s \times A \quad (2-2)$$

dengan:

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

V_s = kecepatan aliran fluida (m/s)

A = luas penampang saluran terbuka (m^2)

2.3.3 Brake Horse Power (BHP)

Brake Horse Power atau disingkat dengan BHP adalah daya yang diterima oleh kincir air yang diukur setelah mengalami pembebanan. *Brake Horse Power* dapat diukur dengan menggunakan rumus berikut.

$$BHP = T \times \omega \text{ (watt)} \quad (2-3)$$

dengan :

BHP = *Brake Horse Power* (Watt)

T = Torsi (Nm)

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

2.3.4 Water Horse Power (WHP)

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

$$WHP = \frac{1}{2} \times \rho \times Q \times V_s^2 \text{ (watt)} \quad (2-4)$$

atau

$$WHP = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times V_s^3 \text{ (watt)} \quad (2-5)$$

\
dengan :

WHP = *Water Horse Power* (Watt)

ρ = Massa jenis air (kg/m^3)

Q = Debit air pada pompa (m^3/s)

V_s = Kecepatan aliran air (m/s)

A = Luas penampang saluran terbuka (m^2)

2.3.5 Rasio (U/ V_s)

Rasio U/ V_s adalah perbandingan antara kecepatan keliling (U) dengan kecepatan aliran air (V_s) yang digunakan untuk menentukan dimensi kincir, terutama radius kincir. Rasio U/ V_s dapat ditentukan dengan rumus berikut.

$$\frac{U}{V_s} = \frac{\omega \times R}{V_s} \quad (2-6)$$

dengan :

U = Kecepatan keliling kincir (m/s)

V_s = Kecepatan aliran air (m/s)

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

R = Radius kincir (m)

2.3.6 Efisiensi Kincir Air

Efisiensi kincir air merupakan perbandingan Antara daya yang dihasilkan pada putaran poros kincir (BPH) dengan daya yang diberikan oleh aliran fluida (WHP). Efisiensi kincir air ini menunjukkan kemampuan dari kincir air dalam mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik pada putaran poros kincir air. Efisiensi kincir air dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\eta = \frac{BHP}{WHP} \times 100\% \quad (2-7)$$

dengan :

η = Efisiensi turbin (%)

BHP = *Brake Horse Power* (Watt)

WHP = *Water Horse Power* (Watt)

2.4 Hipotesa

Pada debit yang sama, semakin banyak jumlah sudu kincir air maka gaya yang diterima oleh sudu akan semakin besar, jika gaya semakin besar maka besarnya torsi akan meningkat. Pada debit yang berbeda, semakin besar debit aliran air maka gaya yang diterima oleh sudu akan semakin besar sehingga besarnya torsi akan meningkat. Semua ini sesuai dengan persamaan torsi, yaitu:

$$T = F \times l \quad (2-1)$$

Dengan meningkatnya nilai torsi maka daya poros kincir (BHP) juga akan meningkat, hal ini sesuai dengan persamaan:

$$BHP = T \times \omega \text{ (watt)} \quad (2-3)$$

Daya pada poros kincir air yang semakin meningkat akan berpengaruh pada efisiensi kincir air, hal ini sesuai dengan rumus efisiensi yaitu:

$$\eta = \frac{BHP}{WHP} \times 100\% \quad (2-7)$$

Jadi, dengan semakin banyak jumlah sudu, dan semakin besar debit aliran air, maka efisiensi dari kincir air sendiri akan semakin tinggi.

BAB III METODOLOGI 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 dan tidak dipengaruhi variabel lain, variabel bebas pada penelitian ini Antara lain variasi jumlah sudu kincir air 3, 4, dan 5 buah. Serta debit air (m^3/jam) yaitu $20 m^3/jam$ hingga $30 m^3/jam$.

2. Variabel terikat (*dependant 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 air (WHP) (Watt)
- Daya poros (BHP) (Watt)
- Efisiensi (%)

3. Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya dijaga konstan, dan nilainya ditentukan sebelum penelitian. Variabel terkontrol dari penelitian ini adalah:

- Putaran poros kincir air 50 rpm

3.3 Alat yang Digunakan

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 berikut.



Gambar 3.1 Pompa

Sumber: laboratorium Fluida Teknik Mesin Universitas Brawijaya

Spesifikasi pompa

Merk : Ebara Pump

Hmax : 10 m

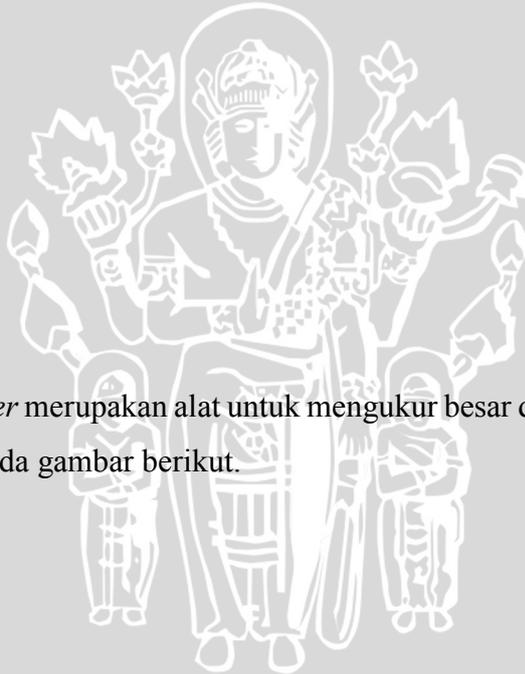
O max : $1.5 \text{ m}^3/\text{jam}$

Power : 5 HP

Speed : 1800 rpm

2. *Magnetic flowmeter*

Magnetic flowmeter merupakan alat untuk mengukur besar debit air pada instalasi seperti ditunjukkan pada gambar berikut.





Gambar 3.2 *Magnetic flowmeter*

Sumber: laboratorium Fluida Teknik Mesin Universitas Brawijaya

Spesifikasi *magnetic flowmeter*

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

3. 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 3.3 Neraca Pegas

Sumber: laboratorium Fluida Teknik Mesin Universitas Brawijaya

4. *Digital Tachometer*

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

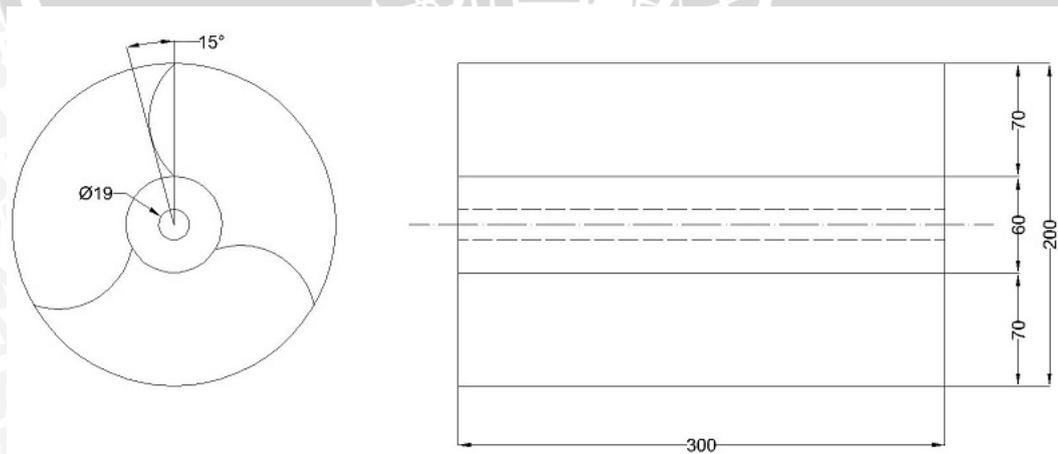


Gambar 3.4 Digital Tachometer

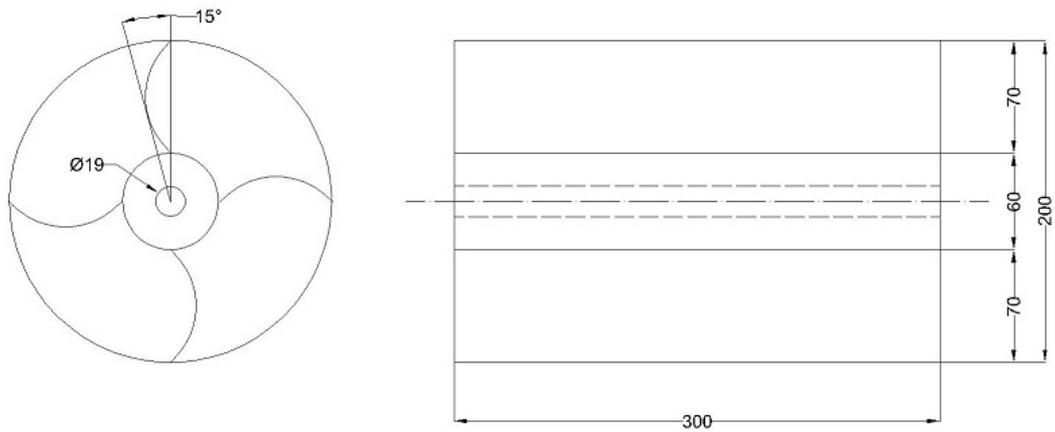
Sumber: laboratorium Fluida Teknik Mesin Universitas Brawijaya

