

**PENGARUH VARIASI TEBAL SUDU TERHADAP KINERJA
KINCIR AIR TIPE SUDU DATAR**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

DHIMAS NUR CAHYADI

NIM. 0810623039-62

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2012



LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH VARIASI TEBAL SUDU TERHADAP KINERJA
KINCIR AIR TIPE SUDU DATAR**

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

DHIMAS NUR CAHYADI

NIM. 0810623039-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT
NIP. 19720903 199702 1 001

Purnami, ST., MT
NIP. 19770707 200812 1 005

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH VARIASI TEBAL SUDU TERHADAP KINERJA
KINCIR AIR TIPE SUDU DATAR**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

**DHIMAS NUR CAHYADI
NIM. 0810623039-62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 7 agustus 2012

Skripsi I

Skripsi II

**Ir. Suharto, MT
NIP. 19531030 198212 1 001**

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

Komprehensif

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

**Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin**

**Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT
NIP. 19720903 199702 1 001**

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya dan Sholawat serta salam semoga selalu diberikan kepada Nabi besar Muhammad SAW, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan benar. Penyusunan dan penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari keterlibatan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan kali ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih dan penghargaan kepada:

1. Kedua Orang Tua yang telah mensupport saya dalam pembuatan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
3. Bapak Dr.Eng Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
4. Ibu Dr.Eng Lilis Yuliati, ST., MT., selaku Ketua Kelompok Dosen Konsentrasi Konversi Energi.
5. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan ilmu dan pengetahuan pada penyusunan mulai dari awal skripsi sampai akhir.
6. Bapak Purnami, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing II, yang telah banyak memberikan masukan, bimbingan dan saran yang sangat bermanfaat dalam penyusunan skripsi ini.
7. Teman-teman Divisi Otomotif yang selalu ada untuk tempat diskusi terhadap penyelesaian skripsi.
8. Teman-teman Angkatan 2008 selaku teman seperjuangan yang banyak sekali membantu dalam banyak hal.

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

Malang, Juli 2012

Penulis

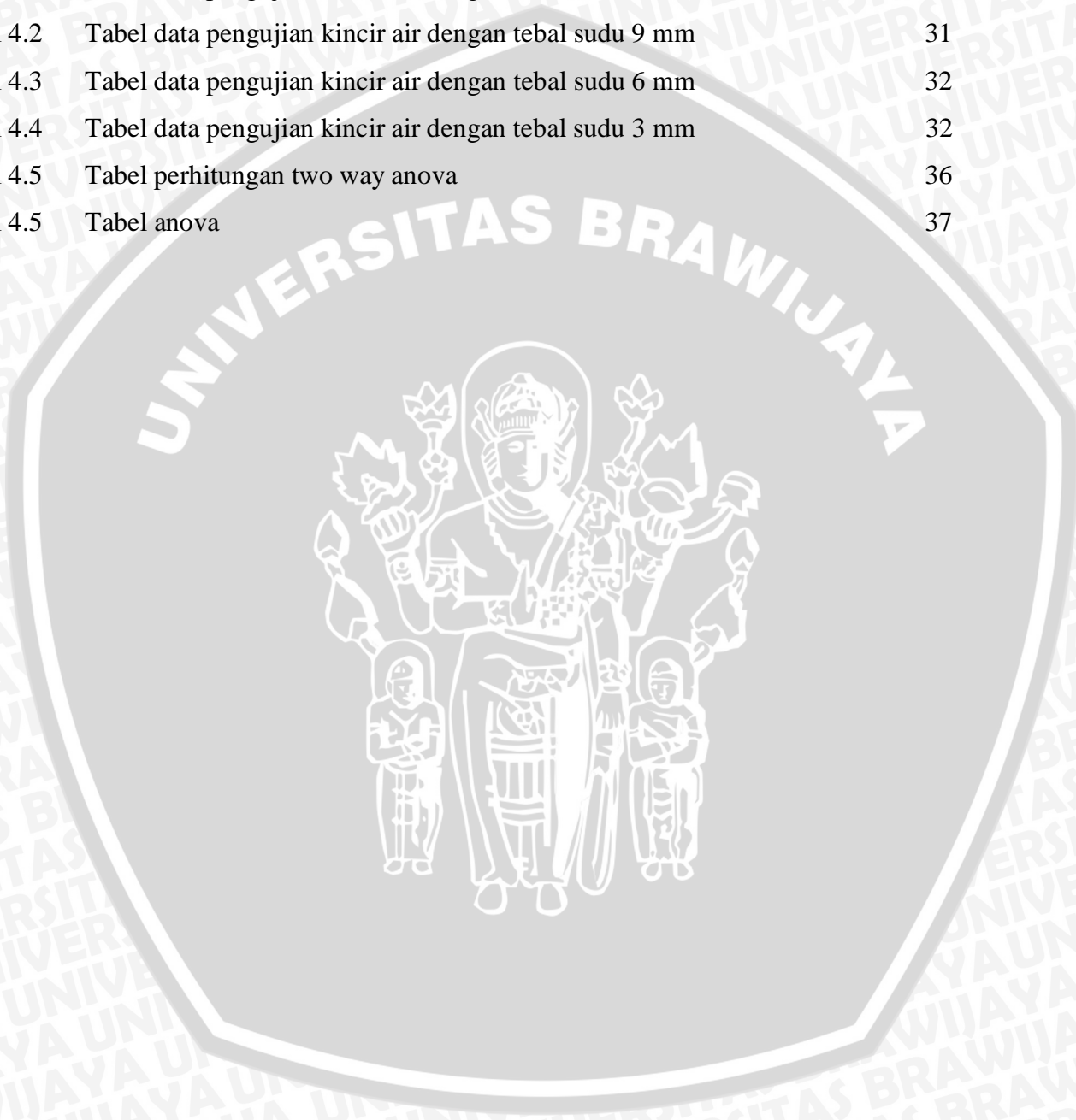
DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
RINGKASAN	vi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Sebelumnya	4
2.2 Turbin Air	4
2.3 Jenis Turbin Air	5
2.3.1 Turbin Impuls	5
2.3.2 Turbin Reaksi	7
2.4 Kincir Air	11
2.5 Tipe Kincir Air	12
2.5.1 Kincir Air Overshot	12
2.5.2 Kincir Air Undershot	13
2.5.3 Kincir Air Breastshot	14
2.5.4 Kincir Air Tub	15
2.6 Kinerja Kincir Air	16
2.6.1 BHP (Brake Horse Power)	16
2.6.2 Efisiensi	16
2.7 Teori Dan Persamaan	17
2.7.1 Persamaan Bernoulli Fluida Ideal	17
2.7.2 Persamaan Kontinuitas	18
2.7.3 Segitiga Kecepatan	19

2.7.4 Momen gaya dan Percepatan Sudut	19
2.7.5 Momen Inersia	20
2.7.6 Momentum Anguler dan Hukum Kekekalan Momentum Anguler.....	21
2.7.7 Gaya Friksi (gesek)	22
2.8 Hipotesa.....	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Metodologi Penelitian	24
3.2 Tempat Penelitian	24
3.3 Variabel Penelitian	24
3.4 Instalasi Penelitian	25
3.5 Peralatan Penelitian	26
3.6 Metode Pengambilan Data	29
3.7 Diagram Alir Penelitian	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Data Hasil Pengujian.....	31
4.2 Contoh Perhitungan.....	32
4.3 Analisa statistik.....	34
4.3.1 Analisa varian dua arah (<i>two way Anova</i>).....	35
4.4 Analias Grafik	
4.4.1 Analisa Grafik Debit Air terhadap Daya Poros.....	38
4.4.2 Analisa Grafik Debit Air terhadap Efisiensi	40
4.5 Pembahasan	42
4.5.1 Hubungan Debit Air, Tebal Sudu dan Daya Poros	42
4.5.2 Hubungan Debit Air, Tebal Sudu dan Efisiensi.....	43
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	45
5.2 Saran	45
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 4.1	Tabel data pengujian kincir air dengan tebal sudu 12 mm	31
Tabel 4.2	Tabel data pengujian kincir air dengan tebal sudu 9 mm	31
Tabel 4.3	Tabel data pengujian kincir air dengan tebal sudu 6 mm	32
Tabel 4.4	Tabel data pengujian kincir air dengan tebal sudu 3 mm	32
Tabel 4.5	Tabel perhitungan two way anova	36
Tabel 4.5	Tabel anova	37



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Cara kerja turbin impuls	5
Gambar 2.2	Turbin Pelton	6
Gambar 2.3	Sudu tubin turgo dan Nozle	6
Gambar 2.4	Turbin Crossflow	7
Gambar 2.5	Sistem kerja dari tinggi air jatuh, mulai dari sudu pengarah, sudu jalan dan ke pipa isap	8
Gambar 2.6	Bagan sudu Pengarah dan sudu jalan turbin reaksi; segitiga kecepatan masuk dan keluar pada sudu jalan	9
Gambar 2.7	Turbin francis	10
Gambar 2.8	Turbin Kaplan	11
Gambar 2.9	Kincir Air <i>Overshot</i>	12
Gambar 2.10	Kincir air <i>Undershot</i>	13
Gambar 2.11	Kincir air <i>Breastshot</i>	14
Gambar 2.12	Kincir air <i>Tub</i>	15
Gambar 2.13	Segitiga Kecepatan	19
Gambar 2.14	Gaya Friksi	23
Gambar 3.1	Instalasi Penelitian	25
Gambar 3.2	Pompa air	26
Gambar 3.3	<i>Magnetic flowmeter</i>	27
Gambar 3.4	Saluran terbuka	27
Gambar 3.5	Neraca pegas	28
Gambar 3.6	Tachometer	28
Gambar 3.7	Kincir air	29
Gambar 3.8	Diagram alir	30
Gambar 4.1	Grafik hubungan antara debit air dengan daya poros	38
Gambar 4.2	Grafik hubungan antara debit air dengan efisiensi	40

RINGKASAN

Dhimas Nur Cahyadi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Pebruari, 2012, Pengaruh Variasi Tebal Sudu terhadap Kinerja Kincir Air Tipe Sudu Datar, Dosen Pembimbing : Slamet Wahyudi, Purnami.

Kincir air merupakan sarana untuk merubah energi air menjadi energi mekanik berupa torsi pada poros kincir. Kincir air bekerja berdasarkan dengan besar debit aliran dan pemanfaatan tinggi air jatuh. Dengan mengetahui debit aliran serta ketinggian air jatuh dapat ditentukan jenis kincir yang sesuai dengan sumber daya alam yang tersedia. Sering kali kita mengabaikan keberadaan sumber daya alam di sekitar kita, sehingga banyak aliran-aliran sungai yang belum dimanfaatkan sumber dayanya dan hanya terbuang sia-sia. Memang kincir air masih memiliki efisiensi yang kecil jika dibandingkan dengan turbin-turbin air yang ada pada saat ini. Oleh karena itu, masih perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan efisiensi dari kincir air tersebut. Tujuan dari penelitian tersebut yaitu ingin mengetahui variasi tebal sudu terhadap kinerja kincir air tipe sudu datar.

Pada perencanaan ini direncanakan kincir air jenis overshoot dengan variasi ketebalan sudu yang berbeda-beda yaitu 3 mm, 6 mm, 9 mm dan 12 mm. Dengan data-data yang diperoleh dapat dilakukan perhitungan daya poros dan efisiensi dari kincir air tersebut.

Dari hasil Pengujian dan analisis perhitungan menunjukkan bahwa daya poros dan efisiensi dipengaruhi oleh variasi tebal sudu. Pada pengujian ini daya poros dan efisiensi tertinggi terdapat pada tebal sudu 3 mm.

Kata kunci : Kincir air, Ketebalan Sudu , Kinerja

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi dalam kehidupan manusia tiap tahun kian meningkat seiring dengan kemajuan teknologi baik untuk kepentingan rumah tangga atau industri. Dimana sumber energi yang dominan digunakan adalah energi tak terbarukan yang ketersediaannya terbatas dan tidak dapat diperbaharui. Ketergantungan yang berlebihan terhadap sumber energi tak terbarukan tersebut 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 terbarukan tersebut akan menambah jumlah karbondioksida (CO₂) di udara bebas semakin meningkat yang dapat mengganggu dan mencemari kehidupan lingkungan. Oleh karena itu, diupayakan bahan bakar tersebut sebaiknya dihemat dan dikurangi penggunaannya dengan mencari energi yang dapat diperbaharui dan ramah lingkungan atau dengan kata lain memanfaatkan sumber energi alternatif baru dan terbarukan untuk dikonversi menjadi energi listrik.

Masalah pemenuhan kebutuhan akan energi listrik pun dapat diselesaikan dengan membangun sebuah instalasi pembangkit listrik skala mikrohidro dan salah satu jenis pembangkit skala mikrohidro 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.

