

**PENGARUH VARIASI SUDUT *GUIDE TUBE* TERHADAP UNJUK  
KERJA TURBIN BANKI**

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

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**



Disusun Oleh :

**AHMAD M. BALADRAF**  
**NIM. 0510620013-62**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL**  
**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**MALANG**  
**2010**



**LEMBAR PERSETUJUAN**

**PENGARUH VARIASI SUDUT *GUIDE TUBE* TERHADAP UNJUK  
KERJA TURBIN BANKI**

**SKRIPSI**

**KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

**AHMAD M. BALADRAF**  
**NIM. 0510620013-62**

**Telah diperiksa dan disetujui oleh :**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

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

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



**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGARUH VARIASI SUDUT *GUIDE TUBE* TERHADAP UNJUK  
KERJA TURBIN BANKI**

**SKRIPSI**

**KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun Oleh :

**AHMAD M. BALADRAF**  
**NIM. 0510620013-62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
Tanggal 10 Agustus 2010

Skripsi 1

Skripsi 2

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

Ir. Endi Sutikno, MT.  
NIP. 19590411 198710 1 001

Komprehensif

Ir. Winarno Yahdi Atmodjo, MT.  
NIP. 19460804 198303 1 001

Mengetahui  
Ketua Jurusan Teknik Mesin

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

## KATA PENGANTAR

*Assalamualaikum wr.wb.* Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan nikmat, rahmat, hidayah dan karunia yang telah diberikan. Juga sholawat dan salam kami tujukan kepada Nabi Besar Muhammad SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Pengaruh Variasi Sudut Guide Tube Terhadap Unjuk Kerja Turbin Banki”**.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang selama ini, baik secara langsung maupun tidak langsung telah banyak membantu penulis hingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik, ucapan khusus penulis berikan kepada:

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya sekaligus selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan masukan, pengetahuan dan banyak meluangkan waktunya untuk membantu penulis selama penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Dr.Eng Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Bapak Ir. I Made Gunadiarta, MT., selaku selaku Ketua Kelompok Pengajar Konsentrasi Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin.
4. Bapak Ir. Djoko Sutikno, M.Eng selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan arahan, masukan dan berdiskusi bersama serta meluangkan waktunya untuk membimbing penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko, M. Eng.Sc. dan Ibu Putu Hadi Setyarini, ST., MT yang telah memberikan ide, arahan dan masukan dalam penyusunan instalasi penelitian.
6. Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST, M. Eng selaku Ketua Laboratorium Motor Bakar yang telah banyak berdiskusi bersama dan membimbing penulis selama berada di laboratorium.
7. Seluruh Dosen Pengajar Jurusan Teknik Mesin yang telah banyak memberikan ilmu pengetahuan yang sangat mendukung penyusunan skripsi ini.
8. Seluruh Staf Administrasi Jurusan Teknik Mesin serta Fakultas Teknik Universitas Brawijaya atas bantuan dan kelancaran dalam hal administrasi dan surat menyurat.

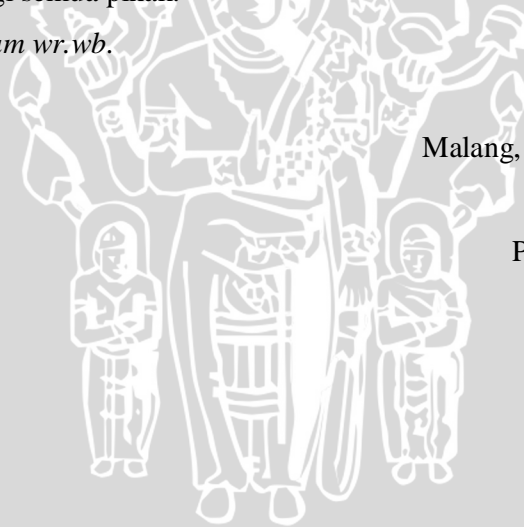
9. Kedua orang tua dan keluarga besar yang telah memberikan doa, nasehat dan dukungan selama penelitian dan penyusunan skripsi.
10. Teman seperjuangan dalam penelitian, Yudistyan, Feri Putra P.T., Firman Alisan yang sangat membantu atas kerja keras dan semangat yang tinggi.
11. Teman-teman asisten dan laboran selama penulis berada di Laboratorium Motor Bakar atas kerjasamanya selama ini dan juga teman-teman di Laboratorium Mesin-Mesin Fluida dan Laboratorium Komputer yang telah membantu penelitian.
12. Rekan-rekan Mesin 2005 yang telah saling membantu selama ini.
13. Semua pihak yang telah banyak membantu penulis selama ini, yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa ilmu yang dimiliki masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak.

*Wassalamualaikum wr.wb.*

Malang, Agustus 2010

Penulis



**DAFTAR ISI**

	Halaman
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	viii
<b>DAFTAR SIMBOL</b> .....	ix
<b>RINGKASAN</b> .....	x
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Penelitian Sebelumnya .....	4
2.2 Turbin Air .....	4
2.2.1 Klasifikasi Turbin Air Berdasarkan Penurunan Tekanan.....	5
2.2.2 Klasifikasi Turbin Air Berdasarkan Model Aliran Air .....	5
2.2.3 Klasifikasi Turbin Air Berdasarkan Kecepatan Spesifik .....	7
2.3 Turbin Banki .....	8
2.3.1 Bagian-Bagian Utama Turbin Banki.....	10
2.3.2 Lorong Pengarah ( <i>Guide Tube</i> ) .....	11
2.4 Unjuk Kerja Turbin Air .....	12
2.4.1 Torsi (T) .....	12
2.4.2 Daya Poros ( <i>Brake Horse Power</i> ) .....	12
2.4.3 Efisiensi Turbin Air ( $\eta_T$ ) .....	13
2.5 Teori dan Persamaan yang Mendukung Percobaan .....	14
2.5.1 Segitiga Kecepatan.....	14

2.5.2 Persamaan Torsi Turbin Ditinjau dari Segitiga Kecepatan ....	15
2.5.3 Persamaan <i>Bernoulli</i> Fluida Ideal .....	15
2.5.3 Persamaan Kontinuitas .....	16
2.6 Hipotesis .....	17

**BAB III METODE PENELITIAN**

3.1 Metode Penelitian .....	18
3.2 Variabel Penelitian.....	18
3.3 Alat-Alat Penelitian.....	19
3.4 Tempat dan Waktu Pelaksanaan Penelitian.....	21
3.5 Pelaksanaan Penelitian .....	22
3.5.1 Penyusunan Alat Penelitian .....	22
3.5.2 Prosedur Penelitian.....	22
3.6 Analisis Statistik.....	22
3.7 Diagram Alir Penelitian.....	27

**BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

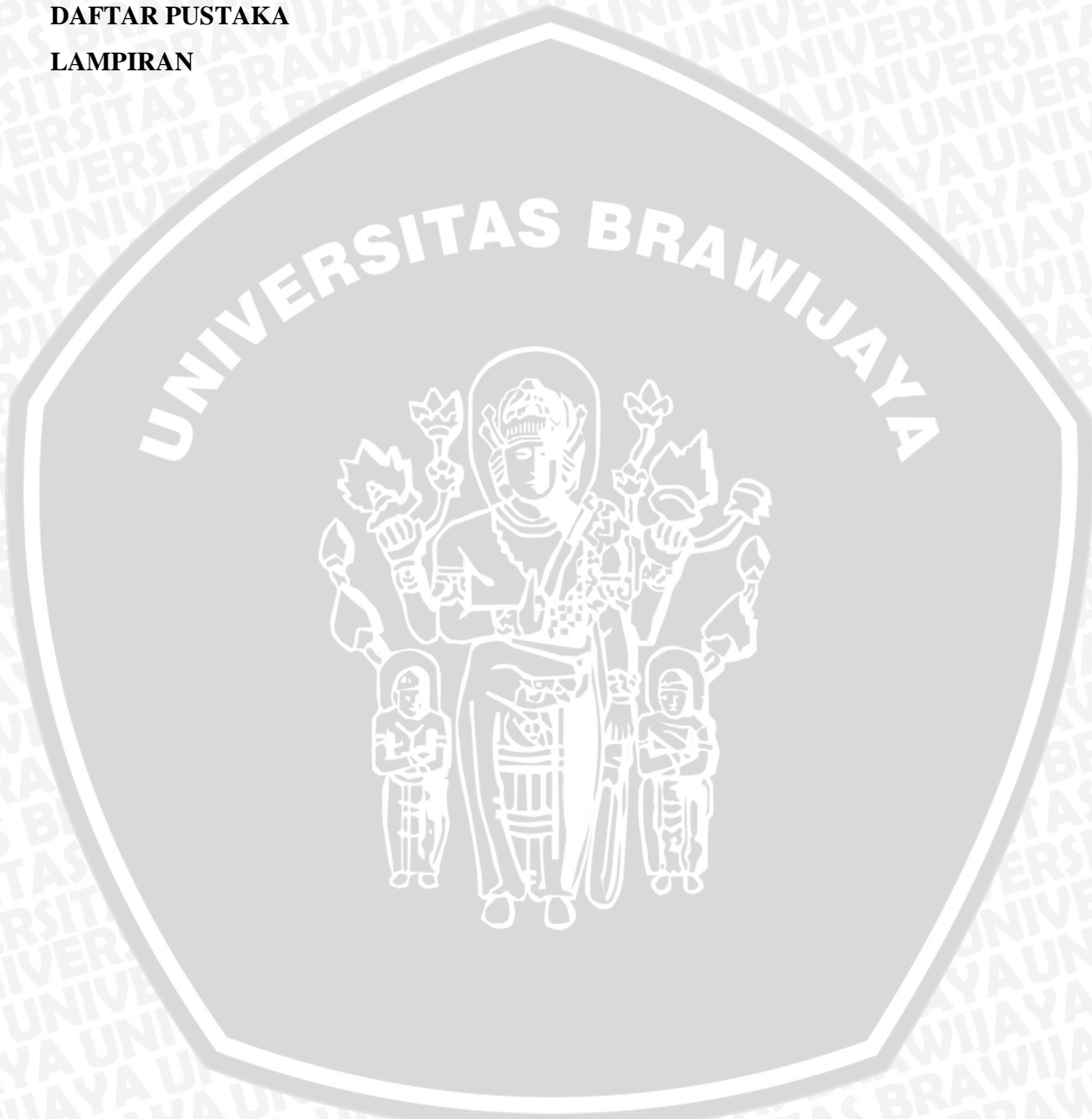
4.1 Analisis Data.....	28
4.1.1 Data Hasil Pengujian.....	28
4.1.2 Perhitungan Data.....	28
4.1.3 Analisis Statistik .....	30
4.1.3.1 Contoh Perhitungan Analisis Statistik.....	31
4.1.3.2 Analisis Statistik untuk Torsi yang Dihasilkan.....	33
4.1.3.3 Analisis Statistik untuk Daya Poros yang Dihasilkan	34
4.1.3.4 Analisis Statistik untuk Efisiensi yang Dihasilkan ....	34
4.2 Pembahasan .....	35
4.2.1 Pengaruh Variasi Debit Air Terhadap Torsi Turbin Banki.....	35
4.2.2 Pengaruh Variasi Debit Air Terhadap Daya Poros Turbin Banki.....	37
4.2.3 Pengaruh Variasi Debit Air Terhadap Efisiensi Turbin Banki.....	38

**BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Kesimpulan ..... 41  
5.2 Saran..... 41

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**





## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Turbin Aliran Tangensial	6
Gambar 2.2	Turbin Aliran Aksial	6
Gambar 2.3	Turbin Aliran Gabungan	6
Gambar 2.4	Perbandingan Karakteristik Turbin Berdasarkan Kecepatan Spesifik	7
Gambar 2.5	Turbin Banki	8
Gambar 2.6	Efisiensi Turbin Banki dengan Debit sebagai Variabel Bebas	9
Gambar 2.7	<i>Runner</i>	11
Gambar 2.8	Skema Segitiga Kecepatan	14
Gambar 3.1	Variasi Sudut <i>Guide Tube</i> Dalam <i>Runner</i> Turbin Banki	19
Gambar 3.2	Instalasi Penelitian	21
Gambar 3.3	Diagram Alir Penelitian	27
Gambar 4.1	Hubungan Antara Debit Air dengan Torsi Turbin Banki	36
Gambar 4.2	Hubungan Antara Debit Air dengan Daya Poros Turbin Banki	37
Gambar 4.3	Hubungan Antara Debit Air dengan Efisiensi Turbin Banki	39

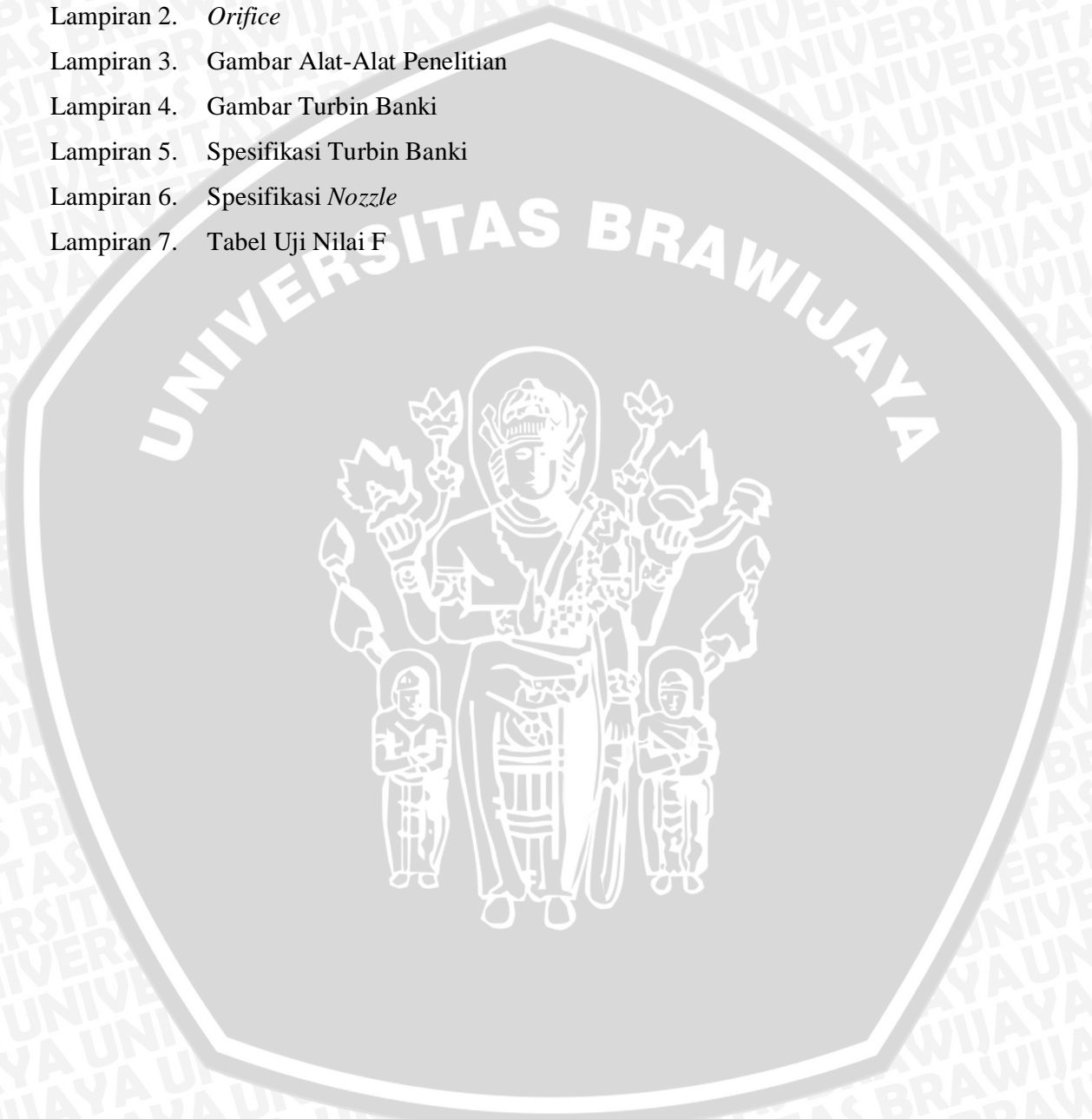
## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 3.1	Rancangan Pengamatan Model Dua Arah dengan Pengulangan	24
Tabel 3.2	Analisis Varian	26
Tabel 4.1	Data Hasil Pengujian Turbin Banki dengan Sudut <i>Guide Tube</i> 60°	28
Tabel 4.2	Data Hasil Pengujian Turbin Banki dengan Sudut <i>Guide Tube</i> 70°	28
Tabel 4.3	Data Hasil Pengujian Turbin Banki dengan Sudut <i>Guide Tube</i> 80°	28
Tabel 4.4	Data Pengujian Hipotesis Pengaruh Variasi Debit Air dan Sudut <i>Guide Tube</i> Terhadap Torsi Turbin Banki	31
Tabel 4.5	Analisis Varian Dua Arah untuk Torsi yang Dihasilkan	33
Tabel 4.6	Analisis Varian Dua Arah untuk Daya Poros yang Dihasilkan	34
Tabel 4.7	Analisis Varian Dua Arah untuk Efisiensi yang Dihasilkan	35



## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1.	Data Pengulangan
Lampiran 2.	<i>Orifice</i>
Lampiran 3.	Gambar Alat-Alat Penelitian
Lampiran 4.	Gambar Turbin Banki
Lampiran 5.	Spesifikasi Turbin Banki
Lampiran 6.	Spesifikasi <i>Nozzle</i>
Lampiran 7.	Tabel Uji Nilai F



## DAFTAR SIMBOL

Besaran Dasar	Satuan dan Singkatan	Simbol
Kecepatan spesifik	-	$N_s$
Putaran turbin	rpm atau <i>rotation per minute</i>	$n$
<i>Head</i> total fluida	m atau meter	$H$
Debit air	l/s atau liter/ <i>second</i>	$Q$
Torsi	Nm atau Newton meter	$T$
Beban pengereman	N atau Newton	$F$
Panjang lengan <i>dynamometer</i>	m atau meter	$L$
Kecepatan angular poros	rad/s atau radian per <i>second</i>	$\omega$
Daya poros	W atau Watt	$BHP$
Efisiensi turbin	% atau persen	$\eta_T$
Daya air	W atau Watt	$WHP$
Massa jenis	kg/m <sup>3</sup> atau kilogram per meter kubik	$\rho$
Percepatan gravitasi	m/s <sup>2</sup> atau meter per <i>second</i> kuadrat	$g$
Kecepatan absolut fluida	m/s atau meter per <i>second</i>	$\bar{c}$
Kecepatan tangensial	m/s atau meter per <i>second</i>	$\bar{u}$
Kecepatan relatif	m/s atau meter per <i>second</i>	$\bar{w}$
Laju massa alir fluida	kg/s atau kilogram per <i>second</i>	$\dot{m}$
Sudut antara $\bar{u}$ dan $\bar{c}$	° atau derajat	$\alpha$
Jari-jari sisi masuk sudu	m atau meter	$r_1$
Jari-jari sisi keluar sudu	m atau meter	$r_2$
Energi total	Nm atau Newton meter	$W$
Massa fluida	kg atau kilogram	$m$
<i>Head</i> elevasi fluida	m atau meter	$z$
Tekanan statis fluida	N/m <sup>2</sup> atau Newton per meter persegi	$P$
Luas penampang saluran	m <sup>2</sup> atau meter kuadrat	$A$
Perbedaan ketinggian fluida sebelum dan setelah <i>orifice</i>	mmHg atau milimeter air raksa	$\Delta P$

## RINGKASAN

**Ahmad M. Baladraf**, Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Agustus 2010, *Pengaruh Variasi Sudut Guide Tube Terhadap Unjuk Kerja Turbin Banki*, Dosen Pembimbing: Ir. Djoko Sutikno, M.Eng dan Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.