5. Kincir Air

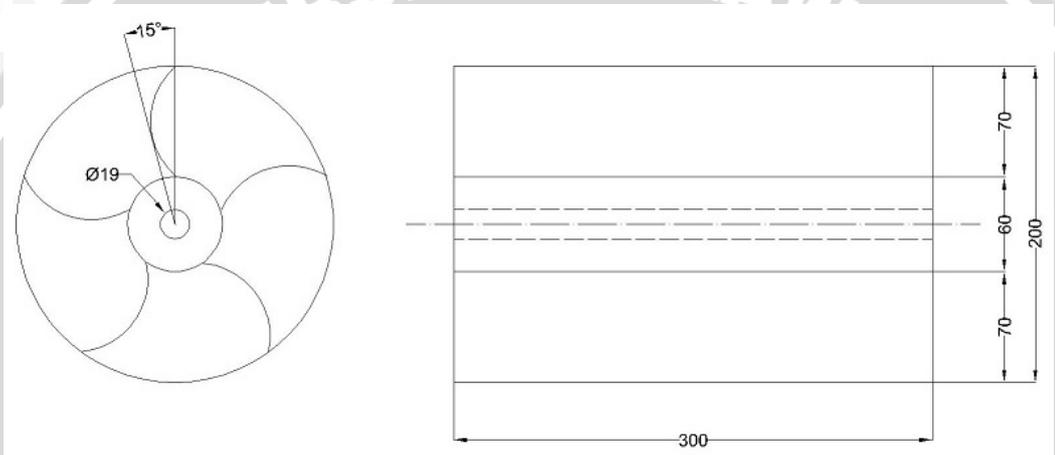
Kincir air yang digunakan adalah jenis kincir air tipe sudu lengkung yang terbuat dari bahan akrilik dengan sudut kelengkungan 15° , lebar sudu 0.3 m, tinggi sudu 0.07 m, diameter dalam 0.06 m, dan sistem aliran yang digunakan adalah overshot. Jumlah sudu yang digunakan adalah 3 buah, 4 buah, 5 buah, roda kincir terbuat dari bahan akrilik dengan tebal 0.003 m dan diameter 0.2 m, diameter poros kincir 0.019 m.



Gambar 3.5 Kincir Air dengan Jumlah Sudu 3



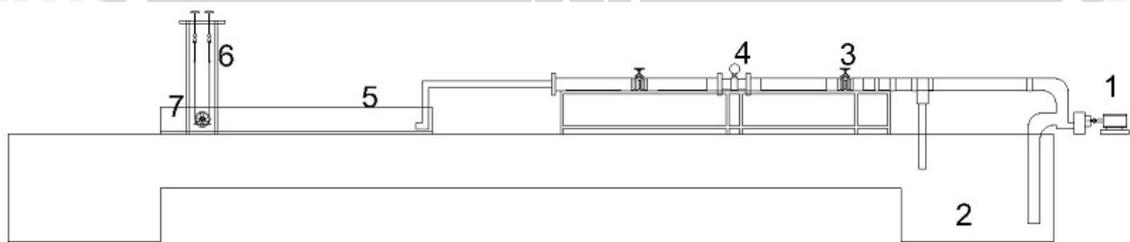
Gambar 3.6 Kincir Air dengan Jumlah Sudu 4



Gambar 3.7 Kincir Air dengan Jumlah Sudu 5

3.4 Instalasi Penelitian

Instalasi penelitian akan dijelaskan pada gambar



Gambar 3.8 Instalasi Penelitian

Keterangan Gambar:

1. Pompa
2. Bak Penampung Air

3. Katup *Open Flow*
4. *Magnetic flowmeter*
5. Saluran Terbuka
6. Neraca Pegas
7. Kincir Air

3.5 Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Prosedur pelaksanaan penelitian dibagi menjadi dua tahapan untuk mendapatkan data yang akurat :

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 Penelitian

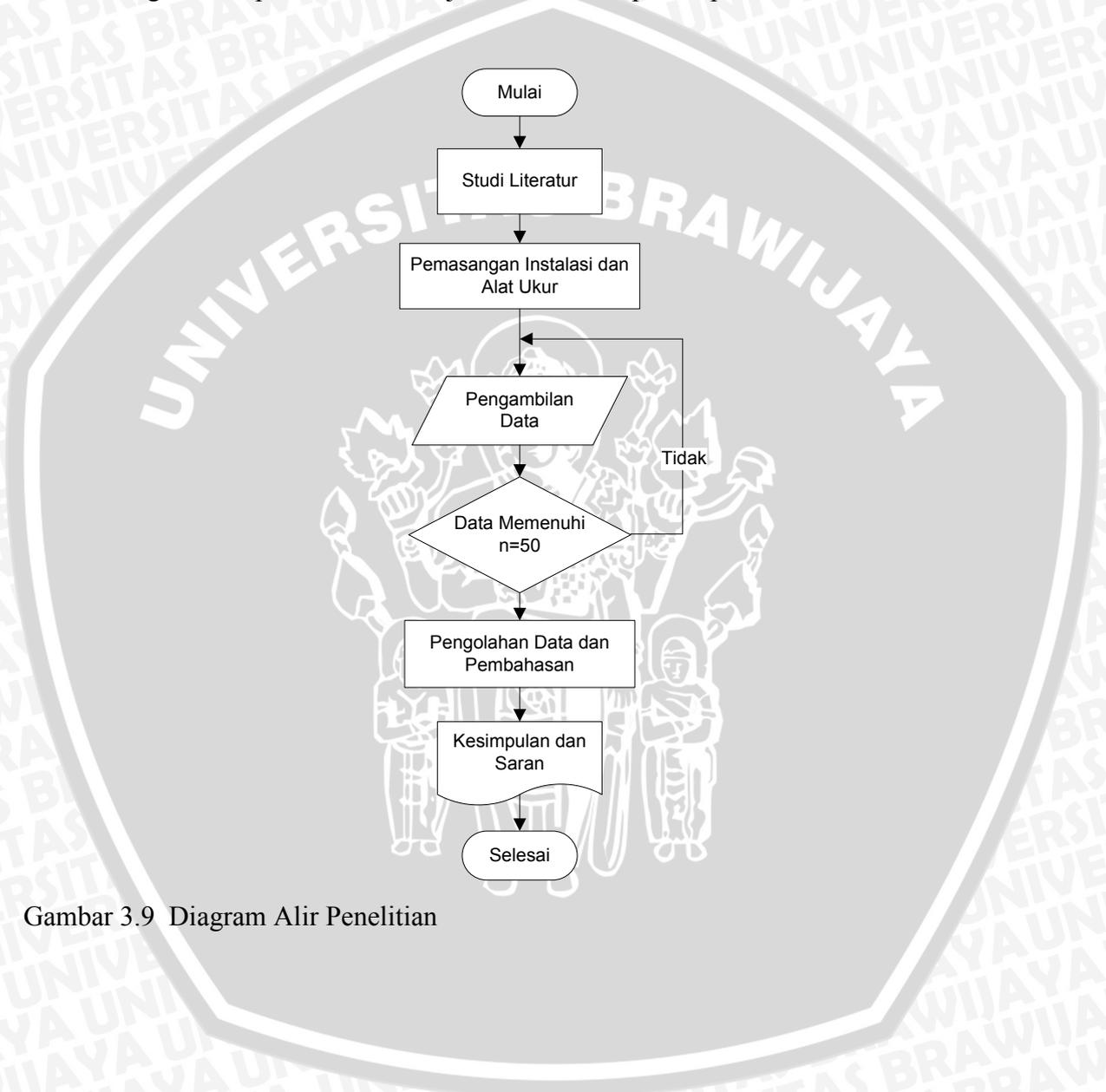
1. Pasang kincir air dengan jumlah sudu 3
2. Nyalakan pompa
3. Atur debit air sesuai yang divariasikan, dengan melihat *magnetic flowmeter*, debit dimulai dari 20 m³/jam.
4. Setelah kondisi steady, ukur parameter yang diperlukan (kecepatan putar poros kincir, dan gaya pengereman poros kincir)
5. Tambahkan debit air menjadi 20 m³/jam, 22 m³/jam, 24 m³/jam, 26 m³/jam, 28 m³/jam, dan 30 m³/jam secara berturut – turut, kontrol putaran hingga 50 rpm dengan tali pengereman, kemudian catat gaya pengereman.
6. Mengganti kincir air dengan variasi jumlah sudu yang lain untuk diuji selanjutnya.
7. Ulangi langkah tiga sampai lima dengan variasi jumlah sudu 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.