Kadir (2010) melakukan penelitian tentang kincir air tipe sudu datar dengan memvariasikan tinggi sudu (8, 16 dan 24 cm) untuk lebar sudu tetap (2 x 50 cm) dan dengan variasi jumlah sudu 4 buah dan 8 buah tiap roda kincir. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa kinerja kincir air dipengaruhi oleh tinggi sudu. Daya maksimum kincir terletak pada harga tinggi sudu tertentu, sedangkan efisiensi kincir akan semakin tinggi jika tinggi sudu semakin kecil. Daya maksimum kincir terletak

pada tinggi sudu 16 cm baik untuk jumlah sudu 4 buah ataupun untuk jumlah sudu 8 buah sedangkan efisiensi maksimum dicapai pada tinggi sudu 8 cm baik untuk jumlah sudu 4 buah ataupun 8 buah.

Priambodo (2008) melakukan penelitian tentang Pengaruh tinggi air jatuh terhadap daya yang dihasilkan oleh kincir air. Hasil dari penelitian ini yaitu semakin jauh jarak air jatuh maka daya yang dihasilkan semakin besar.

Kincir air ini memang memiliki efisiensi yang kecil jika dibandingkan dengan turbin-turbin air yang ada pada saat ini. Oleh karena itu, masih perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan efisiensi dari kincir air tersebut.

Bertitik tolak dari permasalahan tersebut di atas, maka perlu kiranya dilakukan penelitian tentang pengaruh variasi tebal sudu terhadap kinerja kincir air tipe sudu datar. Sehingga diharapkan setelah dilakukannya variasi tersebut akan terjadi peningkatan efisiensi dari sebelumnya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas dapat dirumuskan suatu permasalahan yaitu bagaimana pengaruh variasi tebal sudu terhadap kinerja kincir air tipe sudu datar.

1.3 Batasan Masalah

Untuk mencegah melebarnya permasalahan, maka pada penelitian ini diambil batasan permasalahan sebagai berikut:

1. Kondisi dianggap *steady state / steady flow*.
2. Jenis kincir air yang diuji adalah kincir air *overshot*.
3. Jenis saluran yang digunakan adalah jenis saluran terbuka.
4. Kinerja yang diteliti meliputi daya poros dan efisiensi kincir air
5. Konstruksi kincir air ;
 - Jumlah sudu yang digunakan saat pengujian berjumlah 4 buah.
 - Jenis sudu yang digunakan adalah tipe sudu datar.
 - Tinggi sudu = 0.15m , lebar sudu = 0.45m dan Diameter kincir air = 0.38m.
 - Bahan material dari sudu adalah kayu.

6. Tebal sudu yang divariasikan adalah 3mm, 6mm, 9mm dan 12mm.
7. Putaran kincir air yang digunakan adalah 30 rpm
8. Debit yang digunakan adalah 10 m³/jam, 12 m³/jam, 14 m³/jam, 16 m³/jam, 18 m³/jam, dan 20m³/jam.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penulisan ini adalah ingin mengetahui pengaruh variasi tebal sudu terhadap kinerja kincir air tipe sudu datar.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Dapat memberikan wawasan aplikasi teknologi kepada masyarakat dalam bidang mikrohidro, khususnya kincir air.
2. Dapat memberikan pemahaman lebih jauh tentang energi alternatif dalam hal ini adalah energi air.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Kadir (2010) melakukan penelitian eksperimental mengenai sebuah kincir air *undershot* tipe sudu datar yang ditempatkan mengambang di atas sungai dengan bervariasi tinggi sudu untuk lebar sudu tetap. Pada penelitian ini efisiensi kincir akan semakin tinggi jika tinggi sudu semakin kecil.

Priambodo (2008) melakukan penelitian tentang Pengaruh tinggi air jatuh terhadap daya yang dihasilkan oleh kincir air. Hasil dari penelitian ini yaitu semakin jauh jarak air jatuh maka daya yang dihasilkan semakin besar.

Bima (2012) melakukan penelitian tentang analisis kinerja kincir air tipe sudu datar dengan variasi sistem aliran fluida. Hasil penelitian ini ialah efisiensi tertinggi terdapat pada sistem aliran overshot.

Amri (2012) melakukan penelitian tentang analisis kincir air tipe sudu datar dengan variasi lebar sudu. Hasil dari penelitian ini yaitu semakin lebar sudu maka daya poros yang dihasilkan semakin kecil begitupula dengan efisiensinya.

2.2 Turbin Air

Turbin air adalah mesin konversi energi yang mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik pada poros turbin. Air yang diam pada ketinggian tertentu mempunyai 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 turbin berupa putaran.

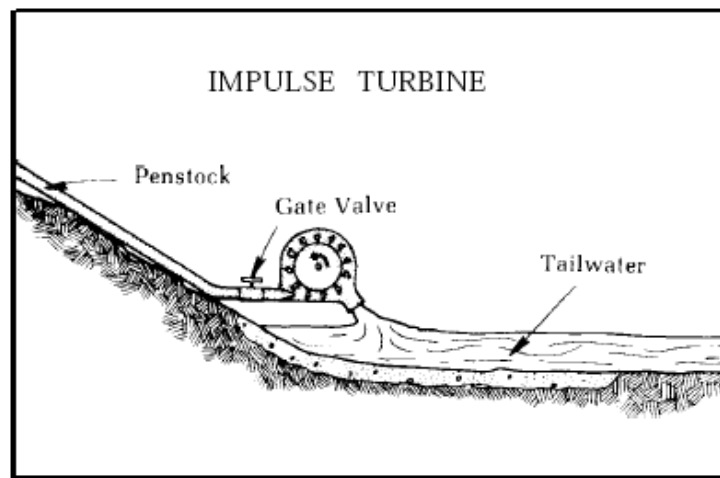
2.3 Jenis Turbin Air

Turbin air dibedakan dalam dua golongan utama, yaitu dipandang dari segi perubahan momentum fluida kerjanya,

1. Turbin impuls
2. Turbin reaksi

2.3.1 Turbin Impuls

Turbin impuls disebut juga turbin tekanan konstan, dimana tekanan masuk runner sama dengan tekanan keluar runner. Sesuai namanya Turbin impuls bekerja berdasarkan prinsip impuls dimana suatu pancaran air yang mengenai dinding akan timbul suatu aksi atau gaya dorong/tumbukan kemudian pancaran air ini akan menumbuk dan mendorong sudu. Contoh turbin impuls yaitu turbin Pelton, turbin Turgo, turbin Banki (*Crossflow*) dan kincir air (*Water wheel*).



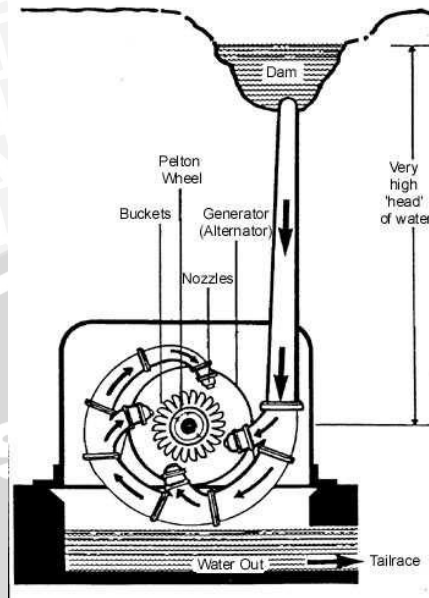
Gambar 2.1 Cara kerja turbin Impuls

Sumber : <http://rise.org.au/info/tech/hydro/large.html>

Macam-macam turbin impuls antara lain sebagai berikut :

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 nosel. Turbin Pelton adalah salah satu dari jenis turbin air yang paling efisien. Turbin Pelton adalah turbin yang cocok digunakan untuk head tinggi.

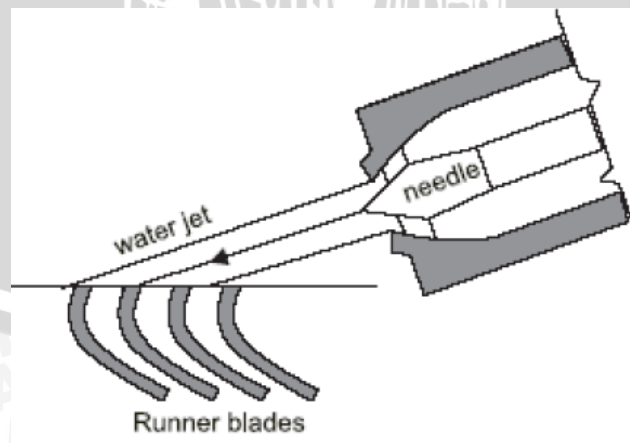


Gambar 2.2 Turbin Pelton

Sumber : <http://rise.org.au/info/tech/hydro/large.html>

2. Turbin Turgo

Turbin Turgo dapat beroperasi pada head 30 s/d 300 m. Seperti turbin pelton turbin turgo merupakan turbin impuls, tetapi sudunya berbeda. Pancaran air dari nozle 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.

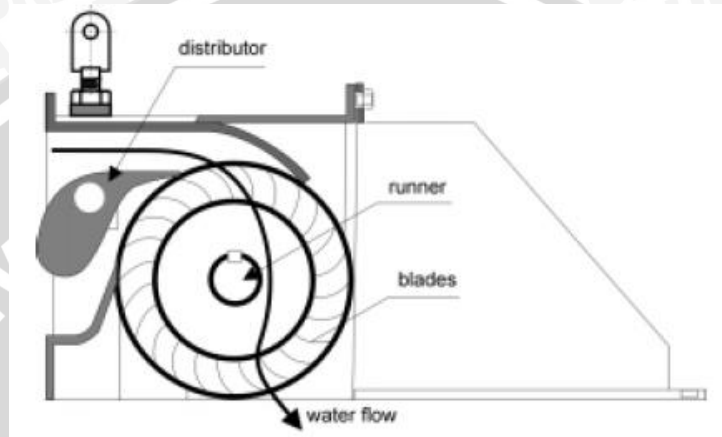


Gambar 2.3 Sudu turbin turgo dan Nozle

Sumber : <http://europa.eu.int/en/comm/dg17/hydro/layman2.pdf>

3. Turbin *Crossflow*

Turbin *crossflow* dikenal dengan nama Turbin Michell-Banki yang merupakan penemunya. Selain itu turbin ini disebut juga turbin arus melintang. Turbin *crossflow* dapat dioperasikan pada debit 20 liter/detik hingga 10 m³/detik dan head antara 1 s/d 200 m.



Gambar 2.4 Turbin Crossflow

Sumber: <http://europa.eu.int/en/comm/dg17/hydro/layman2.pdf>

Turbin *crossflow* menggunakan nozle persegi panjang yang lebarnya sesuai dengan lebar runner. Pancaran air masuk turbin dan mengenai sudu sehingga terjadi konversi energi kinetik menjadi energi mekanis. Air mengalir keluar membentur sudu dan memberikan energinya (lebih rendah dibanding saat masuk) kemudian meninggalkan turbin. Runner turbin dibuat dari beberapa sudu yang dipasang pada sepasang piringan paralel.

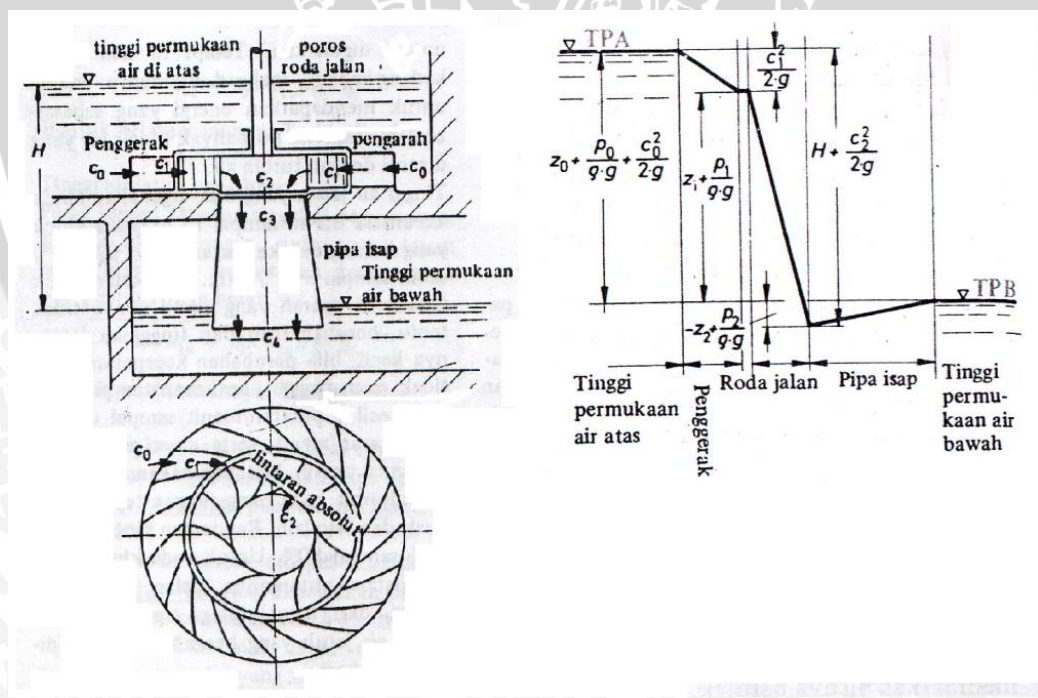
2.3.2 Turbin Reaksi

Turbin reaksi disebut juga dengan turbin tekanan lebih karena tekanan air sebelum masuk roda turbin lebih besar daripada tekanan air saat keluar roda turbin.