Turbin air merupakan suatu mesin konversi energi yang berfungsi untuk mengkonversikan / mengubah bentuk energi potensial (*head*) yang dimiliki air menjadi bentuk energi mekanik pada poros turbin air. Salah satu jenis turbin air yang banyak dipakai pada pembangkit listrik tenaga air yaitu turbin air Banki. Walaupun demikian, turbin Banki masih memiliki kelemahan. Yaitu *jet entry angle* ( $\alpha_1$ ) yang berbeda antara satu sudu dengan yang lainnya, dikarenakan pancaran air (*jet entry arc*) langsung menumbuk lebih dari satu sudu. Selain itu aliran air yang keluar dari tingkat pertama menuju tingkat kedua akan saling bertumbukan sehingga akan menurunkan efisiensi turbin. Untuk itu, pada penelitian ini digunakan dua *nozzle* (tiap *nozzle* menumbuk satu sudu) untuk memperoleh *jet entry angle* ( $\alpha_1$ ) yang sama tiap sudu dan menggunakan *guide tube* untuk mengarahkan aliran air yang keluar dari tingkat pertama menuju tingkat kedua. Tujuan utama dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh variasi sudut *guide tube* terhadap unjuk kerja turbin Banki.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian eksperimental nyata. Penelitian ini digunakan untuk menguji pengaruh variasi sudut *guide tube* terhadap unjuk kerja turbin Banki. Sudut *guide tube* yang digunakan adalah  $60^\circ$ ,  $70^\circ$  dan  $80^\circ$ . Sedangkan parameter yang digunakan untuk mengetahui kinerja turbin adalah Torsi (T), Daya Poros (BHP) dan Efisiensi Turbin ( $\eta_T$ )

Dari hasil penelitian didapatkan bahwa torsi, daya poros, serta efisiensi turbin Banki yang paling tinggi terjadi pada sudut *guide tube*  $60^\circ$ . Hal ini disebabkan energi air yang masuk sudu *runner* di tingkat kedua lebih banyak termanfaatkan. Ini dikarenakan air menumbuk tepat di bagian depan sudu, sehingga laju massa alir air yang menumbuk sudu *runner* pada tingkat kedua akan semakin banyak yang termanfaatkan, akibatnya torsi yang dibangkitkan juga akan semakin besar dan daya poros yang dihasilkan juga semakin tinggi. Daya poros yang tinggi akan menyebabkan nilai efisiensi juga tinggi. Torsi tertinggi didapatkan pada debit air 10 liter/s dengan sudut *guide tube*  $60^\circ$  yaitu 8,129 N.m. Daya poros tertinggi yaitu 68,128 Watt didapatkan pada debit air 10 liter/s dengan sudut *guide tube*  $60^\circ$ . Efisiensi tertinggi yaitu 31,69 % didapatkan pada debit air 9 liter/s dengan sudut *guide tube*  $60^\circ$ .

**Kata kunci** : turbin Banki, *guide tube*, unjuk kerja.

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi merupakan suatu kebutuhan utama dalam kehidupan manusia. Semakin maju suatu negara, semakin besar energi yang dibutuhkan. Bila ditinjau dari sumber pengadaan energi dunia saat ini, migas merupakan sumber utama. Migas yang terdapat di bumi sangat terbatas dan pada suatu saat akan habis, oleh karena itu berbagai penelitian dilakukan oleh para peneliti untuk menemukan sumber energi diluar migas sebagai sumber energi alternatif yang dapat dimanfaatkan.

Negara Indonesia yang terletak di garis katulistiwa, mempunyai daratan yang ditumbuhi hutan belantara yang luas beserta pegunungan yang didalamnya banyak sungai-sungai mengalirkan air dari hulu ke hilir sampai kelautan lepas. Keberadaan wilayah Indonesia dengan sumber daya alam yang dimilikinya memiliki potensi yang sangat besar untuk dikembangkan menjadi sumber energi alternatif yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi. Salah satu sumber energi alternatif yang dapat dikembangkan adalah pembangkit listrik tenaga air. Pembangkit listrik tenaga air dapat beroperasi dengan optimal, apabila memiliki turbin air yang memiliki efisiensi tinggi.

Turbin air merupakan suatu mesin konversi energi yang berfungsi untuk mengkonversikan / mengubah bentuk energi potensial (*head*) yang dimiliki air menjadi bentuk energi mekanik pada poros turbin air. Salah satu jenis turbin air yang banyak dipakai pada pembangkit listrik tenaga air yaitu turbin air Banki. Turbin Banki merupakan jenis turbin tenaga air yang mudah untuk dibuat, dikarenakan ruang kerjanya yang berada pada tekanan atmosfer dan sistem kerja sederhana yang memanfaatkan impuls.

Walaupun demikian, turbin Banki masih memiliki kelemahan. Yaitu *jet entry angle* ( $\alpha_1$ ) yang berbeda antara satu sudu dengan yang lainnya, dikarenakan pancaran air (*jet entry arc*) langsung menumbuk lebih dari satu sudu. Selain itu aliran air yang keluar dari tingkat pertama menuju tingkat kedua akan saling bertumbukan sehingga akan menurunkan efisiensi turbin.

Hayati Olgun (2000) telah melakukan penelitian tentang penggunaan *guide tube* pada turbin Banki untuk mengurangi *losses* yang terjadi. Kesimpulan yang didapat yaitu

diperlukannya pengembangan *guide tube* lebih lanjut untuk meningkatkan efisiensi turbin Banki.

Berdasarkan keadaan di atas, maka peneliti akan melakukan penelitian dengan menggunakan dua *nozzle* (tiap *nozzle* menumbuk satu sudu) untuk memperoleh *jet entry angle* ( $\alpha_1$ ) yang sama tiap sudu dan menggunakan *guide tube* untuk mengarahkan aliran air yang keluar dari tingkat pertama menuju tingkat kedua. Selain itu akan dicari pula sudut *guide tube* yang paling optimal sehingga diharapkan unjuk kerja turbin Banki akan meningkat.

### 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut: Bagaimana pengaruh variasi sudut *guide tube* terhadap unjuk kerja turbin Banki?

### 1.3 Batasan Masalah

Untuk mendapatkan solusi dari rumusan masalah diatas dan untuk menghindari meluasnya pembahasan terhadap permasalahan yang ada, maka diberikan batasan terhadap masalah yang akan diteliti. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Kondisi aliran fluida diasumsikan *steady state*.
2. Menggunakan dua buah *nozzle* yang identik dan dipasang pada sisi masuk *runner* dengan arah aliran dari luar menuju dalam.
3. *Jet entry angle* ( $\alpha_1$ ) yang digunakan adalah  $15^0$ .
4. Putaran turbin yang digunakan yaitu 80 rpm.
5. *Runner* yang digunakan memiliki spesifikasi: diameter luar 35 cm; diameter dalam 24 cm; jumlah sudu 20 buah; jarak antar sudu pada sisi masuk 4,87 cm dan pada sisi keluar 3,34 cm.
6. Kecepatan spesifik ( $N_s$ ) turbin Banki yaitu 8,0.
7. Sudu dan cakram *runner* yang digunakan terbuat dari baja dan bersifat kaku.
8. Parameter yang digunakan untuk mengetahui kinerja turbin adalah torsi (T), daya poros (BHP) dan efisiensi turbin ( $\eta_T$ ).
9. Debit air divariasikan dari 6 liter/s hingga 10 liter/s dengan kenaikan masing-masing 1 liter/s.
10. Variasi sudut *guide tube* yang digunakan adalah  $60^0$ ;  $70^0$ ;  $80^0$ .

#### 1.4 Tujuan

Tujuan penelitian ini ialah untuk mengetahui pengaruh variasi sudut *guide tube* terhadap unjuk kerja turbin Banki.

#### 1.5 Manfaat

Dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat, antara lain :

1. Mengetahui sudut *guide tube* yang optimal sehingga dapat meningkatkan unjuk kerja turbin Banki.
2. Menambah ilmu pengetahuan dan wawasan bagi penulis dan pembaca serta sebagai dasar penelitian selanjutnya.
3. Memberikan sumbangsih pemikiran terhadap usaha-usaha penghematan energi dari sumber energi yang terbarukan.





## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Hayati Olgun (2000) melakukan penelitian tentang penggunaan *guide tube* dalam turbin Banki. Bentuk *guide tube* disesuaikan dengan aliran air dalam *runner*. Kesimpulan yang didapat menunjukkan bahwa *guide tube* yang digunakan dalam penelitian ini menyebabkan penurunan efisiensi turbin sebesar 5%. Dari penelitian ini juga disarankan untuk dilakukannya penelitian lain dengan menggunakan *guide tube* yang berbeda dan jumlah sudu turbin yang tidak sama.

Barglazan (2005) melakukan penelitian yang dikonsentrasikan pada bagian utama turbin Banki, khususnya sudut sisi masuk pada *runner* dan bentuk *nozzle*. *Nozzle* yang digunakan berupa sebuah pipa konvergen dengan potongan melintang penampangnya yang berbentuk persegi panjang. Pada penelitian ini juga dikembangkan sebuah perangkat lunak untuk merancang turbin Banki, dimana beberapa parameter harus dimasukkan terlebih dahulu dan nantinya akan disediakan beberapa opsi yang bisa dipilih. Hasil dari penelitian ini menunjukkan penambahan efisiensi yang tidak terlalu signifikan.

Yong-Do Choi dkk (2008) melakukan penelitian tentang turbin Banki dengan proses simulasi komputasi dinamika fluida (CFD). Penelitian ini difokuskan pada pengaruh bentuk *nozzle*, sudut sudu dan jumlah sudu turbin. Tujuan dari studi ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari konfigurasi struktur turbin terhadap unjuk kerja dan karakteristik aliran di dalam sebuah model turbin Banki dengan memanfaatkan analisis CFD. Hasil yang didapatkan bahwa bentuk *nozzle*, sudut sudu turbin dan jumlah sudu turbin sangat berhubungan dengan unjuk kerja dan karakteristik aliran di dalam turbin.