3.6 Tempat Penelitian

Penelitian akan dilakukan di laboratorium mesin-mesin fluida, fakultas teknik, jurusan teknik mesin, Universitas Brawijaya.

3.7 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian menunjukkan alur dari proses penelitian.



Gambar 3.9 Diagram Alir Penelitian

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

4.1.1. Data Hasil Penelitian

Pada penelitian ini variable bebas yang digunakan adalah debit aliran fluida dengan varisasi yaitu $20 \text{ m}^3/\text{jam}$, $22 \text{ m}^3/\text{jam}$, $24 \text{ m}^3/\text{jam}$, $26 \text{ m}^3/\text{jam}$, $28 \text{ m}^3/\text{jam}$, serta $30 \text{ m}^3/\text{jam}$ dan varisasi jumlah sudu kincir air yaitu 3 buah, 4 buah, serta 5 buah, Data hasil penelitian bias kita lihat pada table 4.1, 4.2, dan 4.3.

Tabel 4.1 Hasil pengambilan data pengujian kincir air tipe sudu lengkung dengan variasi jumlah sudu 3

No	Debit Aliran Air (m ³ /jam)	Gaya Pengereman (gram)	Gaya Pengereman Rata-Rata (gram)	Tinggi Air Rata-Rata (cm)	Putaran Kincir (rpm)
1	20	80	85	1.72	50
		90			
		80			
		90			
2	22	130	137.5	2.01	50
		130			
		140			
		150			
3	24	220	230	2.20	50
		230			
		230			
		240			
4	26	300	307.5	2.44	50
		310			
		320			
		300			
5	28	390	376.25	2.81	50
		380			
		360			
		375			
6	30	470	467.5	3.07	50
		470			
		470			
		460			



Tabel 4.2 Hasil pengambilan data pengujian kincir air tipe sudu lengkung dengan variasi jumlah sudu 4

No	Debit Aliran Air (m ³ /jam)	Gaya Pengereman (gram)	Gaya Pengereman Rata-Rata (gram)	Tinggi Air Rata-Rata (cm)	Putaran Kincir (rpm)
1	20	110	115	1.72	50
		110			
		120			
		120			
2	22	180	185	2.01	50
		190			
		180			
		190			
3	24	330	325	2.20	50
		310			
		330			
		330			
4	26	440	445	2.44	50
		450			
		460			
		430			
5	28	540	530	2.81	50
		540			
		520			
		520			
6	30	600	612.5	3.07	50
		620			
		620			
		610			

Tabel 4.3 Hasil pengambilan data pengujian kincir air tipe sudu lengkung dengan variasi jumlah sudu 5

No	Debit Aliran Air (m ³ /jam)	Gaya Pengereman (gram)	Gaya Pengereman Rata-Rata (gram)	Tinggi Air Rata-Rata (cm)	Putaran Kincir (rpm)
1	20	205	212.5	1.72	50
		205			
		215			
		225			
2	22	300	288.75	2.01	50
		300			
		285			
		270			
3	24	460	460	2.20	50
		480			
		450			
		450			
4	26	540	547.5	2.44	50
		540			
		560			
		550			
5	28	650	652.5	2.81	50
		650			
		680			
		630			
6	30	715	720	3.07	50
		720			
		720			
		725			

4.1.2. Perhitungan Data

Perhitungan data dilakukan untuk mencari nilai besaran-besaran yang diperlukan untuk menentukan efisiensi kincir air overshoot tipe sudu lengkung dengan variasi sudu 3, 4, dan 5 buah. Adapun besaran-besaran yang dihitung adalah torsi, luas penampang (A), kecepatan aliran (V_s), rasio U/V_s), daya poros (BHP), daya air (WHP), serta efisiensi. Contoh perhitungan berikut menggunakan data pada debit 20 dengan jumlah sudu 3

a. Torsi

Pada debit air ($20 \text{ m}^3/\text{s}$), kincir air dengan jumlah sudu 3 buah menghasilkan gaya pengereman rata-rata (0.8336 N) dengan radius pulley (0.065 m), maka torsi yang diperoleh adalah:

$$T = F \times l \quad (2-1)$$

$$T = 0.833 \times 0.065$$

$$T = .054 \text{ Nm}$$

b. Daya Poros (BHP)

Diketahui putaran poros kincir adalah 50 rpm.

$$BHP = T \times \omega \quad (2-3)$$

$$BHP = T \times \frac{2\pi n}{60}$$

$$BHP = 0.054 \times \frac{2\pi 50}{60}$$

$$BHP = 0.2837 \text{ watt}$$

c. Kecepatan Aliran Air (V_s)

Diketahui debit aliran air $20 \text{ m}^3/\text{jam} = 0.00556 \text{ m}^3/\text{s}$, tinggi permukaan air yang mengalir sebelum menumbuk sudu kincir yaitu $1.7 \text{ cm} = 0.017 \text{ m}$, dan lebar saluran air 0.3 m . Sehingga luas penampang air adalah $A = 0.0017 \times 0.3 = 0.0051 \text{ m}^2$.

$$Q = V_s \times A \quad (2-2)$$

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

$$V_s = \frac{0.00556}{0.00515}$$

$$V_s = 1.0787 \text{ m/s}$$

d. Rasio U/V_s

Rasio U/V_s adalah perbandingan kecepatan keliling dengan kecepatan aliran air.

$$\frac{U}{V_s} = \frac{\omega \times R}{V_s} \quad (2-5)$$

$$\frac{U}{V_s} = \frac{2\pi 50}{60} \times 0.1$$

$$\frac{U}{V_s} = 1.0787$$

$$\frac{U}{V_s} = 0.485$$

e. Daya Air (WHP)

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

$$WHP = \frac{1}{2} \times \rho \times Q \times V_s^2 \quad (2-4)$$

$$WHP = 0.5 \times 1000 \times 1.0787^2$$

$$WHP = 3.23 \text{ watt}$$

f. Efisiensi Kincir (η)

Efisiensi kincir didapatkan dengan membagi daya poros dengan daya air lalu di kali dengan 100.

$$\eta = \frac{BHP}{WHP} \times 100\% \quad (2-7)$$

$$\eta = \frac{0.284}{3.23} \times 100\%$$

$$\eta = 8.776\%$$

4.1.3. Data Hasil Perhitungan

Data hasil perhitungan yang diperoleh berdasarkan langkah-langkah yang telah dijelaskan pada contoh perhitungan, dapat dilihat pada table 4.4, 4.5, dan 4.6.

Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Kincir Air Tipe Sudu Lengkung Dengan Variasi Jumlah Sudu 3

No	Debit Aliran Air (m ³ /s)	F (N)	Torsi (Nm)	BHP (watt)	Kecepatan Aliran Air (m/s)	Kecepatan Keliling (m/s)	Rasio U/Vs	WHP (watt)	Efisiensi (%)
1	0.00555556	0.8335652	0.054182	0.2836949	1.0787487	0.5235988	0.4853761	3.2324963	8.7763422
2	0.00611111	1.3484144	0.087647	0.4589183	1.0142923	0.5235988	0.5162208	3.1435216	14.598859
3	0.00666667	2.2555295	0.146609	0.7676451	1.010101	0.5235988	0.5183628	3.4010135	22.571069
4	0.00722222	3.0155449	0.19601	1.0263081	0.9859689	0.5235988	0.53105	3.5104863	29.235497
5	0.00777778	3.6897521	0.239834	1.2557673	0.9231784	0.5235988	0.5671697	3.3143379	37.888934
6	0.00833333	4.5846089	0.298	1.5603221	0.9057971	0.5235988	0.578053	3.4186183	45.641894

Tabel 4.5 Data Hasil Pengujian Kincir Air Tipe Sudu Lengkung Dengan Variasi Jumlah Sudu 4