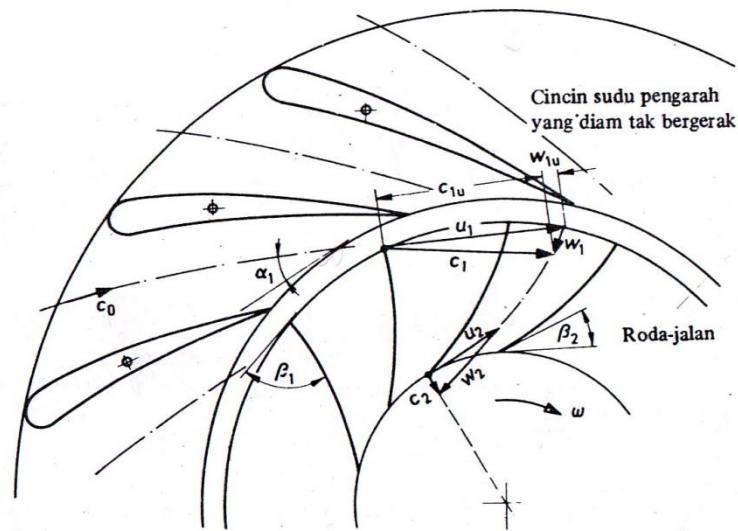
Perubahan energi pada turbin reaksi seluruhnya terjadi di dalam sudu pengarah dan sudu gerak (gambar 2.7). Karena sudu pengarah harus berbentuk sudut tertentu dan penampang bagian air keluar lebih sempit daripada penampang masuknya. Maka menurut persamaan kontinuitas kecepatan air yang lewat sudu pengarah naik dari c_0 menjadi c_1 .

Dari u_1 , c_1 , dan α_1 Seperti yang ditunjukkan Gambar 2.13 segitiga kecepatan masuk bisa digambar, sehingga didapat w_1 dan sudut masuk sudu jalan β_1 , Gambar

2.7. selain itu juga bisa diperoleh harga c_{1u} dan w_{1u} . Dengan penurunan tekanan selanjutnya energi sisa yang masih ada akan bekerja di sudu jalan. Karena penyempitan saluran ke luar sudu jalan A_2 , maka kecepatan air masuk w_1 naik menjadi $w_2 = V/A_2$, yang sesuai dengan perbandingan $A_1 : A_2$. Sudu ke luar β_2 dipilih sedemikian rupa supaya $\alpha_2 = 90^\circ$. Dengan begitu letaknya c_2 tegak lurus u_2 . Dengan demikian $C_{2u} = 0$ dan air yang meninggalkan sudu jalan sudah memiliki energi lagi. Kecepatan keluar c_2 sedapat mungkin dinaikkan, hal ini bisa terjadi dengan menggunakan tekanan di dalam sudu-sudu jalan. Jadi dengan adanya tekanan kerendahan (kurang dari 1 atmosfer) pada sudu-sudu jalan, maka di belakang roda jalan harus dipasang pipa isap. Didalam pipa isap kecepatan air c_3 turun menjadi c_4 dan tekanannya pun kembali naik, sampai tekanan air tersebut sama dengan tekanan udara luar. Gambar 2.6 bawah kiri, adalah gambar penampang sudu-sudu yang dilihat dari atas, sedangkan garis putus-putus pada gambar tersebut adalah garis lintasan absolute dari satu bagian kecil air dalam perjalanannya dari sudu pengarah sampai sudu jalan.



Gambar 2.5 Sistem kerja dari tinggi air jatuh, mulai dari sudu pengarah, sudu jalan dan ke pipa isap
 Sumber : Dietzel, Fritz (1993: 16)



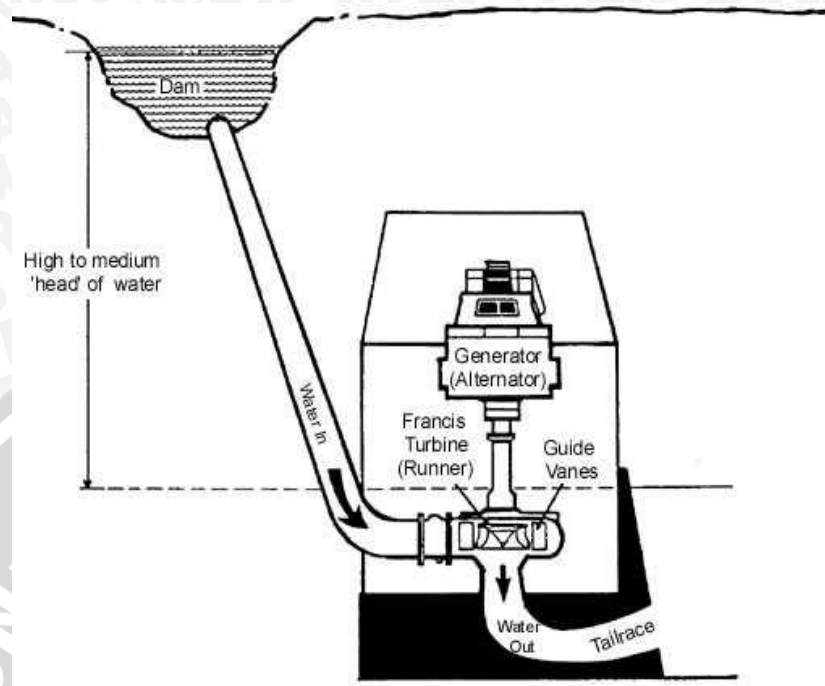
Gambar 2.6 Bagan sudu Pengarah dan sudu jalan turbin reaksi; segitiga kecepatan masuk dan keluar pada sudu jalan
Sumber : Dietzel, Fritz (1993: 16)

Macam-macam turbin reaksi antara lain sebagai berikut :

1. Turbin Francis

Turbin yang konstruksinya terdiri dari sudu pengarah dan sudu jalan, dan kedua sudu tersebut semuanya terendam di dalam aliran air. Air pertama masuk pada terusan berbentuk rumah keong. Perubahan energi seluruhnya terjadi pada sudu pengarah dan sudu gerak. Aliran air masuk ke sudu pengarah dengan kecepatan semakin naik dengan tekanan yang semakin turun sampai roda jalan, pada roda jalan kecepatan akan naik lagi dan tekanan turun sampai di bawah 1 atm. Untuk menghindari kavitasi, tekanan harus dinaikkan sampai 1 atm dengan cara pemasangan pipa hisap.

Pengaturan daya yang dihasilkan yaitu dengan mengatur posisi pembukaan sudu pengarah, sehingga kapasitas air yang masuk ke roda turbin dapat diperbesar atau diperkecil. Turbin Francis dapat dipasang dengan poros vertikal dan horizontal.



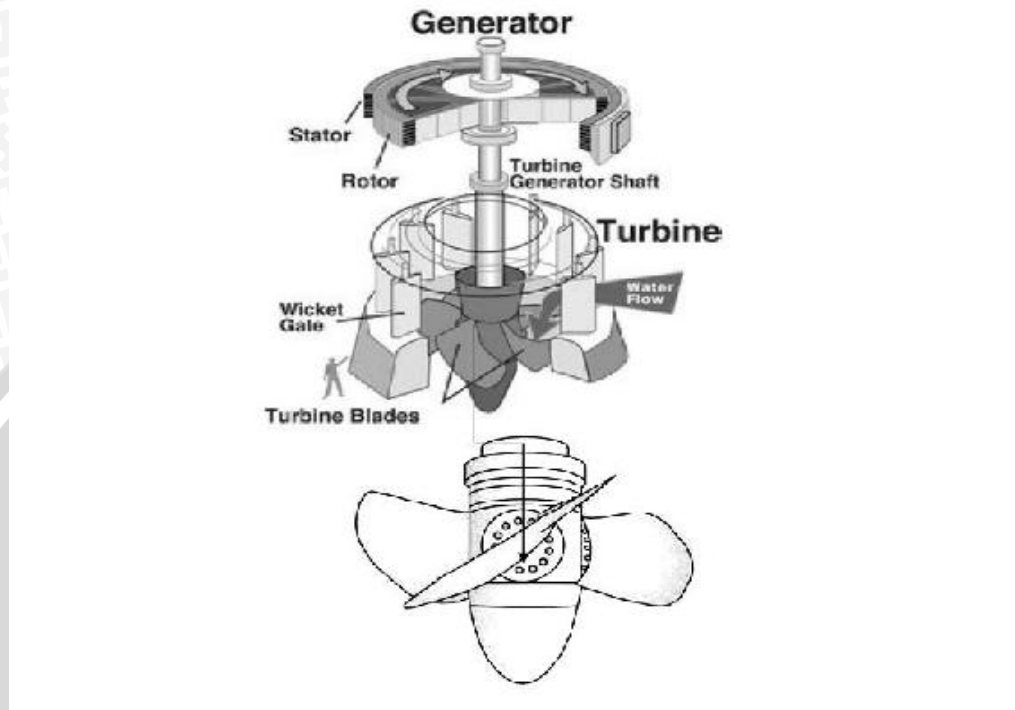
Gambar 2.7 Turbin Francis

Sumber : <http://rise.org.au/info/tech/hydro/large.html>

2. Turbin Kaplan

Tidak berbeda dengan turbin francis, turbin kaplan cara kerjanya menggunakan prinsip reaksi. Turbin ini mempunyai roda jalan yang mirip dengan baling-baling pesawat terbang [gambar 2.9]. Bila baling-baling pesawat terbang berfungsi untuk menghasilkan gaya dorong, roda jalan pada kaplan berfungsi untuk mendapatkan gaya F yaitu gaya putar yang dapat menghasilkan torsi pada poros turbin. Berbeda dengan roda jalan pada francis, sudu-sudu pada roda jalan kaplan dapat diputar posisinya untuk menyesuaikan kondisi beban turbin. Turbin kaplan banyak dipakai pada instalasi pembangkit listrik tenaga air sungai, karena turbin ini mempunyai kelebihan dapat menyesuaikan head yang berubah-ubah sepanjang tahun. Turbin kaplan dapat beroperasi pada kecepatan tinggi sehingga ukuran roda turbin lebih kecil dan dapat dikopel langsung dengan generator. Pada kondisi pada beban tidak penuh turbin kaplan mempunyai

efisiensi paling tinggi, hal ini dikarenakan sudu-sudu turbin kaplan dapat diatur menyesuaikan dengan beban yang ada.



Gambar 2.8 Turbin Kaplan

Sumber : <http://rise.org.au/info/tech/hydro/large.html>

2.4 Kincir Air

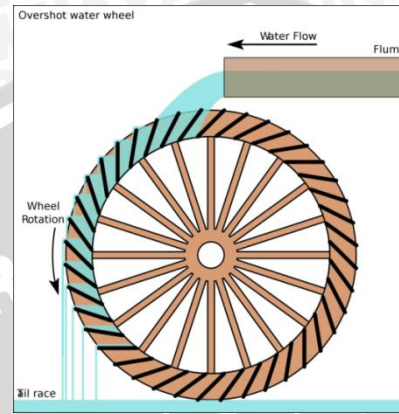
Kincir air adalah jenis turbin air yang paling kuno, sudah sejak lama digunakan oleh masyarakat. Teknologinya sederhana, material kayu dapat dipakai untuk membuat kincir air, tetapi untuk operasi pada tinggi jatuh air yang besar biasanya kincir air dibuat dengan besi. Kincir air bekerja pada tinggi jatuh yang rendah biasanya antar 0,1 m sampai 12 meter, dengan kapasitas aliran yang berkisar antara 0,05 m³/dtk sampai 5 m³/dtk.

Kincir air merupakan sarana untuk merubah energi air (energi potensial) menjadi energi mekanik berupa torsi pada poros kincir. Kincir air ini merupakan salah satu jenis dari turbin impuls yang mana perubahan tekanan (*pressure*) sama dengan nol atau konstan.

2.5 Tipe Kincir Air

Ada beberapa tipe kincir air yaitu antara lain Kincir air *overshot*, Kincir air *undershot*, Kincir air *breastshot* dan Kincir air *tub*.

2.5.1 Kincir Air *Overshot*



Gambar 2.9 Kincir air *Overshot*

Sumber: http://Pemanfaatan Energy Air _ let's play _ macam2 kincir

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.