### 2.2 Turbin Air

Turbin air adalah suatu mesin konversi energi yang berfungsi untuk mengkonversikan bentuk energi potensial (*head*) yang dimiliki air ke bentuk energi mekanik pada poros turbin air. Pada saat beroperasi, energi potensial air (*head*) yang dikonversikan menjadi energi mekanik dapat diketahui dari perbedaan tekanan antara sisi masuk dan sisi keluar turbin.

### 2.2.1 Klasifikasi Turbin Air Berdasarkan Penurunan Tekanan

Berdasarkan prinsip perubahan bentuk energi yang terjadi pada turbin air, maka dapat dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin impuls dan turbin reaksi.

#### 1. Turbin impuls

Merupakan turbin air dimana perubahan tekanan (*pressure*) di *runner* adalah sama dengan nol. Sehingga turbin impuls disebut juga turbin tekanan konstan, dimana tekanan masuk *runner* sama dengan tekanan keluar *runner*. Proses ekspansi fluida kerja turbin impuls hanya terjadi pada sudu tetapnya saja, yang juga berfungsi sebagai *nozzle*. Pada turbin ini, seluruh energi fluida diubah menjadi energi kinetik oleh *nozzle* dan kemudian oleh *runner* diubah menjadi energi mekanik untuk menggerakkan poros. Contoh turbin impuls yaitu turbin Banki, turbin Pelton dan *Water Wheel* atau kincir air.

#### 2. Turbin reaksi

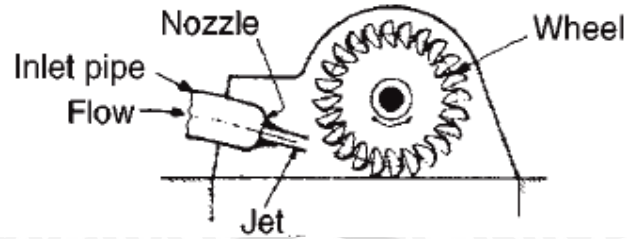
Turbin reaksi adalah turbin dimana ekspansi dari fluida kerjanya terjadi pada sudu tetap dan sudu gerak. Pada sudu tetap, sebagian energi tekanan akan dirubah menjadi energi kinetik. Pada *runner* juga terjadi perubahan tekanan. Sebagian energi tekanan dirubah menjadi energi kinetik karena terjadi pengecilan luas penampang di *runner*. Tekanan air pada saat memasuki *runner* lebih besar daripada tekanan sewaktu keluar *runner*. *Runner* akan memutar poros. Yang termasuk dalam turbin reaksi yaitu turbin Francis, turbin Propeler (aksial) dan turbin Kaplan.

### 2.2.2 Klasifikasi Turbin Air Berdasarkan Model Aliran Air Masuk *Runner*

Berdasarkan model aliran air masuk *runner*, maka turbin air dapat dibagi menjadi tiga tipe yaitu:

#### 1. Turbin aliran tangensial

Pada kelompok ini posisi air masuk *runner* dengan arah tangensial atau tegak lurus dengan poros *runner* sehingga mengakibatkan *runner* berputar. Contoh dari kelompok ini yaitu turbin Pelton, seperti ditunjukkan pada gambar 2.1, dan turbin Banki.

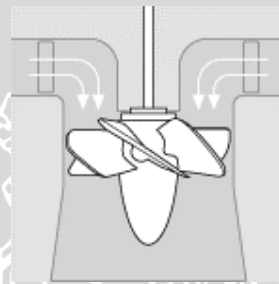


Gambar 2.1 Turbin aliran tangensial.

Sumber: Round (1998:2).

## 2. Turbin aliran aksial

Pada turbin ini air masuk *runner* dan keluar *runner* sejajar dengan arah sumbu poros, seperti ditunjukkan pada gambar 2.2. Turbin Kaplan atau *Propeller* adalah salah satu contoh dari turbin aliran aksial .

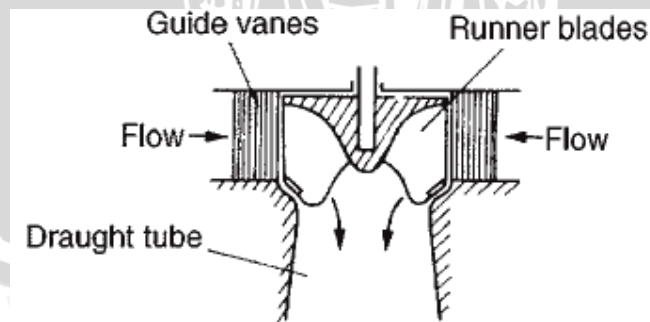


Gambar 2.2 Turbin aliran aksial.

Sumber: <http://www.eon-wasserkraft.com>.

## 3. Turbin aliran gabungan

Pada turbin ini air masuk ke dalam *runner* secara radial dan keluar *runner* secara aksial, sejajar dengan poros. Turbin Francis termasuk dari jenis turbin ini, seperti ditunjukkan pada gambar 2.3 dibawah.



Gambar 2.3 Turbin aliran gabungan.

Sumber: Round (1998:2).

### 2.2.3 Klasifikasi Turbin Air Berdasarkan Kecepatan Spesifik

Kecepatan spesifik ( $N_s$ ) sering dijadikan acuan untuk menentukan jenis turbin yang akan dipakai di suatu area. Kecepatan spesifik ( $N_s$ ) merupakan jumlah putaran roda turbin yang bekerja pada *head* 1m dan debit air 1 m<sup>3</sup>/detik. Suatu turbin yang bekerja pada *head* yang berbeda, debit air yang berbeda dan putaran turbin yang telah ditentukan, apabila memiliki harga kecepatan spesifik ( $N_s$ ) sama maka turbin tersebut secara geometri (bentuk) adalah mirip/serupa. Walaupun besar ukuran-ukuran pokoknya (diameter roda turbin dan lebar roda) berbeda, akan tetapi bentuk sudu, sudut sudu pengarah dan sudut sudu-sudu jalan, perbandingan diameter dan lebar roda turbin adalah sama. Kecepatan spesifik ( $N_s$ ) merupakan parameter yang tidak berdimensi dan secara rumus dapat ditulis sebagai berikut:

$$N_s = n \cdot \frac{\sqrt{BHP}}{H^{5/4}} \quad (\text{Dietzel, 1996:20}) \quad (2-1)$$

dengan:

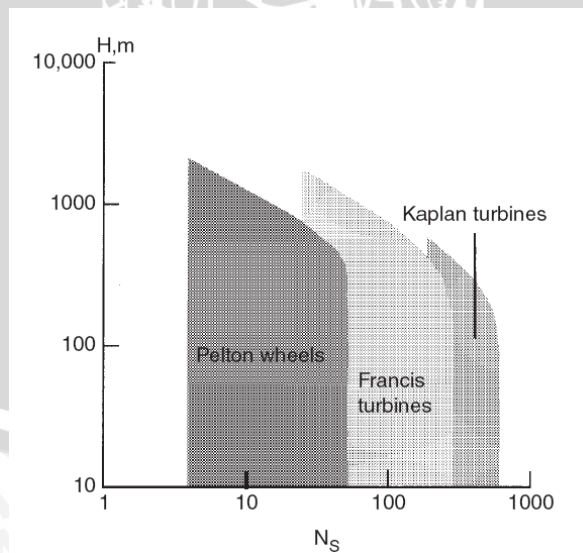
$N_s$  = kecepatan spesifik

$n$  = putaran turbin yang diinginkan (rpm)

$BHP$  = daya poros (KW)

$H$  = *head* yang tersedia (m)

Berdasarkan kecepatan spesifik yang dimiliki, maka turbin air dapat dibagi menjadi beberapa kelompok seperti ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Perbandingan karakteristik turbin berdasarkan kecepatan spesifik.

Sumber : Round (2004:56).

1. Kecepatan spesifik pada  $0 < N_s < 45$

Biasanya mempunyai ciri-ciri *head* yang tinggi dan debit yang rendah. Turbin yang cocok digunakan biasanya merupakan turbin Pelton dan turbin Banki.

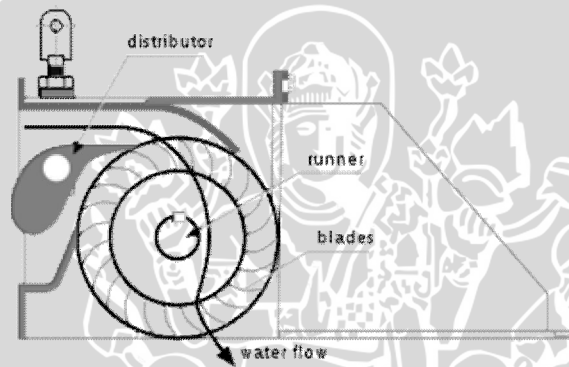
2. Kecepatan spesifik pada  $75 < N_s < 380$

Biasanya mempunyai ciri-ciri *head* menengah dan debit yang tinggi sampai menengah. Turbin yang cocok digunakan adalah turbin Francis.

3. Kecepatan spesifik pada  $N_s > 380$

Biasanya mempunyai ciri-ciri *head* rendah dan debit menengah sampai tinggi. Turbin yang cocok digunakan biasanya mempunyai aliran aksial seperti turbin Kaplan.

### 2.3 Turbin Banki



Gambar 2.5 Turbin Banki.

Sumber : [http://en.wikipedia.org/wiki/Cross-flow\\_turbine](http://en.wikipedia.org/wiki/Cross-flow_turbine).