No	Debit Aliran Air (m ³ /s)	F (N)	Torsi (Nm)	BHP (watt)	Kecepatan Aliran Air (m/s)	Kecepatan Keliling (m/s)	Rasio U/Vs	WHP (watt)	Efisiensi (%)
1	0.00555556	1.1277647	0.073305	0.3838226	1.0787487	0.5235988	0.4853761	3.2324963	11.873875
2	0.00611111	1.8142302	0.117925	0.6174537	1.0142923	0.5235988	0.5162208	3.1435216	19.642101
3	0.00666667	3.1871612	0.207165	1.0847159	1.010101	0.5235988	0.5183628	3.4010135	31.893902
4	0.00722222	4.3639592	0.283657	1.4852264	0.9859689	0.5235988	0.53105	3.5104863	42.308281
5	0.00777778	5.1975245	0.337839	1.7689214	0.9231784	0.5235988	0.5671697	3.3143379	53.371787
6	0.00833333	6.0065731	0.390427	2.0442723	0.9057971	0.5235988	0.578053	3.4186183	59.798203

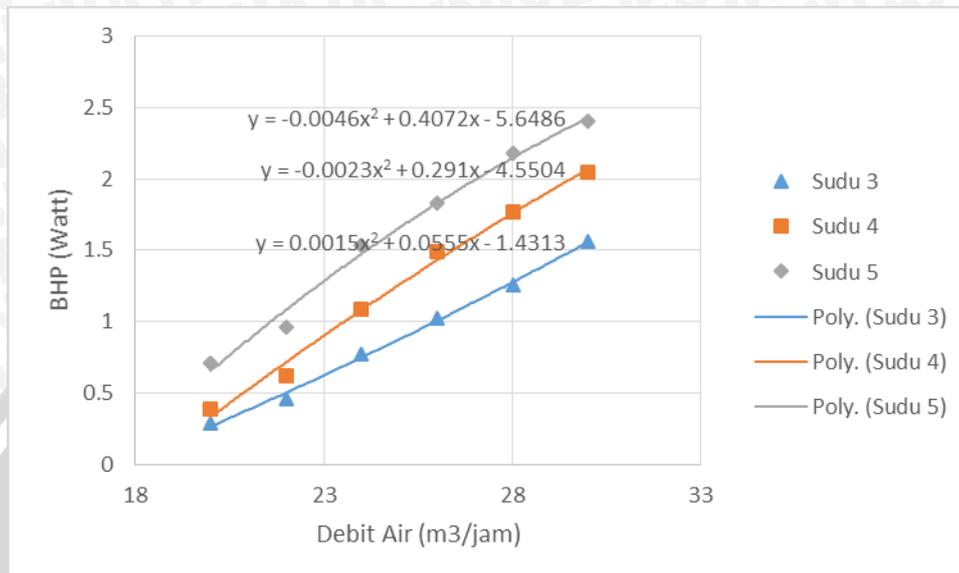
Tabel 4.6 Data Hasil Pengujian Kincir Air Tipe Sudu Lengkung Dengan Variasi Jumlah Sudu 5

No	Debit Aliran Air (m ³ /s)	F (N)	Torsi (Nm)	BHP (watt)	Kecepatan Aliran Air (m/s)	Kecepatan Keliling (m/s)	Rasio U/Vs	WHP (watt)	Efisiensi (%)
1	0.00555556	2.0839131	0.135454	0.7092373	1.0787487	0.5235988	0.4853761	3.2324963	21.940856
2	0.00611111	2.8316702	0.184059	0.9637284	1.0142923	0.5235988	0.5162208	3.1435216	30.657604
3	0.00666667	4.511059	0.293219	1.5352902	1.010101	0.5235988	0.5183628	3.4010135	45.142139
4	0.00722222	5.3691409	0.348994	1.8273291	0.9859689	0.5235988	0.53105	3.5104863	52.053447
5	0.00777778	6.3988391	0.415925	2.1777758	0.9231784	0.5235988	0.5671697	3.3143379	65.707719
6	0.00833333	7.060788	0.458951	2.403063	0.9057971	0.5235988	0.578053	3.4186183	70.293398



4.2 Analisa Grafik dan Pembahasan

4.2.1. Analisa Grafik Hubungan antara Debit Aliran Air dan Jumlah Sudu terhadap Daya Poros (BHP) Kincir Air *Undershot*



Gambar 4.1 Grafik Hubungan antara Debit Aliran Air dan Jumlah Sudu terhadap Daya Poros (BHP) Kincir Air *Undershot*

Gambar 4.1 diatas menunjukkan grafik hubungan antara debit aliran air dan jumlah sudu terhadap daya poros atau *brake horse power* (BHP) kincir air *undershot*, dengan variasi jumlah sudu, 3, 4, dan 5 buah. Pada grafik terlihat bahwa semakin tinggi debit aliran air maka daya poros atau *brake horse power* kincir air juga semakin tinggi pada semua variasi.

Pada variasi jumlah sudu 3 buah terlihat pada debit 20 m³/jam menghasilkan daya poros atau *brake horse power* sebesar 0,28 Watt, pada debit 22 m³/jam menghasilkan daya poros atau *brake horse power* sebesar 0,46 Watt, pada debit 24 m³/jam menghasilkan daya poros atau *brake horse power* sebesar 0,77 Watt, pada debit 26 m³/jam menghasilkan daya poros atau *brake horse power* sebesar 1,03 Watt, pada debit 28 m³/jam menghasilkan daya poros atau *brake horse power* sebesar 1,26 Watt, dan pada debit 30 m³/jam menghasilkan daya poros atau *brake horse power* sebesar 1,56 Watt. Pada variasi jumlah sudu 3 buah mempunyai persamaan garis $y = 0.0015x^2 + 0.0555x - 1.4313$ sehingga memiliki kelengkungan cekung dengan kemiringan 0.0555x.

Pada variasi jumlah sudu 4 buah terlihat pada debit $20 \text{ m}^3/\text{jam}$ menghasilkan daya poros atau *brake horse power* sebesar 0,38 Watt, pada debit $22 \text{ m}^3/\text{jam}$ menghasilkan daya poros atau *brake horse power* sebesar 0,62 Watt, pada debit $24 \text{ m}^3/\text{jam}$ menghasilkan daya poros atau *brake horse power* sebesar 1,08 Watt, pada debit $26 \text{ m}^3/\text{jam}$ menghasilkan daya poros atau *brake horse power* sebesar 1,48 Watt, pada debit $28 \text{ m}^3/\text{jam}$ menghasilkan daya poros atau *brake horse power* sebesar 1.77 Watt, dan pada debit $30 \text{ m}^3/\text{jam}$ menghasilkan daya poros atau *brake horse power* sebesar 2,04 Watt. Pada variasi jumlah sudu 4 buah mempunyai persamaan garis $y = -0.0023x^2 + 0.291x - 4.5504$ sehingga memiliki kelengkungan parabola dengan kemiringan 0.291x.

Pada variasi jumlah sudu 5 buah terlihat pada debit $20 \text{ m}^3/\text{jam}$ menghasilkan daya poros atau *brake horse power* sebesar 0,71 Watt, pada debit $22 \text{ m}^3/\text{jam}$ menghasilkan daya poros atau *brake horse power* sebesar 0,96 Watt, pada debit $24 \text{ m}^3/\text{jam}$ menghasilkan daya poros atau *brake horse power* sebesar 1.53 Watt, pada debit $26 \text{ m}^3/\text{jam}$ menghasilkan daya poros atau *brake horse power* sebesar 1,83 Watt, pada debit $28 \text{ m}^3/\text{jam}$ menghasilkan daya poros atau *brake horse power* sebesar 2,18 Watt, dan pada debit $30 \text{ m}^3/\text{jam}$ menghasilkan daya poros atau *brake horse power* sebesar 2,4 Watt. Pada variasi jumlah sudu 5 buah mempunyai persamaan garis $y = -0.0046x^2 + 0.4072x - 5.6486$ sehingga memiliki kelengkungan parabola dengan kemiringan 0.4072x.