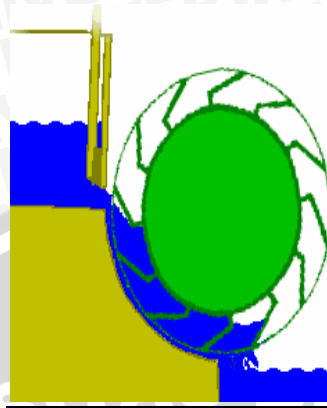
Keuntungan

- ▶ Tingkat efisiensi yang tinggi dapat mencapai 85%.
- ▶ Tidak membutuhkan aliran yang deras.
- ▶ Konstruksi yang sederhana.
- ▶ Mudah dalam perawatan.
- ▶ Teknologi yang sederhana mudah diterapkan di daerah yang terisolir.

Kerugian

- ▶ Karena aliran air berasal dari atas maka biasanya memerlukan reservoir air atau bendungan air, sehingga memerlukan investasi yang lebih banyak.
- ▶ Tidak dapat diterapkan untuk mesin putaran tinggi.
- ▶ Membutuhkan ruang yang lebih luas untuk penempatan.
- ▶ Daya yang dihasilkan relatif kecil.

2.5.3 Kincir Air *Breastshot*



Gambar 2.11 Kincir air *Breastshot*
Sumber: <http://osv.org/education/WaterPower>

Kincir air *Breastshot* merupakan perpaduan antara tipe *overshot* dan *undershot* dilihat dari energi yang diterimanya. 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*.

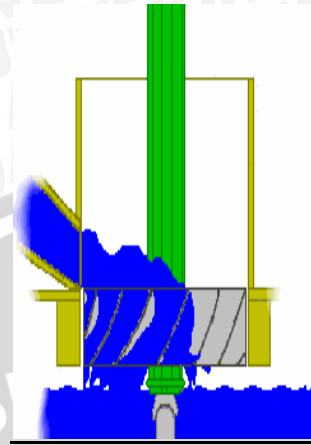
Keuntungan

- ▶ 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*.

2.5.4 Kincir Air Tub



Gambar 2.12 Kincir air Tub

Sumber: <http://osv.org/education/WaterPower>

Kincir air Tub merupakan kincir air yang kincirnya diletakkan secara horisontal dan sudu-sudunya miring terhadap garis vertikal, dan tipe ini dapat dibuat lebih kecil dari pada tipe overshoot maupun tipe undershot. Karena arah gaya dari pancuran air menyamping maka, energi yang diterima oleh kincir yaitu energi potensial dan kinetik.

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.

2.6 Kinerja Kincir Air

Dalam pembahasan kali ini parameter-parameter dari kinerja kincir air yang dibahas adalah Brake Horse Power (BHP), dan Efisiensi (η).

2.6.1 Brake Horse Power (BHP)

Brake Horse Power adalah daya dari kincir yang diukur setelah mengalami pembebanan. Brake yang dimaksud adalah suatu peralatan yang digunakan untuk memberikan beban pada kincir sehingga putarannya dapat terjaga secara konstan. Besarnya BHP dapat dihitung menggunakan rumus 2-2 sebagai berikut.

$$\text{BHP (P)} = T \omega \quad (\text{Dietzel, 1996:13}) \quad (2-1)$$

Dimana, BHP (P) : brake horse power (watt)

T : torsi (N.m)

$$\omega : \text{kecepatan sudut} = \frac{2\pi.n}{60}$$

$$T = F \times R \quad (\text{Bueche, 1988:16}) \quad (2-2)$$

Dimana, F : gaya tangensial (N)

R : radius kincir (m)

2.6.2 Efisiensi (η)

Untuk menyatakan performa suatu mesin biasanya dinyatakan dalam efisiensi yang merupakan perbandingan antara BHP dengan WHP. Lebih sederhannya adalah perbandingan antar input dan output yang dinyatakan dalam persen (%). Seperti pada rumus 2-3 berikut.

$$\eta = \frac{\text{BHP}}{\text{WHP}} \cdot 100\% \quad (\text{Round, 2004:20}) \quad (2-3)$$

Dimana, η : efisiensi

BHP : daya poros kincir (watt)

WHP : daya air (watt)

Daya air (water horse power) didapat dari persamaan

$$\text{WHP} = \rho \cdot Q \cdot g \cdot h \quad (\text{Round, 2004:20}) \quad (2-4)$$

Dimana,

Q : kapasitas aliran [m^3 / s]

- ρ : densitas air [kg /m^3]
 g : percepatan gravitasi bumi (m/s^2)
 h : head air (m)

2.7 Teori dan Persamaan

2.7.1 Persamaan Bernoulli Fluida Ideal

Persamaan Bernoulli menunjukkan kekekalan energy aliran fluida pada tiap saat dan tiap posisi yang ditinjau dari suatu aliran dalam saluran mempunyai jumlah energi kecepatan, tekanan dan ketinggian yang sama besarnya.

$$W = m.g.z + m.\frac{P}{\rho} + m.\frac{C^2}{2} = \text{konstan} \quad (\text{Dietzel,1996:4}) \quad (2-5)$$

Dengan:

- W = energi total (Nm)
 m = massa fluida (kg)
 g = percepatan gravitasi (m/s^2)
 z = ketinggian fluida (m)
 P = tekanan statis fluida (N/m^2)
 ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)
 c = Kecepatan absolute fluida (m/s)

Persamaan di atas dinamakan persamaan energy. Apabila pada aliran tersebut diambil suatu jumlah fluida untuk tiap 1 kg, maka akan didapat persamaan energy spesifik.

$$w = g.z + \frac{P}{\rho} + m.\frac{C^2}{2} = \text{konstan} \quad (\text{Dietzel,1996:4}) \quad (2-6)$$

Apabila dibagi lagi dengan percepatan gravitasi (g), maka persamaannya dinamakan persamaan energi per satuan berat fluida atau head.

$$H = z + \frac{P}{\rho.g} + m.\frac{C^2}{2g} = \text{konstan} \quad (\text{Dietzel, 1996:4}) \quad (2-7)$$

Untuk menggunakan persamaan Bernoulli di atas terdapat asumsi-asumsi yang harus diperhatikan, yaitu :

1. Alirannya tidak mengalami perubahan kecepatan (steady).
2. Tak mampu mampat (incompressible).
3. Tak ada gesekan antara fluida dengan permukaan saluran (frictionless flow).
4. Tidak ada kerja yang masuk maupun keluar dari pipa.

2.7.2 Persamaan Kontinuitas

Pada aliran fluida yang mengalir dengan laju aliran konstan, kuantitas massa aliran fluida di berbagai bagian pipa pada waktu yang sama adalah tetap. Jika tidak ada fluida yang ditambahkan, dipindahkan atau diletakkan di antaranya, maka massa fluida yang mengalir tiap satuan waktu adalah tetap. Secara rumus dapat ditulis:

$$\dot{m} = \rho_1 \cdot A_1 \cdot c_1 = \rho_2 \cdot A_2 \cdot c_2 \quad (\text{White, 2001:133}) \quad (2-8)$$

dengan:

\dot{m} = laju massa alir fluida (kg/s)

ρ = massa jenis (kg/m³)

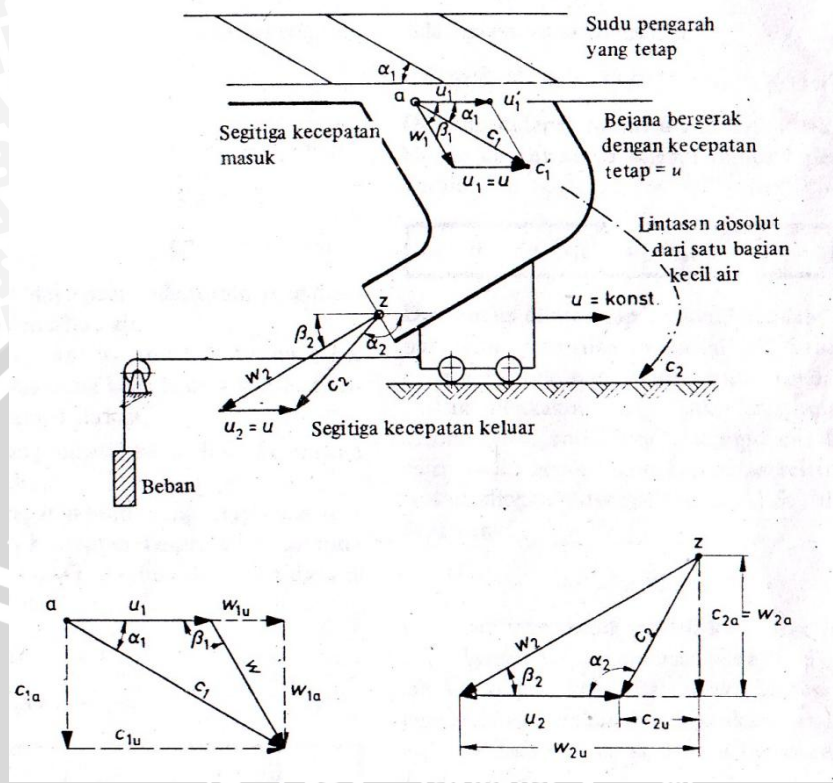
A = luas penampang saluran (m²)

c = kecepatan absolut fluida (m/s)

Jika fluida yang mengalir di dalam saluran adalah *incompressible*, maka $\rho_1 = \rho_2$. Sehingga persamaan kontinuitas dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Q = A_1 \cdot c_1 = A_2 \cdot c_2 \quad (\text{White, 2001:133}) \quad (2-9)$$

2.7.3 Segitiga Kecepatan



Gambar 2.13 Segitiga Kecepatan

Sumber : Dietzel, Fritz (1993: 11)

Dalam segitiga kecepatan ada tiga buah vektor kecepatan, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.13. Vektor kecepatan pertama adalah kecepatan tangensial, yaitu kecepatan keliling rotor (u). Kedua ialah kecepatan aliran air atau kecepatan absolute (c), dan yang ketiga adalah kecepatan air relative, karena berhubungan dengan bagian sebelah dalam bejana yang bergerak (w). Secara rumus dapat ditulis sebagai berikut:

$$c = u + w \quad \text{(Dietzel,1996:11)} \quad (2-10)$$

2.7.4 Momen gaya dan Percepatan sudut

Kalau dalam gerak lurus, gerakan benda dipengaruhi oleh gaya, maka dalam gerak rotasi, gerakan benda dipengaruhi oleh torsi. Semakin besar torsi, semakin cepat benda berotasi. Sebaliknya semakin kecil torsi, semakin lambat benda berotasi.

misalnya mula-mula benda diam (kecepatan sudut = 0). Jika pada benda itu dikerjakan torsi, benda itu berotasi dengan kecepatan sudut tertentu. Dalam hal ini benda mengalami perubahan kecepatan sudut (dari diam menjadi berotasi).

Semakin besar torsi, semakin besar percepatan sudut. sebaliknya semakin kecil torsi semakin kecil percepatan sudut. Dengan kata lain, torsi sebanding alias berbanding lurus dengan percepatan sudut.

Partikel bermassa m yang diberi gaya F gaya tegak lurus jari-jari menurut hukum Newton benda akan di percepat dengan percepatan searah dengan gaya percepatan. Percepatan ini dinamakan hubungan gaya dan percepatan ini adalah:

$$F = m \cdot a_t \quad (\text{Yrama,2006:149}) \quad (2-11)$$

Karena percepatan tangensial $a_t = r \alpha$, maka

$$F = m r \alpha \quad (\text{Yrama,2006:149}) \quad (2-12)$$

Apabila tiap ruas pada persamaan di atas dikalikan dengan r maka diperoleh

$$rF = mr^2 \alpha \quad (\text{Yrama,2006:149}) \quad (2-13)$$

Untuk benda tegar besar percepatan sudut α sama besar. rF adalah momen gaya benda terhadap poros (τ) dan mr^2 adalah momen inersia benda. Dengan demikian,

$$\tau = I \alpha \quad (\text{Yrama,2006:149}) \quad (2-14)$$

Rumus diatas mirip dengan Newton II. Disini torsi berperan seperti gerak translasi dan percepatan sudut berperan sebagai percepatan pada gerak translasi, bagaimana dengan I ? I mempunyai peran seperti massa, Benda bermassa besar sukar digerakkan/dipercepat.