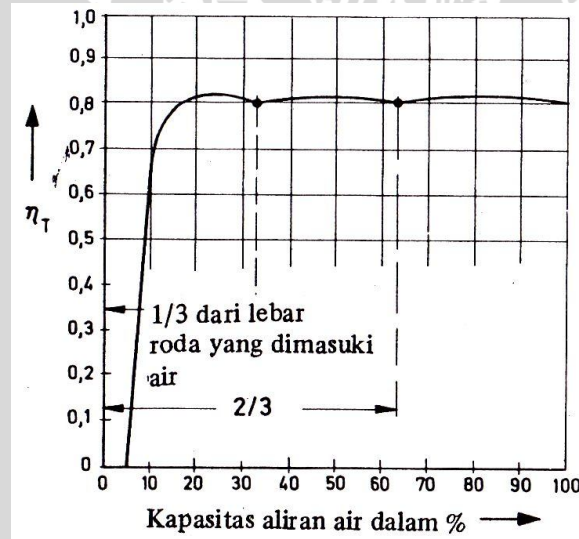
Turbin Banki, seperti ditunjukkan pada gambar 2.5 diatas, adalah salah satu turbin air dari jenis turbin aksi (turbin impuls) yang dapat beroperasi pada *head* rendah. Prinsip kerja turbin ini mula-mula ditemukan oleh seorang insinyur Australia yang bernama A.G.M. Michell pada tahun 1903. Kemudian turbin ini dikembangkan dan dipatenkan di Jerman Barat oleh Prof. Donat Banki sehingga turbin ini diberi nama turbin Banki, kadang disebut juga turbin Michell-Banki. Turbin ini juga dikenal dengan nama turbin Ossberger dan turbin *Cross-flow*.

Pemakaian jenis turbin Banki lebih menguntungkan dibanding dengan penggunaan kincir air maupun jenis turbin mikrohidro lainnya. Penggunaan turbin ini untuk daya yang sama dapat menghemat biaya pembuatan penggerak mula sampai 50% dari penggunaan kincir air dengan bahan yang sama. Penghematan ini dapat dicapai karena ukuran turbin Banki lebih kecil dan kompak dibanding kincir air. Diameter

kincir air yakni roda jalan atau *runner* biasanya 2 meter ke atas, tetapi diameter turbin Banki dapat dibuat hanya 20 cm saja sehingga bisa lebih murah. Demikian juga efisiensi rata-rata turbin ini lebih tinggi dari daya guna kincir air. Hasil pengujian laboratorium yang dilakukan pabrik turbin Ossberger Jerman Barat menyimpulkan bahwa daya guna kincir air dari jenis yang paling unggul sekalipun hanya mencapai 70%, sedangkan efisiensi turbin Banki mencapai 82% (Haimerl,1960).

Tingginya efisiensi turbin Banki ini akibat pemanfaatan energi air pada turbin dilakukan dua kali. Yang pertama air menumbuk sudu-sudu yang berada tepat di depan *nozzle* (tingkat pertama). Yang kedua pada saat air meninggalkan sudu-sudu tingkat pertama dan melewati ruang kosong yang berada di tengah-tengah roda jalan kemudian air tersebut menumbuk sudu-sudu *runner* pada sisi berikutnya (tingkat kedua). Aliran air yang menabrak sudu tingkat dua menghasilkan daya kurang lebih 20% dari daya yang dihasilkan sudu tingkat pertama (Dietzel,1996:36). Air jatuhan dari tingkat pertama masih mempunyai sebagian energi untuk dikonversi pada sudu tingkat kedua.

Adanya kerja air yang bertingkat ini ternyata memberikan keuntungan dalam hal efektivitasnya yang tinggi dan kesederhanaan pada sistem pengeluaran air dari *runner*. Gambar 2.6 di bawah ini akan lebih menjelaskan tentang efisiensi turbin Banki:



Gambar 2.6 Efisiensi turbin Banki dengan debit sebagai variabel bebas.

Sumber : Dietzel (1996:38).

Dari gambar 2.6 di atas, ditunjukkan hubungan antara efisiensi turbin Banki dengan pengurangan debit akibat pengaturan pembukaan katup yang dinyatakan dalam perbandingan debit yang masuk terhadap debit maksimumnya. Untuk turbin Banki dengan  $Q/Q_{\max} = 1$  menunjukkan efisiensi yang cukup tinggi sekitar 80%. Disamping

itu untuk perubahan debit sampai dengan  $Q/Q_{\max} = 0,2$  menunjukkan harga efisiensi yang relatif tetap.

Sampai saat ini, jenis turbin air yang umum dipakai ada dari jenis yang bukan merupakan turbin Banki (*non cross-flow*). Akhir-akhir ini perhatian dialihkan pada jenis turbin Banki, terutama untuk proyek hidro kecil di negara yang kurang berkembang. Oleh sebab itu potensi dari turbin arus lintang ini perlu dipelajari. The National Rural Cooperative melaporkan bahwa turbin jenis arus lintang sudah dipasang di beberapa pedesaan dan daerah terpencil di Pakistan, Nepal, Peru, Filipina, dan Thailand.

Ada beberapa keuntungan dari turbin Banki yaitu :

1. Murah dan mudah dalam pembuatannya, dikarenakan bagian-bagian dari turbin Banki yang sederhana dan sistem kerja sudu-sudunya dalam tekanan atmosfer.
2. Gampang dalam perawatannya, disebabkan kotoran dan partikel-partikel lain yang terbawa oleh air tidak akan mudah menyangkut di turbin air.
3. Kurva efisiensi turbin Banki (gambar 2.6) yang sangat baik sehingga cocok untuk dipakai pada debit yang bervariasi.

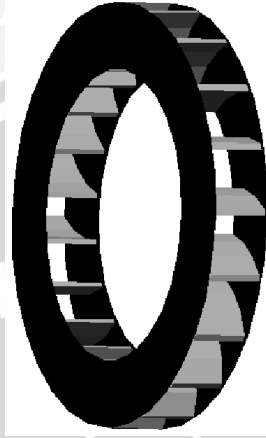
### 2.3.1 Bagian-Bagian Utama Turbin Banki

1. Pipa pancar (*nozzle*)

Pipa pancar (*nozzle*) merupakan alat yang dirancang untuk mengontrol arah atau karakteristik dari suatu fluida yang mengalir ketika masuk atau pun keluar dari ruang tertutup/pipa melalui sebuah lubang. Pada turbin air, air dialirkan ke *runner* melalui sebuah *nozzle* yang pada umumnya berpenampang segi empat. Sudu pengatur (*regulator*) yang dipasang di dalam *nozzle* akan mengatur debit aliran mulai dari maksimum sampai nol. Sudu pengatur bisa dipakai untuk menutup sepenuhnya aliran air dengan syarat *head* tidak lebih dari 50 meter. Untuk menutup aliran air pada *head* lebih dari 50 meter, maka dibutuhkan sebuah katup penutup. *Nozzle* mengubah energi aliran total menjadi energi kinetik. Selanjutnya *nozzle* ini mengarahkan air masuk ke dalam sudu dengan sudut pancar tertentu. Dari hasil pengujian pabrik Turbin *Ossberger* Jerman Barat, untuk mendapatkan efisiensi yang tertinggi direkomendasikan besar sudut air masuk sudu  $\alpha_1 = 15^\circ$ . Hal ini disebabkan energi kecepatan air masuk sudu *runner* lebih banyak dimanfaatkan, terbukti dari hasil perbandingan kecepatan air keluar *runner* dan masuk *runner* jauh lebih kecil dibanding dengan sudut air masuk sudu ( $\alpha_1$ ) lebih besar atau lebih kecil dari  $15^\circ$  (Haimerl,1960).

Dalam pengujian ini akan digunakan dua buah *nozzle* agar sudut pancaran air (*jet entry angle*) yang diterima tiap sudu sama. Selain itu beban yang diterima sudu *runner* akibat momentum air dapat berkurang.

## 2. *Runner*



Gambar 2.7 *Runner*.

Sumber: Dokumentasi Pribadi.

*Runner* berfungsi mengubah energi kinetik fluida menjadi energi mekanik pada poros. *Runner* turbin Banki, seperti ditunjukkan gambar 2.7, mempunyai dua bagian utama. Bagian yang pertama adalah sudu-sudu, dimana sudu-sudu ini memindahkan energi kinetik aliran air kepada *runner*. Sudu-sudu ini berbentuk kurva dan dipasang tetap pada bingkai *runner* yang sejajar dengan sumbu poros turbin. Pancaran air akan melalui sudu *runner* dua kali. Jumlah sudu di dalam *runner* bisa sampai tiga puluh buah, tergantung pada ukuran *runner* turbin. Bagian kedua dari *runner* adalah cakram (bingkai *runner*). Minimal harus ada dua buah cakram (*disc*) di dalam satu *runner*, di mana sudu-sudu akan dilas di sekeliling cakram dengan jarak yang sama satu sama lain.

### 2.3.2 Lorong Pengarah (*Guide Tube*)

Lorong pengarah atau biasa disebut *guide tube* merupakan suatu saluran yang digunakan untuk mengarahkan aliran air yang keluar dari sudu-sudu tingkat pertama menuju ke sudu-sudu tingkat kedua. Letaknya berada di dalam *runner*, tepatnya di antara sudu-sudu tingkat pertama dan sudu-sudu tingkat kedua. Diharapkan dengan penggunaan *guide tube* akan menghindari terjadinya aliran air yang saling bertumbukan setelah keluar dari sudu-sudu tingkat pertama, sehingga dapat meningkatkan kinerja dari turbin Banki.