Semakin besar debit aliran air dan jumlah sudu maka daya poros (BHP) kincir air akan semakin tinggi. Hal ini sesuai dengan teori bahwa semakin bertambahnya debit air, kecepatan aliran air akan meningkat dan semakin banyaknya sudu akan memberikan gaya dorong yang lebih, sehingga terjadi peningkatan putaran kincir dengan bertambahnya debit aliran air dan jumlah sudu. Peningkatan putaran kincir akan mempengaruhi torsi pada poros kincir, hal ini dikarenakan pada putaran poros yang tinggi maka dibutuhkan gaya yang besar pula untuk mengerem porors agar mendapatkan putaran konstan sebesar 50 rpm, hal ini sesuai dengan persamaan berikut.

$$T = F \times R \quad (2-1)$$

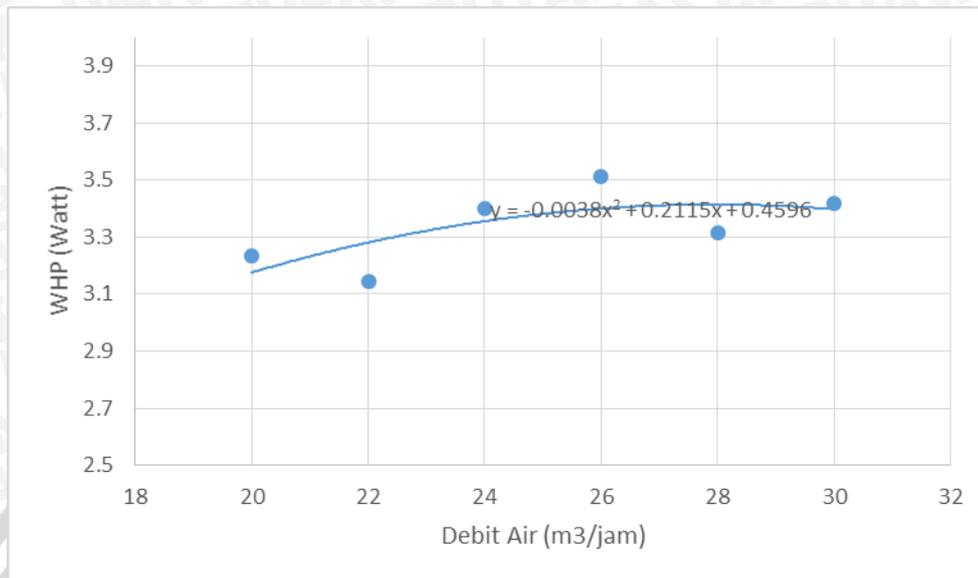
$$BHP = T \times \omega \text{ (watt)} \quad (2-3)$$

$$T = \frac{BHP \times R}{\omega}$$

Dari persamaan berikut dapat disimpulkan bahwa gaya pengereman berbanding lurus dengan torsi, sedangkan torsi berbanding lurus dengan BHP. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan bertambahnya nilai torsi maka gaya pengereman juga akan meningkat sehingga daya poros atau *brake horse power* (BHP) akan semakin meningkat.



4.2.2. Analisa Hubungan antara Debit Aliran Air terhadap Daya Air (WHP)



Gambar 4.2 Grafik Hubungan antara Debit Aliran Air terhadap Daya Air (WHP)

Gambar diatas menunjukkan grafik hubungan anatara debit aliran air terhadap daya air atau water horse power. Pada grafik tersebut, terlihat bahwa dengan bertambahnya debit aliran air daya air (WHP) terjaga konstan dengan rata-rata nilai daya air (WHP) sebesar 3,34 watt.

Pada debit 20 m^3/jam menghasilkan daya air (WHP) sebesar 3,23 Watt, pada debit 22 m^3/jam menghasilkan daya air (WHP) sebesar 3,14 Watt, pada debit 24 m^3/jam menghasilkan daya air (WHP) sebesar 3,4 Watt, pada debit 26 m^3/jam menghasilkan daya air (WHP) sebesar 3,51 Watt, pada debit 28 m^3/jam menghasilkan daya air (WHP) sebesar 3,31 Watt, dan pada debit 30 m^3/jam menghasilkan daya air (WHP) sebesar 3,42 Watt. Pada variasi debit aliran air mempunyai persamaan garis $y = 0.0038x^2 + 0.2115x + 0.4596$ sehingga memiliki kelengkungan parabola dengan kemiringan 0.2115x.

Dari data yang telah diperoleh, terlihat bahwa nilai daya air (WHP) terjadi penyimpangan dimana daya air (WHP) naik turun dengan bertambahnya debit aliran air. Seharusnya dengan bertambahnya debit aliran air, daya air (WHP) semakin besar, tetapi yang didapatkan adalah daya air naik turun dengan nilai rata-rata 3,34 Watt. Penyimpangan ini terjadi akibat pompa dan luas penampang air yang tak stabil. Pada penelitian ini luas penampang air selalu berubah akibat saluran terbuka yang digunakan, sehingga luas penampang air tidak stabil. Hal ini dapat dilihat dengan rumus berikut.

$$WHP = \frac{1}{2} \times \rho \times Q \times Vs^2 \text{ (watt)} \quad (2-4)$$

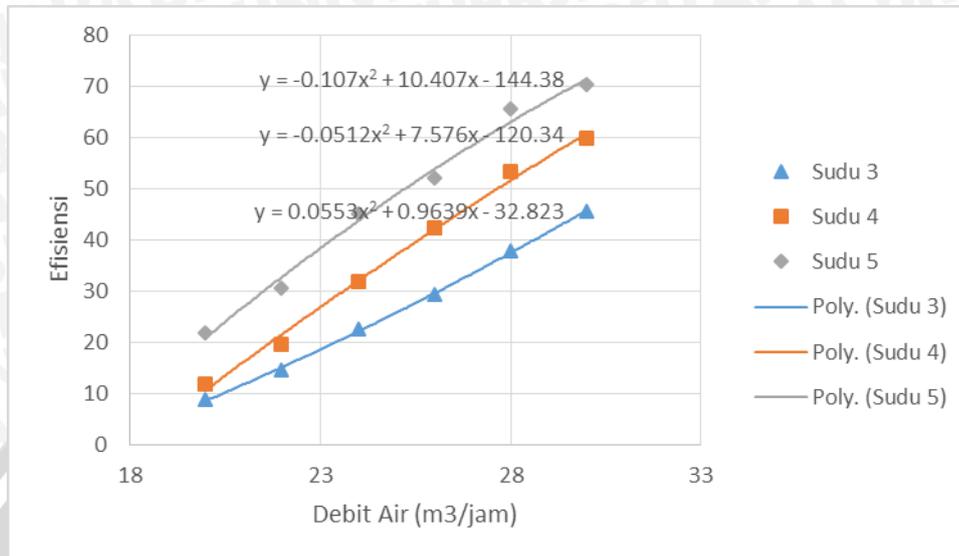
$$Q = Vs \times A \quad (2-2)$$

$$WHP = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times Vs^3 \text{ (watt)} \quad (2-5)$$

Dari rumus berikut terlihat bahwa daya air (WHP) berbanding lurus dengan luas penampang, debit aliran air, dan kecepatan aliran air. Dengan menggunakan saluran terbuka maka luas penampang tidak stabil sehingga berpengaruh terhadap kecepatan aliran air dan nilai daya air (WHP). Salah satu solusi adalah menggunakan saluran tertutup sehingga daya air (WHP) akan meningkat dengan bertambahnya debit aliran air.



4.2.3. Analisa Grafik Hubungan antara Debit Aliran Air dan Jumlah Sudu terhadap Efisiensi Kincir Air *Undershot*



Gambar 4.3 Grafik Hubungan antara Debit Aliran Air dan Jumlah Sudu terhadap Efisiensi Kincir Air *Undershot*

Grafik diatas menunjukkan grafik hubungan antara debit aliran air dan jumlah sudu terhadap efisiensi kinci air *undershot*, dengan variasi jumlah sudu, 3, 4, dan 5 buah. Pada grafik terlihat bahwa semakin tinggi debit aliran air maka efisiensi akan meningkat pada semua variasi.

Pada variasi jumlah sudu 3 buah terlihat pada debit 20 m³/jam menghasilkan efisiensi sebesar 8,78 %, pada debit 22 m³/jam menghasilkan efisiensi sebesar 14,6 %, pada debit 24 m³/jam menghasilkan efisiensi sebesar 22,57 %, pada debit 26 m³/jam menghasilkan efisiensi sebesar 29,24 %, pada debit 28 m³/jam menghasilkan efisiensi sebesar 37,89 %, dan pada debit 30 m³/jam menghasilkan efisiensi sebesar 45,64 %. Pada variasi jumlah sudu 3 buah mempunyai persamaan garis $y = 0.0553x^2 + 0.9639x - 32.823$ sehingga memiliki kelengkungan cekung dengan kemiringan 0.9639x.

Pada variasi jumlah sudu 4 buah terlihat pada debit 20 m³/jam menghasilkan efisiensi sebesar 11.87 %, pada debit 22 m³/jam menghasilkan efisiensi sebesar 19,64 %, pada debit 24 m³/jam menghasilkan efisiensi sebesar 31,89 %, pada debit 26 m³/jam menghasilkan efisiensi sebesar 44,31 %, pada debit 28 m³/jam menghasilkan efisiensi sebesar 53,37 %, dan pada debit 30 m³/jam menghasilkan efisiensi sebesar

59,8 %. Pada variasi jumlah sudu 4 buah mempunyai persamaan $y = -0.0512x^2 + 7.576x - 120.34$ sehingga memiliki kelengkungan parabola dengan kemiringan 7.576x.