2.7.5 Momen Inersia

1. momen inersia massa (Benda tegar dalam rotasi)

Untuk benda tebal

$$I_x = \int (y^2 + z^2) dm$$

$$I_y = \int (x^2 + z^2) dm$$

$$I_z = \int (x^2 + y^2) dm$$

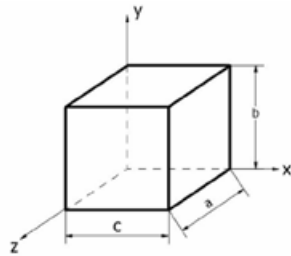
Untuk benda tipis

$$I_x = \int y^2 dm$$

$$I_y = \int x^2 dm$$

$$I_z = \int r^2 dm = I_x + I_y$$

- Contoh momen inersia benda



$$I_x = \frac{1}{12} m(a^2 + b^2)$$

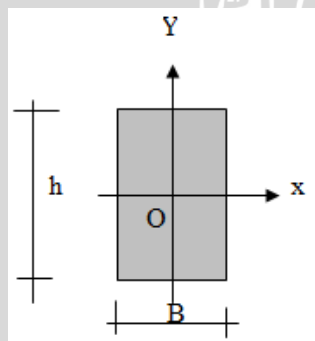
$$I_y = \frac{1}{12} m(a^2 + c^2)$$

$$I_z = \frac{1}{12} m(b^2 + c^2)$$

2. Momen inersia luasan (Kekakuan /kekuatan bahan)

- Terhadap sumbu yang terletak pada bidang luas / sumbu yang terletak di dalam bidang itu sendiri, seperti sumbu x dan y.
- Terhadap sumbu yang tegak lurus bidang luas (momen inersia polar), sumbu z

- Contoh momen inersia bidang datar penampang umum



$$I_x = \int y^2 dA = \frac{1}{12} bh^3$$

$$I_y = \int x^2 dA = \frac{1}{12} b^3 h$$

$$I_{polar} = \int r^2 dA$$

$$= \int (x^2 + y^2) dA = I_y + I_x$$

$$= \frac{1}{12} (bh^3 + b^3 h)$$

$$I_{xx} = 0$$

2.7.6 Momentum Anguler dan Hukum Kekekalan Momentum Anguler

Momentum anguler adalah ukuran tingkat kesukaran benda untuk dihentikan bila sedang berputar. Besarnya momentum anguler ditentukan oleh momen inersianya dan kecepatan angulernya. Besar momentum anguler dihitung dengan

rumus $L = I \cdot \omega$ mirip seperti momentum linier $P = mv$. Satuan momentum anguler adalah $\text{kgm}^2 \text{rad s}^{-1}$.

Bila tidak ada gaya yang bekerja pada benda, maka momentum anguler bersifat kekal, secara matematis dinyatakan dengan : $L_1 = L_2$ atau $I_1 \omega_1 = I_2 \omega_2$, sehingga kecepatan anguler benda yang berputar dapat diubah-ubah dengan mengubah besarnya momen inersia benda.

2.7.7 Gaya Friksi (Gesek)

Setiap benda yang bergerak pada suatu permukaan, selalu mengalami gaya gesekan yang besarnya bergantung pada koefisien gesekannya dan sebanding dengan gaya normal dan arahnya berlawanan dengan arah gerakannya.

$$f_r = \mu N \quad (\text{Soedarjana, 1962:39}) \quad (2-15)$$

dimana:

f_r : gaya gesekan (friksi)

μ : koefisien gesek

N : gaya normal

Gesekan biasanya terjadi di antara dua permukaan benda yang bersentuhan, baik terhadap udara, air atau benda padat. Selain menghambat gerak benda, gesekan dapat menimbulkan aus dan kerusakan.

Besarnya gaya gesek yang bekerja pada sebuah benda bergantung pada :

a) Gaya Normal / Gaya Berat

Gaya normal adalah gaya reaksi yang muncul ketika dua benda bersentuhan dan arah selalu tegak lurus bidang sentuh. Gaya normal dapat berasal dari berat benda sendiri ditambah pengaruh gaya luar “(Amalia, 2004).

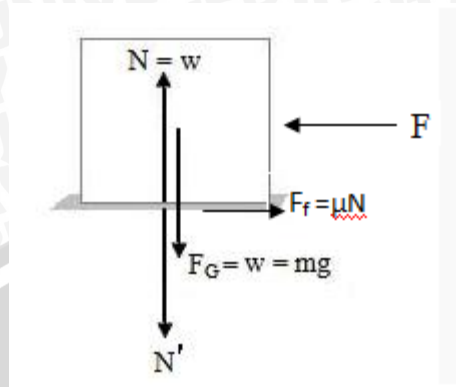
b) Koefisien Gesekan

Koefisien gesekan suatu bidang bergantung pada halus atau kasarnya permukaan benda tersebut. Gaya gesek satuannya newton, sedangkan koefisien gesekan tidak bersatuan dan harganya antara 0 dan 1 ($0 \leq \mu \leq 1$)

$\mu = 0$ untuk bidang licin sempurna

$\mu = 1$ untuk bidang yang sangat kasar

Jika $\mu = 0$ maka besarnya Gaya friksi sebanding dengan gaya normal/gaya berat.



Gambar 2.14 Gaya Friksi

Sumber : <http://ml.scribd.com/doc/60320985/Dasar-Teori-Gaya-Gesek>

Dari gambar diatas didapat persamaan sebagai berikut

Untuk statis(gerak akan mulai)

$$\sum F_y = N - w \quad (\text{Soedarjana,1962:39}) \quad (2-16)$$

$$\sum F_x = F - f_s \quad (\text{Soedarjana,1962:39}) \quad (2-17)$$

Untuk Friksi dinamis (sudah ada gerakan)

$$\sum F_y = N - w \quad (\text{Soedarjana,1962:39}) \quad (2-18)$$

$$\sum F_x = F - f_k \quad (\text{Soedarjana,1962:39}) \quad (2-19)$$

2.8 Hipotesa

Semakin tebal sudu maka gaya normal (gaya berat) kincir air semakin besar. Jika gaya berat semakin besar maka semakin besar pula gaya friksi kincir air. Hal ini menyebabkan torsi yang dihasilkan semakin menurun sehingga daya poros yang dihasilkan menurun.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian eksperimental (experimental research). Metode seperti ini digunakan untuk menguji pengaruh dari suatu perlakuan atau desain baru terhadap suatu proses atau peristiwa. Hubungan yang akan diselidiki dari metode ini adalah pengaruh variasi tebal sudu terhadap kinerja kincir air tipe sudu datar. Disamping itu literature berupa buku dan jurnal ilmiah yang berhubungan dengan permasalahan yang diteliti juga diperlukan sebagai bahan pendukung.

3.2 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fluida Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya pada bulan mei 2012 – selesai.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Variabel bebas (*independent variable*)

Variabel bebas adalah variabel yang tidak dipengaruhi oleh variabel yang lain, biasanya ditentukan oleh peneliti dan nilainya diubah-ubah untuk mendapatkan hubungan variabel bebas dengan variabel terikat. Adapun yang merupakan variabel bebas dalam penelitian ini adalah debit air (m^3/jam) yaitu sebesar 10, 12, 14, 16, 18 dan 20 serta variasi tebal sudu kincir air 3 mm, 6 mm, 9 mm dan 12 mm.

2. Variabel terikat (*dependent variable*)

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas yang telah ditentukan. Variabel ini dicari dalam penelitian. Dalam penelitian ini yang digunakan sebagai variabel terikat adalah :

- Daya poros yang dihasilkan kincir air tipe sudu datar.

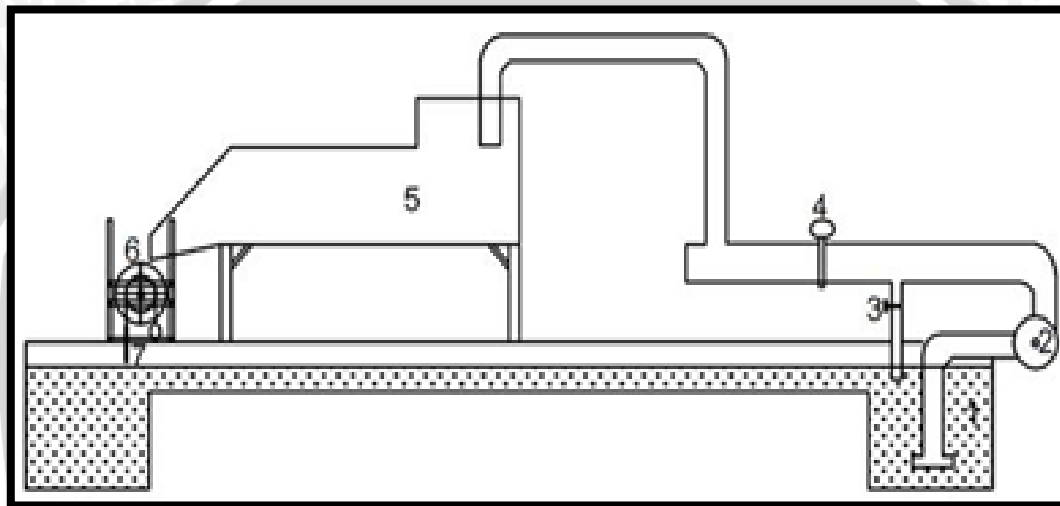
- Efisiensi yang dihasilkan kincir air tipe sudu datar.

3. Variabel terkontrol (*controlled variable*)

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya dijaga konstan selama pengujian.

3.4 Instalasi Penelitian

Instalasi penelitian dapat dilihat seperti pada gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 : Instalasi Penelitian

KETERANGAN :

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

3.5 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

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 3.2.



Gambar 3.2 Pompa air

Sumber : Laboratorium Mesin-Mesin Fluida FT-UB

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

2. *Magnetic Flowmeter*

Merupakan alat untuk mengukur besar debit air pada instalasi, seperti ditunjukkan pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Magnetic flowmeter

Sumber : Laboratorium Mesin-Mesin Fluida FT-UB

3. Saluran terbuka

Digunakan untuk menampung air saat pengoperasian kincir air selama penelitian berlangsung, seperti ditunjukkan pada gambar 3.4



Gambar 3.4 : Saluran Terbuka

Sumber : Laboratorium Mesin-Mesin Fluida FT-UB

4. Neraca pegas

Gaya yang ditimbulkan dari putaran poros akan diukur dengan menggunakan neraca pegas, seperti ditunjukkan pada gambar 3.5. Neraca pegas tersebut terhubung dengan poros melalui sebuah lengan dengan panjang tertentu. Dari besar gaya yang terukur akan diketahui besar daya poros yang dihasilkan. Satuannya adalah Newton.



Gambar 3.5: Neraca pegas

Sumber : Laboratorium Mesin-Mesin Fluida FT-UB

5. *Tachometer*

Pada prinsipnya *Tachometer* (Gambar 3.6) digunakan untuk mengukur besarnya kecepatan putar pada kincir air.



Gambar 3.6: Tachometer

Sumber : Laboratorium Mesin-Mesin Fluida FT-UB

6. Kincir air

Pada gambar 3.7 merupakan kincir air yang digunakan selama penelitian ini.



Gambar 3.7 : Kincir Air

Sumber : Laboratorium Mesin-Mesin Fluida FT-UB

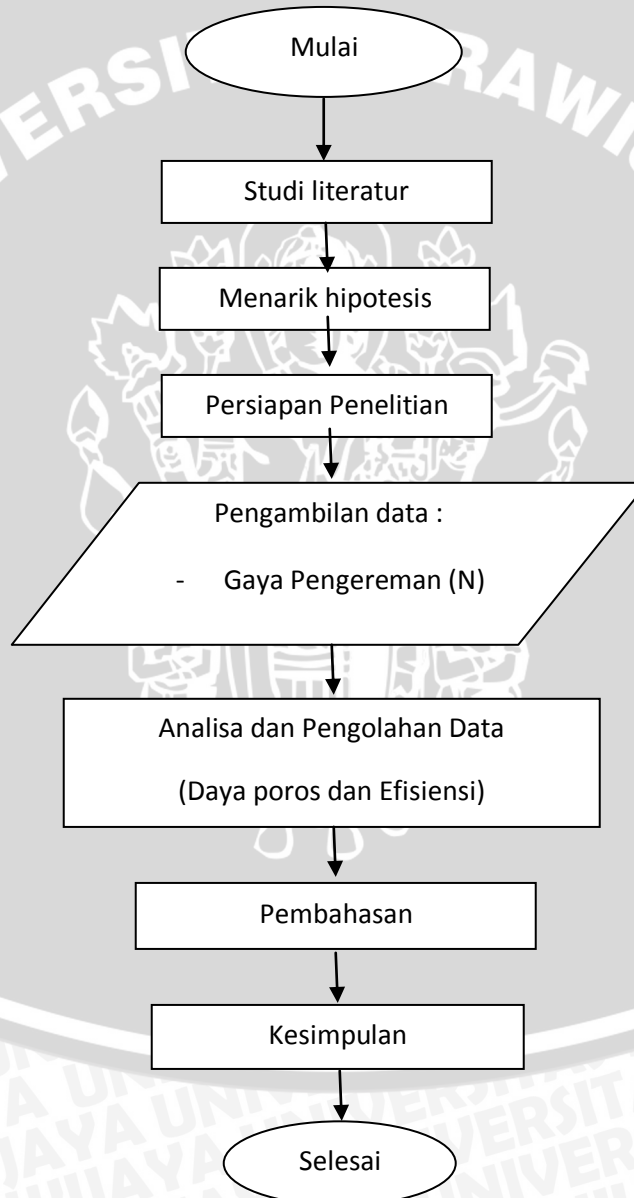
3.6 Metode Pengambilan Data

Adapun urutan proses pengambilan data adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan instalasi penelitian dan kincir air dengan tebal sudu yang telah ditentukan.
2. Hidupkan pompa.
3. Atur debit sesuai dengan yang divariasikan. Debit air diatur dengan melihat *Magnetic Flowmeter*, dimana debit air dimulai dari $10 \text{ m}^3/\text{jam}$.
4. Setelah keadaan mencapai kondisi *steady*, pengambilan data dapat dilakukan.
5. Pengambilan data berupa kecepatan putar dan gaya pengereman pada kincir air.
6. Tambahkan debit air menjadi $12 \text{ m}^3/\text{jam}$, $14 \text{ m}^3/\text{jam}$, $16 \text{ m}^3/\text{jam}$ dan $20 \text{ m}^3/\text{jam}$ secara berturut-turut kemudian catat kecepatan putar dan gaya pengeremannya.
7. Mengganti sudu dengan tebal sudu lain yang diuji selanjutnya.
8. Ulangi langkah tiga sampai enam dengan variasi tebal sudu yang tetap.