## 2.4 Unjuk Kerja Turbin Air

Pengujian dari suatu turbin air adalah untuk mengetahui kinerja dari turbin air itu sendiri. Parameter-parameter yang akan dibahas untuk mengetahui kinerja turbin dalam penelitian ini meliputi :

1. Torsi (T).
2. Daya Poros (BHP).
3. Efisiensi Turbin Air ( $\eta$ ).

### 2.4.1 Torsi (T)

Torsi merupakan momen putar yang dihasilkan oleh poros mesin. Besarnya torsi suatu mesin dapat diukur dengan menggunakan alat yang disebut *dynamometer*, yang akan menunjukkan besarnya gaya atau beban pengereman pada poros sehingga harga torsi dapat dicari dari hubungan antara perkalian besarnya beban pengereman dengan panjang lengan yang menghubungkan timbangan dengan poros. Besarnya torsi dapat dirumuskan sebagai berikut :

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

dengan :

$T$  = torsi yang dihasilkan (Nm)

$F$  = besarnya beban pengereman (N)

$L$  = panjang lengan *dynamometer* (m)

### 2.4.2 Daya Poros (*Brake Horse Power*)

Daya poros (*brake horse power*) merupakan daya yang dihasilkan oleh turbin air untuk mengerakkan beban. Daya ini berasal dari daya air, yaitu suatu daya yang berasal dari air yang memiliki debit dan *head* yang menumbuk *runner*. Daya poros didapatkan dengan mengalikan torsi ( $T$ ) dengan kecepatan anguler poros ( $\omega$ ). Persamaannya adalah sebagai berikut :

$$BHP = T.\omega = \frac{T.2.\pi.n}{60} \quad (\text{Dietzel,1996:13}) \quad (2-3)$$

dengan :

$BHP$  = daya poros (Watt)

$T$  = torsi (N.m)

$\omega$  = kecepatan anguler poros (rad/detik)

$n$  = putaran poros (rpm)

### 2.4.3 Efisiensi Turbin Air ( $\eta_T$ )

Efisiensi turbin air merupakan perbandingan antara daya poros dengan daya air. Efisiensi merupakan suatu ukuran untuk mengetahui efisien atau tidaknya dalam mengkonversi energi dari energi air menjadi energi mekanik (poros). Besarnya efisiensi dapat dihitung dengan rumus :

$$\eta_T = \frac{BHP}{WHP} \cdot 100\% \quad (\text{Round,2004:20}) \quad (2-4)$$

dengan :

$\eta_T$  = efisiensi turbin air (%)

$BHP$  = daya poros (Watt)

$WHP$  = daya air (Watt)

Daya air (*water horse power*) didapat dari persamaan :

$$WHP = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H \quad (\text{Round,2004:20}) \quad (2-5)$$

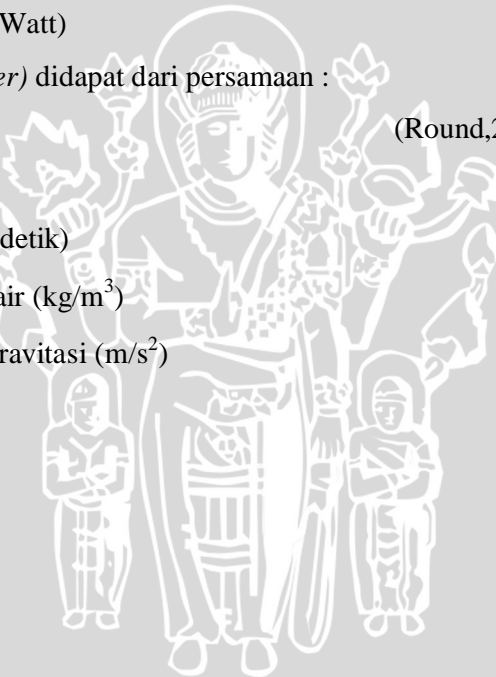
dengan :

$Q$  = debit air ( $\text{m}^3/\text{detik}$ )

$\rho$  = massa jenis air ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

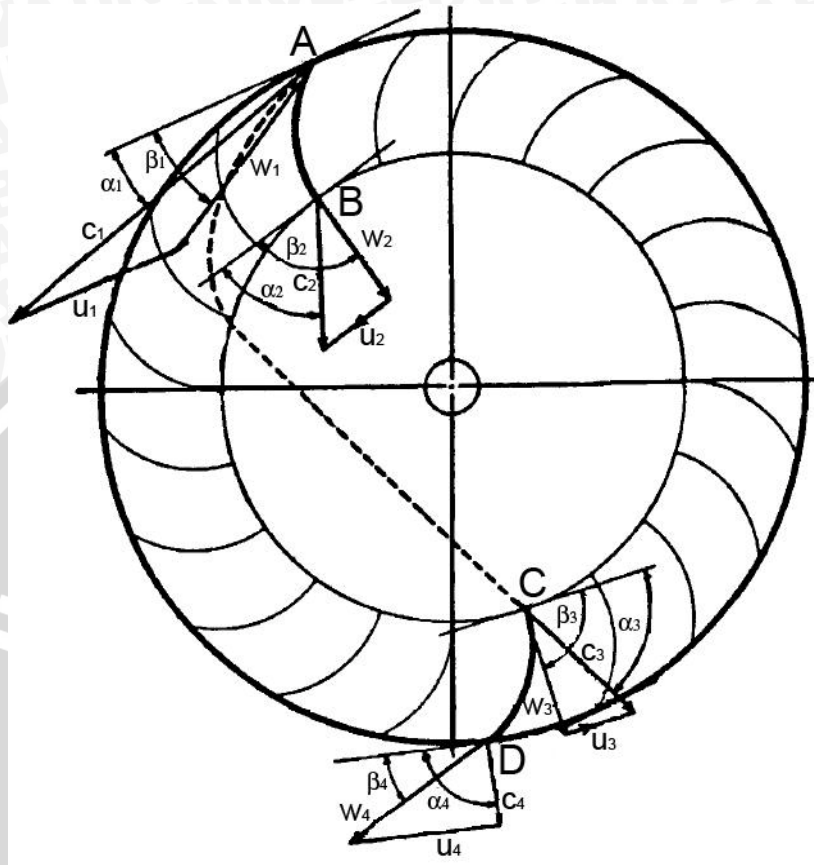
$g$  = percepatan gravitasi ( $\text{m}/\text{s}^2$ )

$H$  = *head* air (m)



2.5 Teori dan Persamaan yang Mendukung Percobaan

2.5.1 Segitiga Kecepatan



Gambar 2.8 Skema segitiga kecepatan.

Sumber: Mockmore (1949:6).

Pada mesin-mesin berputar biasanya menggunakan segitiga kecepatan untuk menghitung performa dasar dari sebuah tingkat turbin. Setiap fluida di tiap titik tinjau pada turbin mempunyai segitiga kecepatan. Dalam segitiga kecepatan ada tiga buah vektor kecepatan, seperti ditunjukkan pada gambar 2.8. Vektor kecepatan yang pertama adalah kecepatan tangensial, yaitu kecepatan keliling rotor ( $\bar{u}$ ). Kedua, ialah kecepatan aliran air atau kecepatan absolut ( $\bar{c}$ ), dan yang ketiga adalah kecepatan air relatif terhadap sudu atau yang disebut dengan kecepatan relatif ( $\bar{w}$ ). Secara rumus dapat ditulis sebagai berikut:

$$\bar{c} = \bar{u} + \bar{w} \quad \text{(Dietzel,1996:11)} \quad (2-6)$$

dengan :

$\bar{c}$  = kecepatan absolut fluida

$\bar{u}$  = kecepatan tangensial

$\bar{w}$  = kecepatan relatif

Pada umumnya tinjauan untuk segitiga kecepatan ada pada sisi masuk dan sisi keluar sudu. Pada sisi masuk, fluida keluar dari *nozzle* dengan kecepatan  $c_1$ . *Runner* akan berputar dengan kecepatan tangensial  $u_1$ . Relatif terhadap rotor, kecepatan fluida masuk runner sebesar  $w_1$ . Fluida setelah melewati sudu akan mempunyai kecepatan keluar relatif terhadap rotor  $w_2$  dan kecepatan tangensial  $u_2$ , sehingga kecepatan keluar absolut  $c_2$ .

### 2.5.2 Persamaan Torsi Turbin Ditinjau dari Segitiga Kecepatan

Setelah menentukan vektor-vektor segitiga kecepatan maka dapat dihitung besar gaya tangensial pada tiap tingkat turbin Banki. Secara rumus dapat ditulis:

$$F_1 = \dot{m} \cdot (c_1 \cdot \cos \alpha_1 - c_2 \cdot \cos \alpha_2) \quad (\text{Sutikno, 1997:9}) \quad (2-7)$$

$$F_2 = \dot{m} \cdot (c_3 \cdot \cos \alpha_3 - c_4 \cdot \cos \alpha_4) \quad (\text{Sutikno, 1997:9}) \quad (2-8)$$

dengan :

$F_1$  = gaya tangensial turbin tingkat pertama (N)

$F_2$  = gaya tangensial turbin tingkat kedua (N)

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

$\cos \alpha$  = *cosinus* sudut antara  $u$  dan  $c$

Sehingga torsi total dari sebuah turbin Banki dapat dihitung :

$$T = \dot{m} \cdot (r_1 \cdot (c_1 \cdot \cos \alpha_1 + c_3 \cdot \cos \alpha_3) - r_2 \cdot (c_2 \cdot \cos \alpha_2 - c_4 \cdot \cos \alpha_4)) \quad (\text{Dietzel, 1996:13}) \quad (2-9)$$

dengan :

$T$  = torsi total (Nm)

$r_1$  = jari-jari sisi masuk sudu (m)

$r_2$  = jari-jari sisi keluar sudu (m)

### 2.5.3 Persamaan Bernoulli Fluida Ideal

Persamaan *Bernoulli* menunjukkan kekekalan energi 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.

$$W = m \cdot g \cdot z + m \cdot \frac{P}{\rho} + m \cdot \frac{c^2}{2} = \text{konstan} \quad (\text{Dietzel, 1996:4}) \quad (2-10)$$

dengan:

$W$  = energi total (Nm)

$m$  = massa fluida (kg)

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

$z$  = ketinggian fluida (m)

$P$  = tekanan statis fluida ( $N/m^2$ )

$\rho$  = massa jenis fluida ( $kg/m^3$ )

$c$  = kecepatan absolut fluida (m/s)

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

$$w = g.z + \frac{P}{\rho} + \frac{c^2}{2} = \text{konstan} \quad (\text{Dietzel,1996:4}) \quad (2-11)$$

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

$$H = z + \frac{P}{\rho.g} + \frac{c^2}{2g} = \text{konstan} \quad (\text{Dietzel,1996:4}) \quad (2-12)$$

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.