Pada variasi jumlah sudu 5 buah terlihat pada debit $20 \text{ m}^3/\text{jam}$ menghasilkan efisiensi sebesar 21,94 %, pada debit $22 \text{ m}^3/\text{jam}$ menghasilkan efisiensi sebesar 30,66 %, pada debit $24 \text{ m}^3/\text{jam}$ menghasilkan efisiensi sebesar 45,14 %, pada debit $26 \text{ m}^3/\text{jam}$ menghasilkan efisiensi sebesar 52,05 %, pada debit $28 \text{ m}^3/\text{jam}$ menghasilkan efisiensi sebesar 65,71 %, dan pada debit $30 \text{ m}^3/\text{jam}$ menghasilkan efisiensi sebesar 70,29 %. Pada variasi jumlah sudu 5 buah mempunyai persamaan garis $y = -0,107x^2 + 10.407x - 144.38$ sehingga memiliki kelengkungan parabola dengan kemiringan 10.407x.

Dari grafik sebelumnya dapat disimpulkan bahwa semakin besarnya debit aliran air dan semakin banyaknya sudu kincir maka daya poros (BHP) akan meningkat dan daya air (WHP) akan terjaga konstan. Disaat debit aliran air meningkat, daya poros (BHP) akan meningkat, sedangkan daya air (WHP) terjaga konstan, sehingga efisiensi akan meningkat dengan bertambahnya debit aliran air. Hal ini sesuai dengan persamaan:

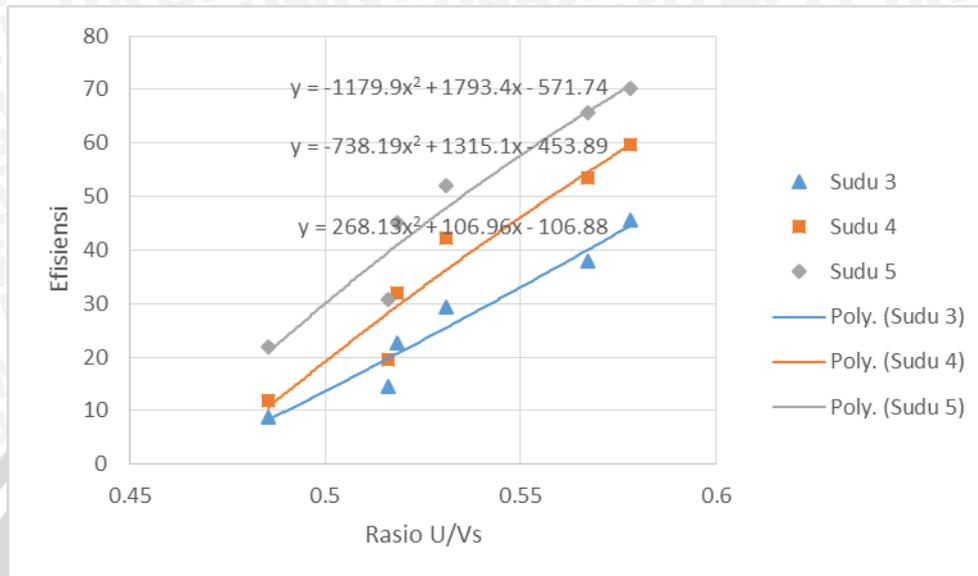
$$\eta = \frac{BHP}{WHP} \times 100\% \quad (2-7)$$

Dari data yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa semakin besarnya debit aliran air maka efisiensi akan meningkat, ini disebabkan karena kenaikan daya poros (BHP) tidak sebanding dengan kenaikan daya air (WHP), dalam arti:

$$(BHP_2 - BHP_1) > (WHP_2 - WHP_1)$$

Dari persamaan diatas dapat dilihat bahwa kenaikan nilai daya poros (BHP) lebih besar dibanding kenaikan daya air (WHP). Dengan meningkatnya nilai daya poros (BHP) maka efisiensi akan meningkat, dan semakin tinggi daya air yang diberikan maka efisiensi akan menurun. Efisiensi yang semakin tinggi menunjukkan bahwa pemakaian *energy input* (energy potensial air) terhadap *energy output* (energi mekanik) terpakai secara efisien, dalam arti *energy input* yang terbuang lebih kecil

4.2.4. Analisa Grafik Pengaruh Rasio U/Vs dan Jumlah Sudu terhadap Efisiensi Kincir Air *Undershot*



Gambar 4.4 Grafik Pengaruh Rasio U/Vs dan Jumlah Sudu terhadap Efisiensi Kincir Air *Undershot*

Gambar 4.4 menunjukkan grafik hubungan antara rasio U/Vs dan jumlah sudu terhadap efisiensi. Dimana U adalah kecepatan keliling kincir dan Vs adalah kecepatan aliran air. Pada grafik tersebut terlihat bahwa kecenderungan grafik antara rasio U/Vs dan efisiensi meningkat pada ketiga variasi jumlah sudu kincir air.

Pada variasi jumlah sudu 3 buah terlihat pada rasio U/Vs 0,485 menghasilkan efisiensi sebesar 8,78 %, pada rasio U/Vs 0,516 menghasilkan efisiensi sebesar 14,6 %, pada rasio U/Vs 0,518 menghasilkan efisiensi sebesar 22,57 %, pada rasio U/Vs 0,531 menghasilkan efisiensi sebesar 29,24 %, pada rasio U/Vs 0,567 menghasilkan efisiensi sebesar 37,89,24 %, dan pada rasio U/Vs 0,578 menghasilkan efisiensi sebesar 45,64 %. Pada variasi jumlah sudu 3 buah mempunyai persamaan garis $y = 268.13x^2 + 106.96 - 106.88$ sehingga memiliki kelengkungan cekung dengan kemiringan 106.96x.

Pada variasi jumlah sudu 4 buah terlihat pada rasio U/Vs 0,485 menghasilkan efisiensi sebesar 11,87 %, pada rasio U/Vs 0,516 menghasilkan efisiensi sebesar 19,64 %, pada rasio U/Vs 0,518 menghasilkan efisiensi sebesar 31,89 %, pada rasio U/Vs 0,531 menghasilkan efisiensi sebesar 42,31 %, pada rasio U/Vs 0,567 menghasilkan efisiensi sebesar 56,37 %, dan pada rasio U/Vs 0,578 menghasilkan efisiensi sebesar 59,8 %. Pada

variasi jumlah sudu 4 buah mempunyai persamaan garis $y = -738.19x^2 + 1315.1x - 453.89$ sehingga memiliki kelengkungan parabola dengan kemiringan 1315.1x.

Pada variasi jumlah sudu 5 buah terlihat pada rasio U/Vs 0,485 menghasilkan efisiensi sebesar 21,94 %, pada rasio U/Vs 0,516 menghasilkan efisiensi sebesar 30,66 %, pada rasio U/Vs 0,518 menghasilkan efisiensi sebesar 45,14 %, pada rasio U/Vs 0,531 menghasilkan efisiensi sebesar 52,05 %, pada rasio U/Vs 0,567 menghasilkan efisiensi sebesar 65,71 %, dan pada rasio U/Vs 0,578 menghasilkan efisiensi sebesar 70,29 %. Pada variasi jumlah sudu 5 buah mempunyai persamaan garis $y = -1179.9x^2 + 1793.4x - 571.74$ sehingga memiliki kelengkungan parabola dengan kemiringan 1793.4x.

Dari hasil grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi rasio U/Vs maka efisiensi kincir air akan meningkat. Kenaikan rasio U/Vs dipengaruhi oleh kecepatan keliling kincir dan besarnya kecepatan aliran air. Semakin besar nilai kecepatan keliling kincir (U) dan semakin rendah kecepatan aliran air, maka rasio U/Vs akan semakin besar. Nilai kecepatan keliling kincir didapatkan dengan menggunakan rumus:

$$U = \omega \times R \quad (2-6)$$

Semakin banyaknya sudu dan peningkatan rasio U/Vs akan memberikan gaya dorong yang lebih pada kincir air, sehingga putaran kincir yang semakin besar. Dengan meningkatnya putaran kincir maka gaya pengereman yang dibutuhkan untuk mendapatkan putaran konstan sebesar 50 rpm akan semakin sebesar. Hal ini akan meningkatkan nilai torsi seperti pada rumus berikut:

$$T = F \times l \quad (2-1)$$

Dengan torsi yang semakin besar maka efisiensi akan semakin besar, karena nilai BHP akan naik seiring dengan meningkatnya nilai torsi. Hal ini bisa dilihat pada persamaan berikut:

$$\eta = \frac{BHP}{WHP} \times 100\% \quad (2-7)$$

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan mengenai pengaruh jumlah sudu terhadap kinerja kincir air pada aliran *undershot*, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Daya poros tertinggi pada variasi jumlah sudu 5 adalah sebesar 2,4 Watt, pada variasi jumlah sudu 4 adalah sebesar 2,04 Watt, dan pada variasi jumlah sudu 3 adalah sebesar 1.56 Watt. Dari data yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa variasi jumlah sudu 5 memiliki daya poros (BHP) tertinggi.
2. Daya poros tertinggi terdapat pada variasi debit $30 \text{ m}^3/\text{jam}$ dan dapat disimpulkan bahwa semakin besar debit aliran air maka daya poros akan meningkat.
3. Daya air (WHP) terbesar terdapat pada debit $26 \text{ m}^3/\text{jam}$ dengan nilai daya air sebesar 3.51 Watt. Jika melihat grafik kecenderungan, nilai daya terjaga konstan dengan rata-rata daya air sebesar 3,34 Watt.
4. Dengan bertambahnya debit aliran air, maka daya poros meningkat dan daya air konstan, sehingga efisiensi akan meningkat.
5. Semakin besar debit aliran air, maka nilai rasio U/Vs akan semakin besar.