9. Data diolah, kemudian dianalisa pengaruh tebal 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.

3.7 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.8 Diagram alir

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian

Data hasil pengujian variasi lebar sudu terhadap kinerja kincir air tipe sudu datar pada putaran 30 rpm

- Tabel 4.1 Data pengujian kincir air tipe sudu datar dengan tebal sudu 12 mm

No (number)	Q (m ³ /jam)	F (N)	T (N.m)	WHP (Watt)	BHP (Watt)	Efisiensi (%)
1	10	2,34	0,234	3,5	0,73476	20,99314
2	12	3,44	0,344	4,125	1,08016	26,1857
3	14	5,32	0,532	4,875	1,67048	34,26626
4	16	7,58	0,758	5,5	2,38012	43,27491
5	18	9,4	0,94	6,25	2,9516	47,2256
6	20	11,48	1,148	7	3,60472	51,496

- Tabel 4.2 Data pengujian kincir air tipe sudu datar dengan tebal sudu 9 mm

No (number)	Q (m ³ /jam)	F (N)	T (N.m)	WHP (Watt)	BHP (Watt)	Efisiensi (%)
1	10	2,53	0,253	3,5	0,79442	22,69771
2	12	3,68	0,368	4,125	1,15552	28,01261
3	14	5,74	0,574	4,875	1,80236	36,97149
4	16	7,88	0,788	5,5	2,47432	44,98764
5	18	9,56	0,956	6,25	3,00184	48,02944
6	20	11,7	1,17	7	3,6738	52,48286

- Tabel 4.3 Data pengujian kincir air tipe sudu datar dengan tebal sudu 6 mm

No (number)	Q (m ³ /jam)	F (N)	T (N.m)	WHP (Watt)	BHP (Watt)	Efisiensi (%)
1	10	2,7	0,27	3,5	0,8478	24,22286
2	12	4,01	0,401	4,125	1,25914	30,52461
3	14	5,97	0,597	4,875	1,87458	38,45292
4	16	8,01	0,801	5,5	2,51514	45,72982
5	18	9,72	0,972	6,25	3,05208	48,83328
6	20	11,9	1,19	7	3,7366	53,38

- Tabel 4.4 Data pengujian kincir air tipe sudu datar dengan tebal sudu 3 mm

No (number)	Q (m ³ /jam)	F (N)	T (N.m)	WHP (Watt)	BHP (Watt)	Efisiensi (%)
1	10	2,8	0,28	3,5	0,8792	25,12
2	12	4,25	0,425	4,125	1,3345	32,35152
3	14	6,14	0,614	4,875	1,92796	39,5479
4	16	8,13	0,813	5,5	2,55282	46,41491
5	18	9,86	0,986	6,25	3,09604	49,53664
6	20	12,41	1,241	7	3,89674	55,66771

4.2 Contoh Perhitungan

Perhitungan data dilakukan untuk mencari nilai daya poros, daya air dan efisiensi kincir air tipe sudu datar dengan variasi tebal sudu pada sistem aliran overshoot. Sebagai contoh perhitungan dan data pengujian, diambil pada debit 20m³/jam terhadap kinerja dari kincir air dengan variasi tebal sudu 3 mm. Adapun data yang diambil adalah sebagai berikut :

Ketinggian Kincir Air (h)	= 0,1 m
Debit aliran air (Q)	= 20 m ³ /jam = 0.0056 m ³ /s
Kecepatan putar kincir (n)	= 30 rpm
Gaya pengereman kincir (F)	= 12,41 N
Lebar sudu	= 0.45 m
Diameter kincir	= 0,38 m

$$\text{Massa jenis air} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Lengan } \textit{pulley} = 0,1 \text{ m}$$

Berikut ini adalah contoh perhitungan

- Pada debit $10 \text{ m}^3/\text{jam}$ atau $0.0028 \text{ m}^3/\text{s}$ untuk tebal sudu 12 mm .

1. Torsi (T)

$$T = F \times R$$

$$T = 2,34 \times 0,1$$

$$T = 0,234 \text{ Nm}$$

2. Daya Air (WHP)

$$WHP = \rho \times Q \times g \times h$$

$$WHP = 1000 \times 0,0028 \times 10 \times 0,125$$

$$WHP = 3.5 \text{ Watt}$$

3. Daya Poros (BHP)

$$BHP = T \times \omega$$

$$BHP = 0,234 \times \frac{2\pi \times 30}{60}$$

$$BHP = 0,73476 \text{ Watt}$$

4. Efisiensi (η)

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

$$\eta = \frac{0.73476}{3.5} \times 100\%$$

$$\eta = 20,99314 \%$$

- Pada debit $20 \text{ m}^3/\text{jam}$ atau $0.0056 \text{ m}^3/\text{s}$ untuk tebal sudu 3 mm .

1. Torsi (T)

$$T = F \times R$$

$$T = 12,41 \times 0,1$$

$$T = 1,241 \text{ Nm}$$

2. Daya Air (WHP)

$$WHP = \rho \times Q \times g \times h$$

$$WHP = 1000 \times 0,0056 \times 10 \times 0,125$$

$$WHP = 7 \text{ Watt}$$

3. Daya Poros (BHP)

$$BHP = T \times \omega$$

$$BHP = 1,241 \times \frac{2\pi \times 30}{60}$$

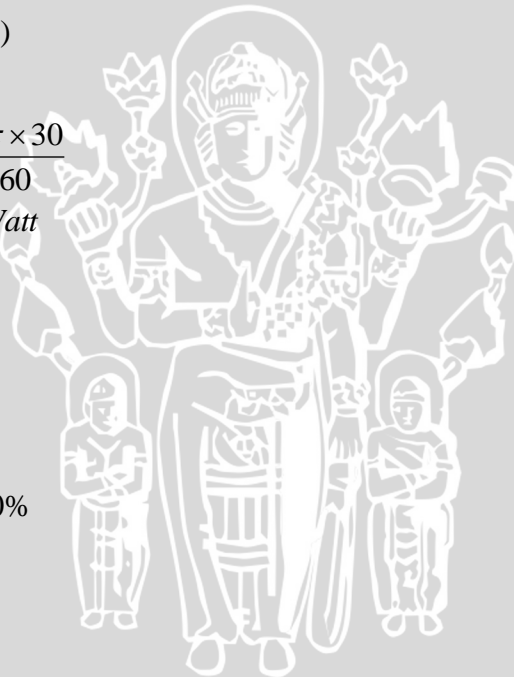
$$BHP = 3,89674 \text{ Watt}$$

4. Efisiensi (η)

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

$$\eta = \frac{3,89674}{7} \times 100\%$$

$$\eta = 55,66771\%$$



4.3 Analisa Statistik

Dari data pengujian dapat dianalisa apakah faktor-faktor dalam pengujian ini yaitu variasi ketebalan sudu dan debit air memiliki pengaruh terhadap kinerja kincir air tipe sudu datar atau tidak. Pada setiap pengambilan data, kedua faktor di atas tercakup di dalamnya. Oleh karena itu, analisa statistik yang dilakukan adalah analisis varian dua arah (*two way ANOVA*).

4.3.1 Analisis Varian Dua Arah (*Two way ANOVA*)

Untuk mengetahui berpengaruh atau tidaknya variasi ketebalan sudu dan debit air terhadap kinerja kincir air tipe sudu datar, perlu dilakukan analisis varian dua arah. Apabila nilai F_{hitung} lebih besar daripada F_{tabel} maka faktor yang diuji berpengaruh secara nyata. Namun, bila nilai F_{hitung} lebih kecil atau sama dengan F_{tabel} maka faktor yang diuji tidak berpengaruh secara nyata.

1. Formulasi Hipotesis

1) $H_0 : \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = \alpha_6 = 0$ (pengaruh baris)

(tidak ada pengaruh debit air terhadap kinerja kincir air tipe sudu datar)

H_1 : sekurang-kurangnya satu ukuran debit air berpengaruh terhadap kinerja kincir air tipe sudu datar

2) $H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = 0$ (pengaruh kolom)

(tidak ada pengaruh tebal sudu terhadap kinerja kincir air tipe sudu datar)

H_1 : sekurang-kurangnya satu ukuran tebal sudu berpengaruh terhadap kinerja kincir air tipe sudu datar

2. Taraf Nyata dan Nilai F_{tabel}

$$\alpha = 0,05$$

$$\text{Untuk baris } F_{tabel} = F_{(0,05;5;15)} = 2,9$$

$$\text{Untuk kolom } F_{tabel} = F_{(0,05;3;15)} = 3,29$$

3. Menentukan Kriteria Pengujian

a. Untuk Baris :

H_0 diterima jika $F_{hitung} \leq 2,9$

H_0 ditolak jika $F_{hitung} > 2,9$

b. Untuk Kolom :

H_0 diterima jika $F_{hitung} \leq 3,29$

H_0 ditolak jika $F_{hitung} > 3,29$

4. Membuat Analisis Varians dalam bentuk Tabel ANOVA

Tabel 4.5 Perhitungan *Two Way*-Anova

Q (m3/jam)	Efisiensi (%)				Total
	Tebal 12mm	Tebal 9mm	Tebal 6mm	Tebal 3mm	
10	20,99314	22,69771	24,22286	25,12	93,03371
12	26,1857	28,01261	30,52461	32,35152	117,0744
14	34,26626	36,97149	38,45292	39,5479	149,2386
16	43,27491	44,98764	45,72982	46,41491	180,4073
18	47,2256	48,02944	48,83328	49,53664	193,625
20	51,496	52,48286	53,38	55,66771	213,0266
Total	223,44161	233,18175	241,14349	248,63868	946,4055

$$\begin{aligned}
 JKT &= \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c x_{ij}^2 - \frac{T_{..}^2}{rc} && \text{(Walpole, 1995:403)} \\
 &= 40078,5855 - \frac{37320,1428^2}{24} \\
 &= 2758,44266
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 JKB &= \frac{\sum_{i=1}^r T_i^2}{c} - \frac{T_{..}^2}{rc} && \text{(Walpole, 1995:403)} \\
 &= \frac{93,03371^2 + 117,0744^2 + \dots + 213,0266^2}{4} - 37320,1428 \\
 &= 2692,75165
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 JKK &= \frac{\sum_{j=1}^c T_j^2}{r} - \frac{T_{..}^2}{rc} && \text{(Walpole, 1995:403)} \\
 &= \frac{223,44161^2 + 233,18175^2 + \dots + 248,63868^2}{6} - 37320,1428 \\
 &= 58,4001284
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 JKK &= JKT - JKB - JKK && \text{(Walpole, 1995:403)} \\
 &= 2758,44266 - 2692,75165 - 58,4001284 \\
 &= 7,29087764
 \end{aligned}$$

Tabel 4.6 ANOVA

Sumber Varian	JK	Db	KT	Fhitung	Ftabel
Debit	2692,752	5	538,5503	1107,995	2,9
Tebal	58,40013	3	19,46671	40,05014	3,29
Galat	7,290878	15	0,486059		
Total	2758,443	23			