#### 2.5.4 Persamaan Kontinuitas

Pada aliran fluida yang mengalir dengan laju aliran yang 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:

$$\dot{m} = \rho_1.A_1.c_1 = \rho_2.A_2.c_2 \quad (\text{White,2001:133}) \quad (2-13)$$

dengan:

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

$\rho$  = massa jenis ( $kg/m^3$ )

$A$  = luas penampang saluran ( $m^2$ )

$c$  = 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:

$$Q = A_1 \cdot c_1 = A_2 \cdot c_2 \quad (\text{White, 2001:133}) \quad (2-14)$$

## 2.6 Hipotesis

Dengan memvariasikan sudut *guide tube* maka aliran air yang keluar dari tingkat pertama dapat diarahkan menuju tingkat kedua dengan tepat sehingga energi air yang terkonversi menjadi energi mekanik semakin tinggi dan mengakibatkan unjuk kerja turbin air meningkat.



## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian eksperimental nyata (*true 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 sudut *guide tube* terhadap unjuk kerja turbin Banki. Disamping itu literatur berupa buku dan jurnal ilmiah yang berhubungan dengan permasalahan yang diteliti juga diperlukan sebagai bahan pendukung.

### 3.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini ada tiga macam, yaitu:

#### 1. Variabel bebas (*independent variable*)

Variabel bebas adalah variabel yang tidak dipengaruhi oleh variabel lain, biasanya ditentukan oleh peneliti dan nilainya diubah-ubah untuk mendapatkan hubungan variabel bebas dengan variabel terikat. Dalam penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah:

- Debit air (Q): 6 liter/s; 7 liter/s; 8 liter/s; 9 liter/s; 10 liter/s

#### 2. Variabel terikat (*dependent variable*)

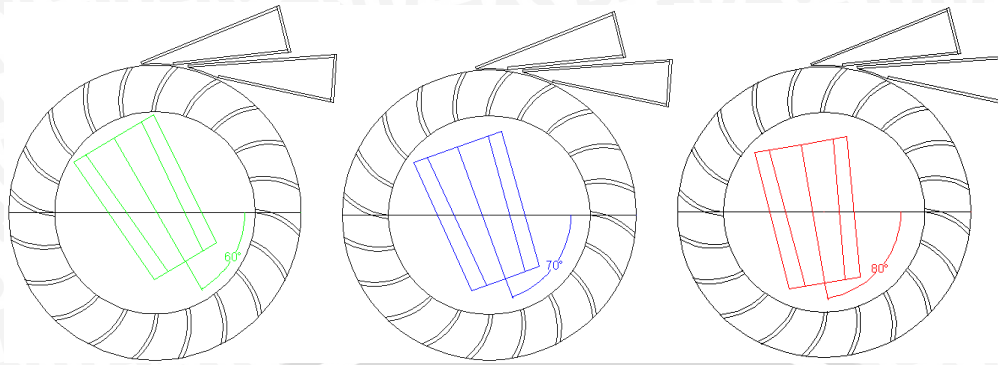
Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tergantung dari variabel bebas. Variabel ini dicari nilainya dalam penelitian. Dalam penelitian ini yang digunakan sebagai variabel terikat adalah:

- Torsi (Nm)
- Daya poros (Watt)
- Efisiensi turbin (%)

#### 3. Variabel terkontrol (*controlled variable*)

Variabel terkontrol adalah variabel yang ditentukan sendiri besarnya oleh peneliti, besarnya dijaga konstan. Variabel terkontrol dalam penelitian ini, seperti dijelaskan oleh gambar 3.1 dibawah, yaitu:

- Sudut *guide tube*:  $60^{\circ}$ ;  $70^{\circ}$ ;  $80^{\circ}$



Gambar 3.1 Variasi sudut *guide tube* dalam *runner* turbin Banki.

### 3.3 Alat-Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian antara lain:

#### 1. Pompa Sentrifugal

Pompa digunakan untuk mensuplai air menuju turbin dengan debit dan *head* tertentu. Spesifikasi pompa sentrifugal yang digunakan yaitu:

Ebara Pump P3002876

Head 10 m, Power 5 HP

Debit  $1,5 \text{ m}^3/\text{min}$ , rpm 1800

#### 2. Katup Pengatur Debit

Untuk mengatur besar debit yang dibutuhkan dalam pengambilan data diperlukan katup. Katup tersebut dapat diatur bukaannya dengan memutar tuas pada bagian atas.

#### 3. Nozzle

Pada turbin Banki ini terdapat dua buah *nozzle* yang di pasang di sekeliling *runner*. *Nozzle* yang digunakan terbuat dari akrilik.

#### 4. Pietzometer

Digunakan untuk mengukur *head* statis fluida dalam pipa. Satuan yang digunakan adalah  $\text{cmH}_2\text{O}$ .

#### 5. Runner

Pada *runner* terdiri dari 3 bagian, yaitu sudu yang terbuat dari akrilik, cakram tempat tersusunnya sudu terbuat dari plat baja dan poros turbin. Pada satu sisi dari *runner* terdapat akrilik sebagai penutup.



6. *Guide Tube*

*Guide tube* dipasang diantara sudu-sudu *runner* tingkat pertama dan tingkat kedua, ditunjukkan oleh gambar 3.1. Bahan yang digunakan adalah akrilik.

7. Rumah Turbin

Rumah turbin terbuat dari baja dengan bentuk melingkar. Fungsi dari rumah turbin adalah untuk melindungi *runner* dan mengarahkan pancaran air.

8. Manometer Air Raksa

Digunakan untuk mengukur perbedaan tekanan air antara sebelum dan sesudah melewati *orifice*. Dari perbedaan tekanan air ini nantinya dapat diketahui debit air yang masuk ke turbin.

9. *Orifice*

*Orifice* yang digunakan jenis *flange taps*. Memiliki spesifikasi :

Diameter luar : 4 cm

Diameter dalam : 2,8 cm

Tebal : 3 mm

$\beta$  : 0,7

10. Neraca Pegas

Gaya yang ditimbulkan dari putaran poros akan diukur dengan menggunakan neraca pegas. 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.

11. *Tachometer Digital*

Digunakan untuk mengukur kecepatan putaran poros turbin. Satuan yang digunakan adalah rpm. Spesifikasi *tachometer digital* yang digunakan adalah sebagai berikut:

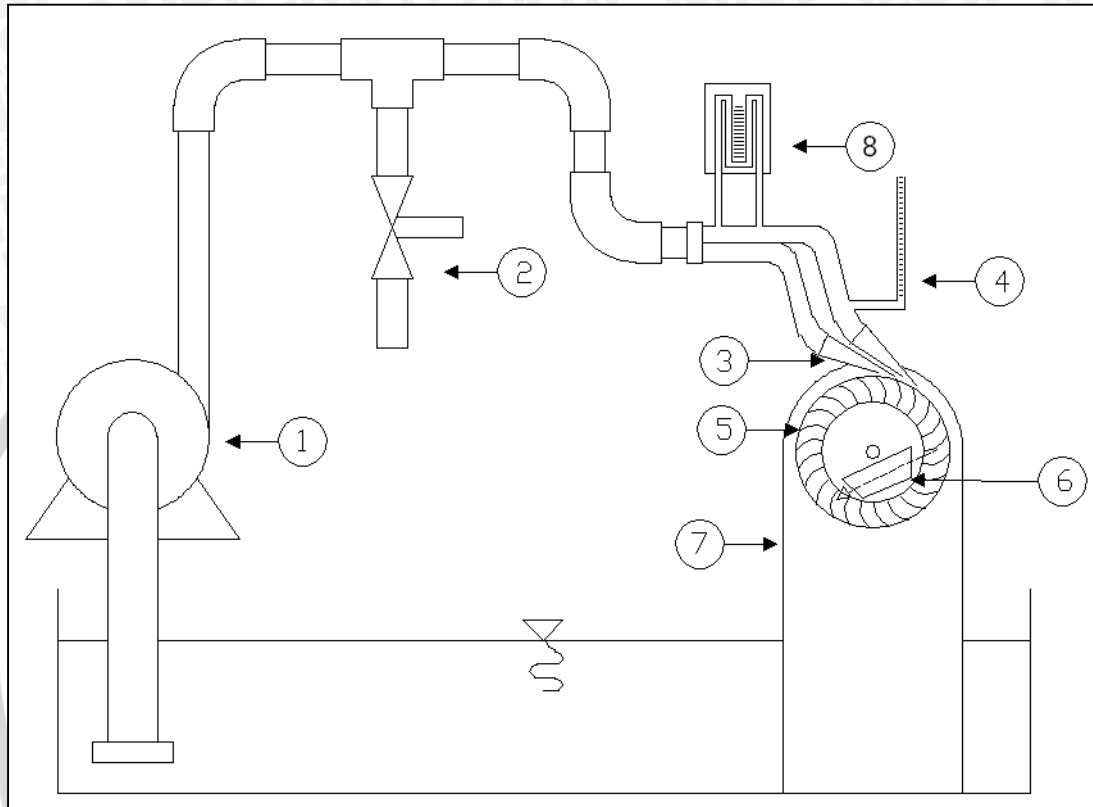
Ono-Sokki

Type HT-441

Power: 1,5 V x 3

### 3.4 Tempat dan Waktu Pelaksanaan Penelitian

Penelitian pengaruh variasi sudut *guide tube* terhadap unjuk kerja turbin Banki dilakukan pada bulan Mei sampai Juli 2010 di Laboratorium Mesin-Mesin Fluida, Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.



Keterangan gambar :

1. Pompa Sentrifugal
2. Katup Pengatur Debit
3. Nozzle
4. Pietzometer
5. Runner
6. Guide Tube
7. Rumah Turbin
8. Manometer Air Raksa

Gambar 3.2 Instalasi penelitian.

### 3.5 Pelaksanaan Penelitian

#### 3.5.1 Penyusunan Alat Penelitian

Sebelum penelitian dilaksanakan, dilakukan terlebih dahulu persiapan penyusunan alat-alat penelitian. Mempersiapkan instalasi seperti pada gambar 3.2 yang dirangkai menjadi satu kesatuan. Kemudian melakukan prosedur penelitian.