5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya maka peneliti menyarankan untuk melakukan penelitian tentang pengaruh beberapa sistem aliran air seperti aliran *breasthot* dan *tub*.
2. Untuk penelitian selanjutnya, sebaiknya peneliti menggunakan aliran air di sungai agar dapat mengetahui efisiensi kincir pada keadaan sungai.
3. Untuk penelitian selanjutnya, sebaiknya peneliti lebih teliti dalam pengukuran debit, kecepatan aliran air, dan tinggi aliran air.
4. Melakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan metode simulasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Sudianto, Edis. 2009. *Pengujian Sudu Lengkung Prototipe Turbin Air Terapung Pada Aliran Sungai*. Jurnal Ilmiah. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Amri, Syaiful. 2012. *Pengaruh Variasi Lebar Sudu Terhadap Kinerja Kincir Air Tipe Sudu Datar Overshot*. Jurnal Ilmiah. Malang: Universitas Brawijaya.
- Arif, Gede Surya Mardana. 2014. *Pengaruh Sudu Terhadap Unjuk Kerja Kincir Air Tipe Sudu Lengkung Pada Sistem Aliran Overshot*. Skripsi. Malang: Universitas Brawijaya
- Dwi, Hardianto Siswandi. 2014. *Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Kincir Air Tipe Sudu Lengkung Overshot*. Skripsi. Malang: Universitas Brawijaya.
- Dietzel, Fritz; 1990: *Turbin, Pompa, dan Kompresor*; Erlangga, Jakarta.
- Basyiran; 1997: *Mesin Konversi Energi*, Erlangga, Jakarta.
- Warnick, ce; 1990: *Hydro Power Engineering*, Inc, New York
- Anonymous 1. 2010. Turbin Uap (Pendahuluan).
<http://gunawananeva.wordpress.com/2010/05/04/turbin-uap-pendahuluan>.
(Diakses 8 September 2014)
- Anonymous 2. 2012. Pendahuluan Turbin Kaplan, Pelton, Fransis.
<http://hydropowerplantsttpln.blogspot.com/2012/02/pelatihan-di-bandung.html>.
(Diakses 8 September 2014)
- Anonymous 3. 2011. Pemanfaatan Energy Air.
<http://blog.umy.ac.id/pandega/2011/11/16/pemanfaatan-energy-air>. (Diakses 8 September 2014)

LAMPIRAN 1

Tabel Perhitungan Data pada Semua Variasi

Dari hasil pengujian jumlah sudu kincir air diperoleh data hasil perhitungan yang sudah disajikan pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3 sesuai dengan variasi yang sudah ditentukan.

1. Kincir Air dengan Jumlah Sudu 3 Buah

Tabel Hasil Perhitungan Data Kincir Air dengan Jumlah Sudu 3 Buah

No	Debit Aliran Air (m ³ /jam)	Debit Aliran Air (m ³ /s)	Tinggi Air (cm)	Tinggi Air (m)	Lebar Saluran Air (m)	Luas penampang Air (m ²)	Radius Puli (m)	Radius Kincir (m)	Putaran Kincir (rpm)	Gaya Pengereman Rata-Rata (gram)	F (N) (IN = 101.971621298 gram)	Torsi (Nm)	Kecepatan Sudut (ω)	BHP (watt)	Kecepatan Aliran Air (m/s)	Kecepatan Keliling (m/s)	Rasio U/Vs	WHP (watt)	Efisiensi (%)
1	20	0.005556	1.7167	0.0171667	0.3	0.00515	0.065	0.1	50	85	0.83356525	0.054182	5.23598776	0.28369	1.078748652	0.52359878	0.48538	3.2325	8.77634
2	22	0.0061111	2.0083	0.0200833	0.3	0.006025	0.065	0.1	50	137.5	1.348414375	0.087647	5.23598776	0.45892	1.014292301	0.52359878	0.51622	3.1435	14.5989
3	24	0.0066667	2.2	0.022	0.3	0.0066	0.065	0.1	50	230	2.2555295	0.146609	5.23598776	0.76765	1.01010101	0.52359878	0.51836	3.401	22.5711
4	26	0.0072222	2.4417	0.0244167	0.3	0.007325	0.065	0.1	50	307.5	3.015544875	0.19601	5.23598776	1.02631	0.985968904	0.52359878	0.53105	3.5105	29.2355
5	28	0.0077778	2.8083	0.0280833	0.3	0.008425	0.065	0.1	50	376.25	3.689752062	0.239834	5.23598776	1.25577	0.923178371	0.52359878	0.56717	3.3143	37.8889
6	30	0.0083333	3.0667	0.0306667	0.3	0.0092	0.065	0.1	50	467.5	4.584608875	0.298	5.23598776	1.56032	0.905797101	0.52359878	0.57805	3.4186	45.6419

2. Kincir Air dengan Jumlah Sudu 4 Buah

Tabel Hasil Perhitungan Data Kincir Air dengan Jumlah Sudu 4 Buah

No	Debit Aliran Air (m ³ /jam)	Debit Aliran Air (m ³ /s)	Tinggi Air (cm)	Tinggi Air (m)	Lebar Saluran Air (m)	Luas penampang Air (m ²)	Radius Puli (m)	Radius Kincir (m)	Putaran Kincir (rpm)	Gaya Pengereman Rata-Rata (gram)	F (N) (IN = 101.971621298 gram)	Torsi (Nm)	Kecepatan Sudut (ω)	BHP (watt)	Kecepatan Aliran Air (m/s)	Kecepatan Keliling (m/s)	Rasio U/Vs	WHP (watt)	Efisiensi (%)
1	20	0.005556	1.7167	0.0171667	0.3	0.00515	0.065	0.1	50	115	1.12776475	0.073305	5.23598776	0.38382	1.078748652	0.52359878	0.48538	3.2325	11.8739
2	22	0.0061111	2.0083	0.0200833	0.3	0.006025	0.065	0.1	50	185	1.81423025	0.117925	5.23598776	0.61745	1.014292301	0.52359878	0.51622	3.1435	19.6421
3	24	0.0066667	2.2	0.022	0.3	0.0066	0.065	0.1	50	325	3.18716125	0.207165	5.23598776	1.08472	1.01010101	0.52359878	0.51836	3.401	31.8939
4	26	0.0072222	2.4417	0.0244167	0.3	0.007325	0.065	0.1	50	445	4.36395925	0.283657	5.23598776	1.48523	0.985968904	0.52359878	0.53105	3.5105	42.3083
5	28	0.0077778	2.8083	0.0280833	0.3	0.008425	0.065	0.1	50	530	5.1975245	0.337839	5.23598776	1.76892	0.923178371	0.52359878	0.56717	3.3143	53.3718
6	30	0.0083333	3.0667	0.0306667	0.3	0.0092	0.065	0.1	50	612.5	6.006573125	0.390427	5.23598776	2.04427	0.905797101	0.52359878	0.57805	3.4186	59.7982