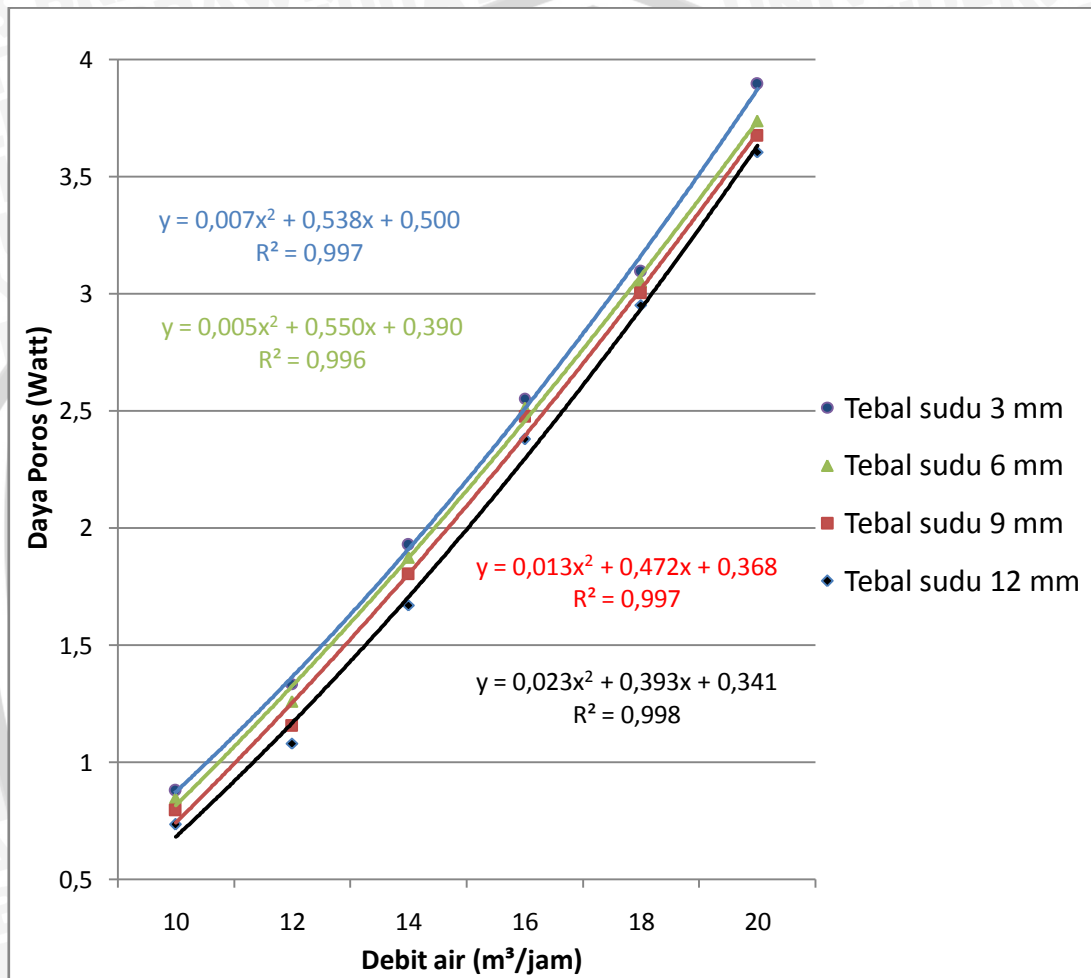
5. Kesimpulan

- 1) Untuk baris : karena $F_{hitung} > F_{(0,05;5;15)}$ yaitu $1107,995 > 2,9$ maka H_0 ditolak. Jadi debit air berpengaruh terhadap kinerja kincir air tipe sudu datar.
- 2) Untuk kolom : karena $F_{hitung} > F_{(0,05;3;15)}$ yaitu $40,05014 > 3,29$ maka H_0 ditolak. Jadi tebal sudu berpengaruh terhadap kinerja kincir air tipe sudu datar.

4.4 Analisa Grafik

4.4.1 Analisa Grafik Debit Air terhadap Daya Poros

Dari data pengujian kincir air maka didapatkan grafik hubungan antara debit air dan tebal sudu terhadap daya poros yang dihasilkan kincir air.



Gambar 4.1 Grafik hubungan antara debit air dengan daya poros

Persamaan Untuk Grafik Hubungan Antara Debit Air (Q) 20 m³/jam dengan Daya Poros (P) pada Tebal Sudu (T) didapatkan dengan persamaan *mathematic* seperti dibawah ini:

$$P = F(Q, T)$$

$$P = F(Q) \rightarrow P = a - bQ$$

$$P = F(T) \rightarrow P = cT + d$$

- Substitusi dengan nilai P, Q dan T untuk tebal sudu 12 mm

$$3.61 = a - b(20)$$

$$\frac{3.61 = 12c + d}{+}$$

$$7.22 = (a + d) + 12c - 20b \quad (1)$$

- Substitusi dengan nilai P, Q dan T untuk tebal sudu 3 mm

$$3.9 = a - b(20)$$

$$\frac{3.9 = 3c + d}{+}$$

$$7.8 = (a + d) + 3c - 20b \quad (2)$$

- Eliminasi (1) dan (2)

$$7.22 = (a + d) + 12c - 20b$$

$$\frac{7.8 = (a + d) + 3c - 20b}{-}$$

$$-0,58 = -9c$$

$$c = 0.064 \quad (3)$$

- Substitusi (3) ke (2)

$$7.8 = (a + d) + 3(0.064) - 20b$$

$$7.8 = (a + d) + 0.192 - 20b$$

$$7.608 = (a + d) - 20b$$

$$b = -0.38(a + d) \quad (4)$$

- Substitusi (3) dan (4) ke (2)

$$7.8 = (a + d) + 3c - 20b$$

$$7.8 = (a + d) + 3(0.064) - 20(-0.38(a + d))$$

$$7.8 = (a + d) + 0.192 + 7.6(a + d)$$

$$(a + d) = 0.885 \quad (5)$$

- Substitusi (5) ke (4)

$$b = -0.38(a + d)$$

$$= -0.38(0.885)$$

$$= -0.336$$

- Persamaan *mathematic* yang didapat:

$$P = \frac{1}{2} ((a + d) + cQ - bT)$$

$$P = \frac{1}{2} (0.885 + 0.064Q + 0.336T)$$

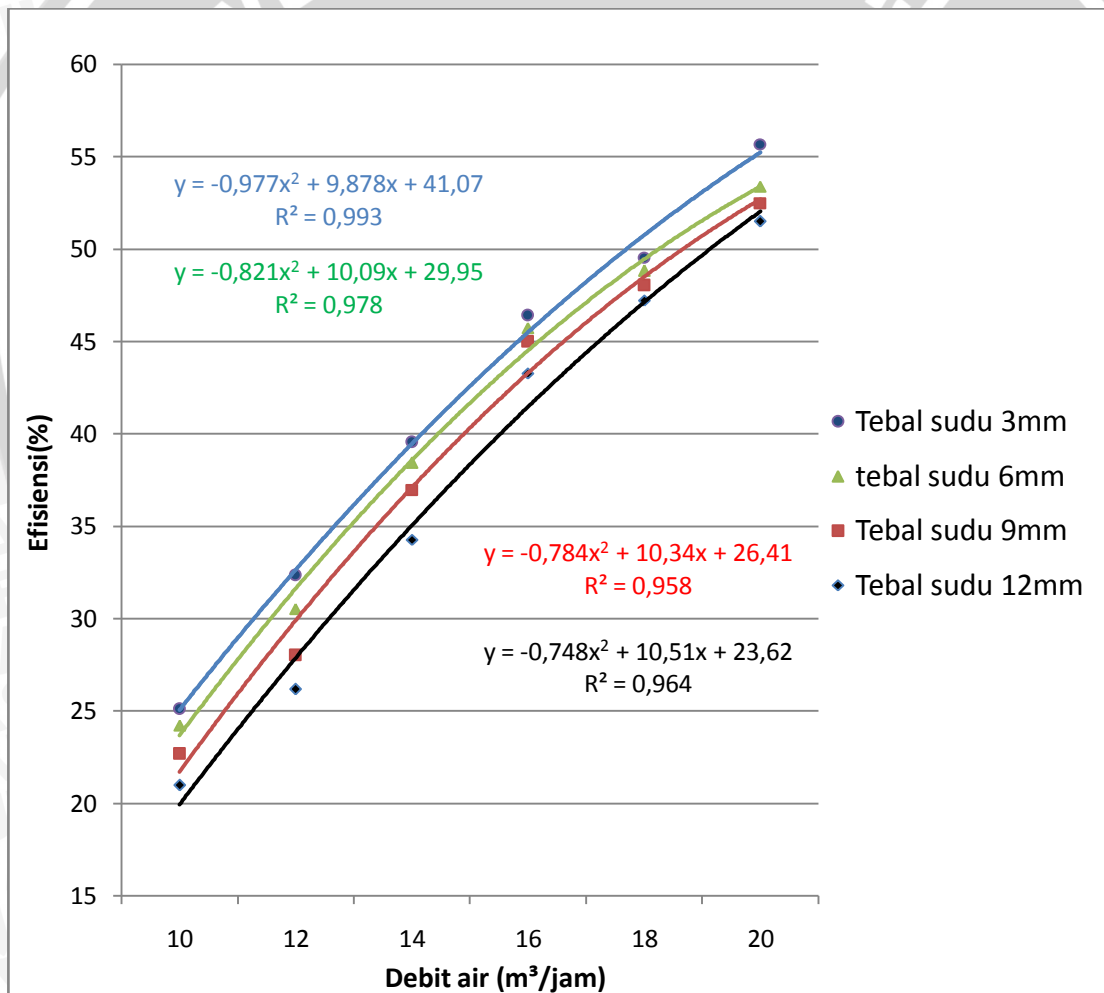
$$P = 0.4425 + 0.032Q + 0.168T$$

$$y = 0.4425 + 0.032Q + 0.168T$$

sehingga nilai Daya poros kincir air dengan variabel debit air dan tebal sudu dapat diperoleh dengan persamaan $y = 0.4425 + 0.032Q + 0.168T$

4.4.2 Analisa Grafik Debit Air terhadap Efisiensi

Dari data pengujian kincir air juga didapatkan grafik hubungan antara debit air dan tebal sudu terhadap efisiensi kincir air.



Gambar 4.2 Grafik hubungan antara debit air dengan Efisiensi

Persamaan Untuk Grafik Hubungan Antara Debit Air (Q) $20 \text{ m}^3/\text{jam}$ dengan Efisiensi (η) pada Tebal Sudu (T) didapatkan dengan persamaan *mathematic* seperti dibawah ini:

$$\eta = F(Q, T)$$

$$\eta = F(Q) \rightarrow \eta = a - bQ$$

$$\eta = F(T) \rightarrow \eta = cT + d$$

- Substitusi dengan nilai W , Q dan T untuk tebal sudu 12 mm

$$51.5 = a - b(20)$$

$$51.5 = 12c + d \quad +$$

$$103 = (a + d) + 12c - 20b \quad (1)$$

- Substitusi dengan nilai P , Q dan T untuk tebal sudu 3 mm

$$55.67 = a - b(20)$$

$$55.67 = 3c + d \quad +$$

$$111.34 = (a + d) + 3c - 20b \quad (2)$$

- Eliminasi (1) dan (2)

$$103 = (a + d) + 12c - 20b$$

$$111.34 = (a + d) + 3c - 20b \quad -$$

$$-8,34 = -9c$$

$$c = 0.93 \quad (3)$$

- Substitusi (3) ke (2)

$$111.34 = (a + d) + 3(0.93) - 20b$$

$$111.34 = (a + d) + 2.79 - 20b$$

$$108.55 = (a + d) - 20b$$

$$b = -5.43(a + d) \quad (4)$$

- Substitusi (3) dan (4) ke (2)

$$111.34 = (a + d) + 3c - 20b$$

$$111.34 = (a + d) + 3(0.93) - 20(-5.43(a + d))$$

$$111.34 = (a + d) + 2.79 + 108.6(a + d)$$

$$(a + d) = 0.99 \quad (5)$$

- Substitusi (5) ke (4)

$$\begin{aligned} b &= -5.43(a+d) \\ &= -5.43(0.99) \\ &= -5.38 \end{aligned}$$

- Persamaan *mathematic* yang didapat:

$$\eta = \frac{1}{2}((a+d) + cQ - bT)$$

$$\eta = \frac{1}{2}(0.99 + 0.93Q + 5.38T)$$

$$\eta = 0.495 + 0.465Q + 2.69T$$

$$y = 0.495 + 0.465Q + 2.69T$$

sehingga nilai Daya poros kincir air dengan variabel debit air dan tebal sudu dapat diperoleh dengan persamaan $y = 0.495 + 0.465Q + 2.69T$

4.5 Pembahasan

4.5.1 Hubungan Debit Air, Tebal Sudu dan Daya Poros

Dari gambar 4.1 terlihat, pada tebal sudu yang sama semakin besar debit air maka torsi yang dihasilkan semakin besar. Pada tebal sudu 12 mm memiliki kecenderungannya grafik naik dari debit air 10 m³/jam, 12 m³/jam, 14 m³/jam, 16 m³/jam, 18 m³/jam dan 20 m³/jam dengan nilai daya poros secara berturut-turut yaitu 0,73 Watt, 1,08 Watt, 1,67 Watt, 2,38 Watt, 2,95 Watt dan 3,60 Watt. Hal ini disebabkan karena semakin besar debit air maka massa aliran akan semakin besar dan kecepatan aliran fluida yang menumbuk sudu kincir pun semakin besar sehingga torsi yang dihasilkan juga ikut bertambah dan daya poros semakin besar pula. Hal yang sama terjadi pada tebal sudu 9 mm, 6 mm dan 3 mm yang mana juga memiliki kecenderungan grafik meningkat seiring bertambah besarnya debit air dari 10 m³/jam sampai debit air 20 m³/jam. Hal ini sesuai dengan persamaan berikut yaitu :

$$\begin{aligned} \text{BHP} &= T \cdot \omega \\ &= F \cdot R \cdot \omega \\ &= \dot{m} \cdot \Delta V \cdot R \cdot \omega \end{aligned}$$

Selain itu, pada gambar 4.1 diketahui bahwa pada debit yang sama, terdapat perbedaan nilai daya poros kincir air pada variasi tebal sudu. Jika semakin tebal sudu pada kincir air maka daya poros akan menurun. Hal ini disebabkan karena semakin tebal sudu maka Hal ini disebabkan karena semakin tebal sudu maka semakin meningkatnya gaya friksi kincir air sehingga torsi yang dihasilkan kincir air menurun akibatnya daya poros yang dihasilkan semakin menurun. Pada debit $20 \text{ m}^3/\text{jam}$ yang merupakan debit air yang terbesar, Nilai dari daya poros paling besar terdapat pada tebal sudu 3 mm sebesar 3,897 watt sedangkan nilai daya poros paling kecil terdapat pada tebal sudu 12 mm sebesar 3,60 watt. Begitu pula pada debit yang terkecil yaitu pada debit $10 \text{ m}^3/\text{jam}$, nilai daya poros terbesar pada tebal sudu 3 mm sebesar 0,88 watt sedangkan nilai daya poros terkecil pada tebal sudu 12 mm yaitu 0,73 watt.