3. Kincir Air dengan Jumlah Sudu 5 Buah

Tabel Hasil Perhitungan Data Kincir Air dengan Jumlah Sudu 5 Buah

No	Debit Aliran Air (m ³ /jam)	Debit Aliran Air (m ³ /s)	Tinggi Air (cm)	Tinggi Air (m)	Lebar Saluran Air (m)	Luas penampang Air (m ²)	Radius Puli (m)	Radius Kincir (m)	Putaran Kincir (rpm)	Gaya Pengereman Rata-Rata (gram)	F (N) (IN = 101.971621298 gram)	Torsi (Nm)	Kecepatan Sudut (ω)	BHP (watt)	Kecepatan Aliran Air (m/s)	Kecepatan Keliling (m/s)	Rasio U/Vs	WHP (watt)	Efisiensi (%)
1	20	0.005556	1.7167	0.0171667	0.3	0.00515	0.065	0.1	50	212.5	2.083913125	0.135454	5.23598776	0.70924	1.078748652	0.52359878	0.48538	3.2325	21.9409
2	22	0.0061111	2.0083	0.0200833	0.3	0.006025	0.065	0.1	50	288.75	2.831670187	0.184059	5.23598776	0.96373	1.014292301	0.52359878	0.51622	3.1435	30.6576
3	24	0.0066667	2.2	0.022	0.3	0.0066	0.065	0.1	50	460	4.511059	0.293219	5.23598776	1.53529	1.01010101	0.52359878	0.51836	3.401	45.1421
4	26	0.0072222	2.4417	0.0244167	0.3	0.007325	0.065	0.1	50	547.5	5.369140875	0.348994	5.23598776	1.82733	0.985968904	0.52359878	0.53105	3.5105	52.0534
5	28	0.0077778	2.8083	0.0280833	0.3	0.008425	0.065	0.1	50	652.5	6.398839125	0.415925	5.23598776	2.17778	0.923178371	0.52359878	0.56717	3.3143	65.7077
6	30	0.0083333	3.0667	0.0306667	0.3	0.0092	0.065	0.1	50	720	7.060788	0.458951	5.23598776	2.40306	0.905797101	0.52359878	0.57805	3.4186	70.2934

LAMPIRAN 2

Foto Dokumentasi Pengujian Kincir Air



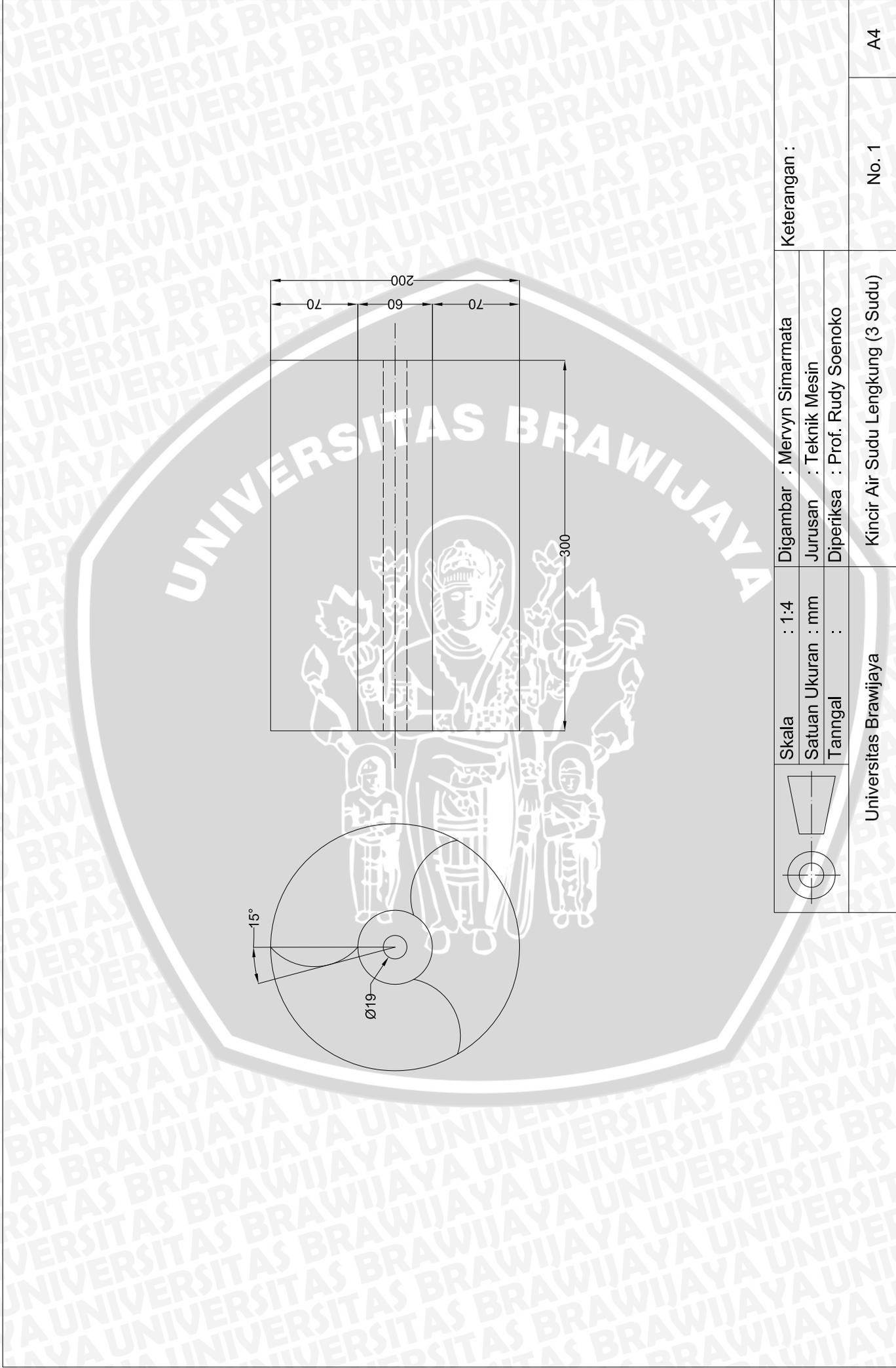


LAMPIRAN 3

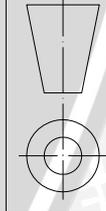
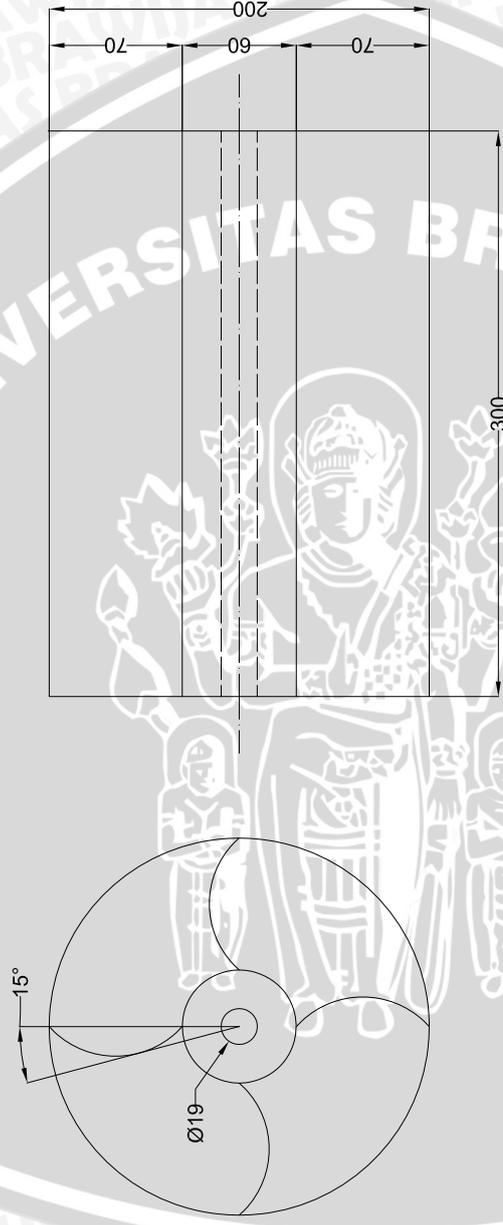
Gambar Kincir Air Pada Semua Variasi

(Terlampir)





	Skala : 1:4	Digambar : Mervyn Simarmata	Keterangan :
	Satuan Ukuran : mm	Jurusan : Teknik Mesin	
	Tanggal :	Diperiksa : Prof. Rudy Soenoko	
Universitas Brawijaya		Kincir Air Sudu Lengkung (3 Sudu)	
		No. 1	A4



Skala : 1:4
Satuan Ukuran : mm
Tanggal :

Digambar : Mervyn Simarmata
Jurusan : Teknik Mesin
Diperiksa : Prof. Rudy Soenoko

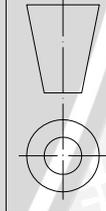
Keterangan :

Universitas Brawijaya

Kincir Air Sudu Lengkung (4 Sudu)

No. 2

A4



Skala : 1:4
Satuan Ukuran : mm
Tanggal :

Digambar : Mervyn Simarmata
Jurusan : Teknik Mesin
Diperiksa : Prof. Rudy Soenoko

Keterangan :

Universitas Brawijaya

Kincir Air Sudu Lengkung (5 Sudu)

No. 3

A4