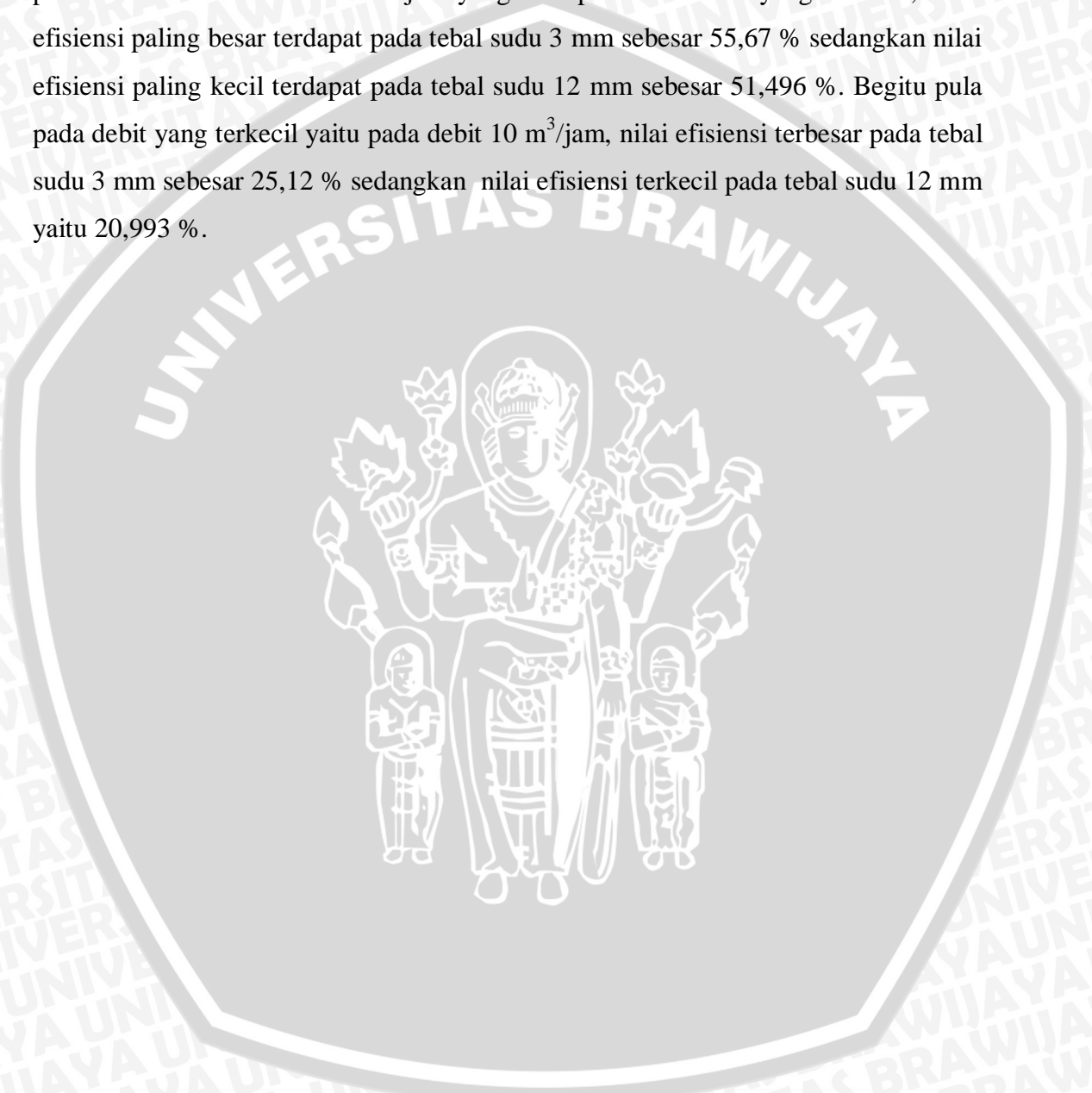
4.5.2 Hubungan Debit air, Tebal Sudu dan Efisiensi

Dari gambar 4.2 terlihat, pada tebal sudu yang sama semakin besar debit air maka torsi yang dihasilkan semakin besar. Pada tebal sudu 12 mm memiliki kecenderungannya grafik naik dari debit air $10 \text{ m}^3/\text{jam}$, $12 \text{ m}^3/\text{jam}$, $14 \text{ m}^3/\text{jam}$, $16 \text{ m}^3/\text{jam}$, $18 \text{ m}^3/\text{jam}$ dan $20 \text{ m}^3/\text{jam}$ dengan nilai efisiensi dari yang terkecil sampai yang terbesar secara berturut-turut yaitu 20,99 %, 26,19 %, 34,27 %, 47,23% dan 51,49 Wattt. Hal ini disebabkan karena semakin besar debit air maka massa aliran akan semakin besar begitu pula dengan kecepatan aliran fluida yang menumbuk sudu kincir sehingga torsi yang dihasilkan juga ikut bertambah dan daya poros akan meningkat. Jika daya poros meningkat maka efisiensi meningkat karena daya poros berbanding lurus dengan efisiensi. Begitu pula pada tebal sudu 9 mm, 6 mm dan 3 mm dari debit air $10 \text{ m}^3/\text{jam}$ sampai debit air $20 \text{ m}^3/\text{jam}$ nilai efisiensinya juga semakin meningkat. Hal ini sesuai dengan persamaan berikut yaitu :

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

Selain itu, pada gambar 4.2 juga diketahui bahwa pada debit air yang sama, terdapat perbedaan nilai efisiensi pada variasi tebal sudu. Yang mana semakin tebal sudu pada kincir air maka efisiensi akan menurun. Hal ini disebabkan karena semakin

tebal sudu maka Hal ini disebabkan karena semakin tebal sudu maka semakin meningkatnya gaya friksi kincir air sehingga torsi yang dihasilkan kincir air menurun akibatnya daya poros yang dihasilkan semakin menurun yang nantinya efisiensinya pun menurun. Pada debit $20 \text{ m}^3/\text{jam}$ yang merupakan debit air yang terbesar, Nilai efisiensi paling besar terdapat pada tebal sudu 3 mm sebesar 55,67 % sedangkan nilai efisiensi paling kecil terdapat pada tebal sudu 12 mm sebesar 51,496 %. Begitu pula pada debit yang terkecil yaitu pada debit $10 \text{ m}^3/\text{jam}$, nilai efisiensi terbesar pada tebal sudu 3 mm sebesar 25,12 % sedangkan nilai efisiensi terkecil pada tebal sudu 12 mm yaitu 20,993 %.



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan didapatkan kesimpulan bahwa :

1. Variasi tebal sudu kincir air mempunyai pengaruh terhadap daya poros dan efisiensi kincir air tipe sudu datar.
2. Semakin tebal sudu kincir air maka daya poros semakin menurun dan efisiensi pun semakin menurun.
3. Dalam penelitian ini tebal sudu 3 mm adalah paling baik digunakan karena mempunyai daya poros dan efisiensi yang paling besar.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, peneliti menyarankan untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan :

1. Meneliti tentang pengaruh jumlah sudu kincir air pada sistem aliran *overshot* agar daya poros dan efisiensi kincir air tipe sudu datar meningkat.
2. Perlu adanya penelitian guna mengetahui kekuatan dari sudu kincir air.

DAFTAR PUSTAKA

Amri, Syaiful 2012. Analisis kinerja kincir air tipe sudu datar dengan variasi lebar sudu. Skripsi tidak diterbitkan. Malang: Universitas Brawijaya.

Bima, isa 2012. Analisis kinerja kincir air tipe sudu datar dengan variasi sistem aliran fluida. Skripsi tidak diterbitkan. Malang: Universitas Brawijaya.

Bueche, F. J. 1988. *Fisika*. Jakarta: Erlangga

Dietzel, Fritz (1980). *Turbin Pompa dan Kompresor* (4th ed.), Sriyono, D. (1993) (alih Bahasa), Jakarta : Erlangga

Ega, blog. umy.ac.id/pandega/2011/11/16/pemanfaatan-energy-air (diakses 20 Februari 2012)

Europa.eu.int/en/comm/dg17/hydro/layman2.pdf

<http://ml.scribd.com/doc/60320985/Dasar-Teori-Gaya-Gesek>

Library.gunadarma.ac.id/repository/view/21204/pengaruh-tinggi-air-jatuh-terhadap-daya-yang-dihasilkan-kincir-air.html

Muhaeming ,dkk.2008. Bahan Kuliah Mekanika Teknik. Jatinangor: Universitas Padjadjaran

Osv.org/education/WaterPower.html

Rahmanta13.wordpress.com/category/mechanical-engineering/

Rise.org.au/info/tech/hydro/large.html

Round, G.F. 2004. Incompressible Flow Turbomachines. Oxford: Gulf Propesional Publishing

Saripudin, dkk.2009. *Praktis belajar fisika*. Jakarta: Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional

Soedarjana. *Mekanika, panas, dan bunyi*. Jakarta: Binacipta

Yrama. 2006. Intisari fisika. Bandung : Cv Pustaka Setia

Zahir, Kadir . 2010. Pengaruh Tinggi Sudu Kincir air Terhadap Daya dan Efisiensi yang dihasilkan. Skripsi diterbitkan. Palembang: Universitas Sriwijaya.

Zulhijal, K. 2011. *Perancangan Kincir Air Untuk PLTA Mini di Kanagarian Sungai Batuang*. Jakarta: Universitas Bung Hatta Indonesia

Lampiran A

Mengambil data gaya pengereman yang dihasilkan kincir air



Lampiran B

ANOVA yang dihitung menggunakan Microsoft excel 2007

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	2692,752	5	538,55033	1107,99486	1,0543E-18	2,901295
Columns	58,40013	3	19,4667095	40,0501361	2,1279E-07	3,287382
Error	7,290878	15	0,48605851			
Total	2758,443	23				



Lampiran C

Data Percobaan Kincir Air

Q(m ³ /jam)	NO	Tebal 12 mm	Tebal 9 mm	Tebal 6 mm	Tebal 3 mm
		F (N)			
10	1	2,36	2,54	2,79	2,82
	2	2,32	2,58	2,71	2,78
	3	2,34	2,48	2,62	2,8
	Rata-rata	2,34	2,533333333	2,706666667	2,8
12	1	3,4	3,6	4,11	4,3
	2	3,49	3,76	3,92	4,25
	3	3,43	3,69	4	4,2
	Rata-rata	3,44	3,683333333	4,01	4,25
14	1	5,28	5,72	5,9	6,1
	2	5,6	5,8	6,06	6,2
	3	5,08	5,7	5,94	6,12
	Rata-rata	5,32	5,74	5,966666667	6,14
16	1	7,5	7,8	7,98	8,1
	2	7,58	7,98	8,01	8,13
	3	7,66	7,85	8,04	8,16
	Rata-rata	7,58	7,876666667	8,01	8,13
18	1	9,38	9,5	9,68	9,8
	2	9,52	9,64	9,74	9,94
	3	9,3	9,54	9,74	9,83
	Rata-rata	9,4	9,56	9,72	9,856666667
20	1	11,4	11,68	11,86	12,39
	2	11,58	11,82	11,93	12,41
	3	11,46	11,6	11,92	12,43
	Rata-rata	11,48	11,7	11,90333333	12,41