#### 3.5.2 Prosedur Penelitian

Dalam prosedur pengambilan data langkah-langkah yang harus dilakukan yaitu:

1. Mempersiapkan peralatan yang diperlukan dalam penelitian dan menyusun dalam instalasi seperti pada gambar instalasi (gambar 3.2).
2. Memasang *guide tube* pada posisi yang diinginkan.
3. Menyalakan pompa air.
4. Mengatur besar debit yang diinginkan dengan cara mengatur bukaan katup.
5. Mengatur putaran turbin yang diinginkan.
6. Mencatat perbedaan tekanan air pada kolom manometer air raksa.
7. Mencatat *head* statis air yang akan memasuki turbin dengan melihat pada kolom *piezometer*.
8. Mencatat besar massa dan gaya yang bekerja pada poros.
9. Memvariasikan debit air yang digunakan dan mengulangi langkah-langkah mulai nomer 5 sampai nomer 8.
10. Memvariasikan sudut *guide tube* dan mengulangi langkah-langkah mulai nomer 4 sampai nomer 9.
11. Setelah mengambil semua data yang diperlukan, mematikan pompa air.
12. Mengolah data penelitian yang didapat.

#### 3.6 Analisis Statistik

Untuk mengolah data yang telah diperoleh dan menguji hipotesis, dipergunakan analisis varian dua arah. Dengan analisis varian dua arah akan diketahui ada tidaknya pengaruh dari variasi debit air (faktor A) dan pengaruh variasi sudut *guide tube* (faktor B) serta pengaruh interaksi keduanya (faktor AB) terhadap torsi, daya poros dan efisiensi turbin Banki.

Debit air mempunyai level  $A_1, A_2, \dots, A_r$  dan sudut *guide tube* mempunyai level  $B_1, B_2, \dots, B_c$ . Jumlah pengamatan tiap sel adalah  $t$  kali dari rancangan dua kategori A dan B serta masing-masing kategori terdiri atas  $r$  dan  $c$  level. Pengaruh interaksi antara

variasi debit air pada level ke  $i$  dan pengaruh variasi sudut *guide tube* pada level ke  $j$  dinyatakan dengan  $(\alpha\beta)_{ij}$ . Maka nilai setiap pengamatan ditulis dengan model matematika sebagai berikut :

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (\text{Wahyudi,2006:96}) \quad (3-1)$$

dengan :

$Y_{ijk}$  = Nilai setiap pengamatan

$\mu$  = Nilai rata-rata dari seluruh pengamatan

$\alpha_i$  = Pengaruh debit air ke  $i$

$\beta_j$  = Pengaruh sudut *guide tube* ke  $j$

$(\alpha\beta)_{ij}$  = Pengaruh interaksi antara debit air ke  $i$  dan sudut *guide tube* ke  $j$

$\varepsilon_{ijk}$  = Simpangan pengamatan

Yang akan kita uji dari pengamatan ini adalah:

1.  $\alpha$  : pengaruh (efek) dari debit air
2.  $\beta$  : pengaruh (efek) dari sudut *guide tube*
3.  $\alpha\beta$  : pengaruh (efek) interaksi antara debit air dan sudut *guide tube*

Adapun hipotesis yang dipergunakan adalah sebagai berikut:

- I.  $H_0^1 : \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_i$  (tidak ada pengaruh variasi debit air terhadap torsi, daya poros dan efisiensi turbin Banki).

$H_1^1$ : paling sedikit satu  $\alpha_i \neq 0$  (ada pengaruh variasi debit air terhadap torsi, daya poros dan efisiensi turbin Banki).

- II.  $H_0^2 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_j$  (tidak ada pengaruh variasi sudut *guide tube* terhadap torsi, daya poros dan efisiensi turbin Banki).

$H_1^2$ : paling sedikit satu  $\beta_j \neq 0$  (ada pengaruh variasi sudut *guide tube* terhadap torsi, daya poros dan efisiensi turbin Banki).

- III.  $H_0^3 : (\alpha\beta)_{11} = (\alpha\beta)_{12} = \dots = (\alpha\beta)_{ij}$  (tidak ada pengaruh variasi debit air dan variasi sudut *guide tube* terhadap torsi, daya poros dan efisiensi turbin Banki).

$H_1^3$ : paling sedikit satu  $(\alpha\beta) \neq 0$  (ada pengaruh variasi debit air dan variasi sudut *guide tube* terhadap torsi, daya poros dan efisiensi turbin Banki).

Metode statistik yang digunakan adalah dengan analisa varian dua arah, dengan penggunaan dua variasi yaitu debit air dan sudut *guide tube*. Data yang diperoleh pada pengujian dituliskan seperti pada tabel 3.1 dibawah ini:

Tabel 3.1 Rancangan Pengamatan Model Dua Arah dengan Pengulangan.

Faktor	Variasi Sudut <i>Guide Tube</i>					Σ Baris	Rata-rata
	B <sub>1</sub>	...	B <sub>i</sub>	...	B <sub>C</sub>		
A <sub>1</sub>	X <sub>111</sub>		X <sub>1j1</sub>		X <sub>1c1</sub>	T <sub>1..</sub>	X̄ <sub>1..</sub>
	X <sub>112</sub>		X <sub>1j2</sub>		X <sub>1c2</sub>		
	...		...		...		
	X <sub>11t</sub>		X <sub>1jt</sub>		X <sub>1ct</sub>		
	X <sub>11.</sub>		X <sub>1j.</sub>		X <sub>1c.</sub>		
A <sub>i</sub>	X <sub>i11</sub>		X <sub>ij1</sub>		X <sub>ic1</sub>	T <sub>i..</sub>	X̄ <sub>i..</sub>
	X <sub>i12</sub>		X <sub>ij2</sub>		X <sub>ic2</sub>		
	...		...		...		
	X <sub>i1t</sub>		X <sub>ijt</sub>		X <sub>ict</sub>		
	X <sub>i1.</sub>		X <sub>ij.</sub>		X <sub>ic.</sub>		
A <sub>r</sub>	X <sub>r11</sub>		X <sub>rj1</sub>		X <sub>rc1</sub>	T <sub>r..</sub>	X̄ <sub>r..</sub>
	X <sub>r12</sub>		X <sub>rj2</sub>		X <sub>rc2</sub>		
	...		...		...		
	X <sub>r1t</sub>		X <sub>rjt</sub>		X <sub>rct</sub>		
	X <sub>r1.</sub>		X <sub>rj.</sub>		X <sub>rc.</sub>		
Σ Kolom	T <sub>.1.</sub>		T <sub>.j.</sub>		T <sub>.c.</sub>	T <sub>...</sub>	
Rata-rata	X̄ <sub>.1.</sub>		X̄ <sub>.j.</sub>		X̄ <sub>.c.</sub>		X̄ <sub>...</sub>

Variasi Debit Air

Sumber : Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT. (2006:96)

Didalam perhitungan menggunakan rumus sebagai berikut ini:

1. Jumlah kuadrat total (JKT)

$$JKT = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t X_{ijk}^2 - \frac{(T_{...})^2}{rct} \quad \text{(Wahyudi,2006:98)} \quad (3-2)$$

2. Jumlah kuadrat debit air (JKA)

$$JKA = \frac{\sum_{i=1}^r T_{i..}^2}{ct} - \frac{(T_{...})^2}{rct} \quad \text{(Wahyudi,2006:98)} \quad (3-3)$$

3. Jumlah kuadrat sudut *guide tube* (JKB)

$$JKB = \frac{\sum_{j=1}^c T_{.j.}^2}{rt} - \frac{(T_{...})^2}{rct} \quad \text{(Wahyudi,2006:98)} \quad (3-4)$$

4. Jumlah pengaruh interaksi perlakuan (JKP)

$$JKP = \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c T_{ij.}^2}{t} - \frac{(T_{...})^2}{rct} \rightarrow JKI = JKP - JKA - JKB \quad \text{(Wahyudi,2006:98)} \quad (3-5)$$

5. Jumlah kuadrat galat (JKG)

$$JKG = JKT - JKP = JKT - JKA - JKB - JKI \quad (\text{Wahyudi,2006:98}) \quad (3-6)$$

Apabila masing-masing suku dibagi dengan derajat bebasnya, akan diperoleh nilai varian dari masing-masing suku tersebut. Nilai ini sering disebut dengan kuadrat tengah yang disingkat KT. Nilai varian tersebut adalah:

1. Kuadrat tengah debit air (KTA)

$$KTA = \frac{JKA}{(r-1)} \quad (\text{Wahyudi,2006:98}) \quad (3-7)$$

2. Kuadrat tengah sudut *guide tube* (KTB)

$$KTB = \frac{JKB}{(c-1)} \quad (\text{Wahyudi,2006:98}) \quad (3-8)$$

3. Kuadrat tengah interaksi debit air dengan sudut *guide tube* (KTI)

$$KTI = \frac{JKI}{(r-1)(c-1)} \quad (\text{Wahyudi,2006:98}) \quad (3-9)$$

4. Kuadrat tengah galat (KTG)

$$KTG = \frac{JKG}{rc(t-1)} \quad (\text{Wahyudi,2006:98}) \quad (3-10)$$

Untuk menguji ketiga hipotesis diatas kita mencari harga  $F_{hitung}$  masing-masing sumber keragaman (variasi debit air, sudut *guide tube* serta interaksi debit air dengan sudut *guide tube*), kemudian hasilnya dibandingkan dengan  $F_{tabel}$  pada derajat bebas yang sesuai dengan nilai  $\alpha$  tertentu. Nilai  $F_{hitung}$  dari masing-masing sumber keragaman adalah sebagai berikut:

1.  $F_{hitung}$  dari debit air

$$F_1 = \frac{KTA}{KTG} \quad (\text{Wahyudi,2006:98}) \quad (3-11)$$

2.  $F_{hitung}$  dari sudut *guide tube*

$$F_2 = \frac{KTB}{KTG} \quad (\text{Wahyudi,2006:98}) \quad (3-12)$$

3.  $F_{hitung}$  dari interaksi debit air dengan sudut *guide tube*

$$F_3 = \frac{KTI}{KTG} \quad (\text{Wahyudi,2006:98}) \quad (3-13)$$

Dari perhitungan data statistik diatas dilakukan perbandingan dan kesimpulan yang terjadi pada analisa dua variasi tersebut, seperti dituliskan pada tabel 3.2 berikut:

Tabel 3.2 Analisis Varian.

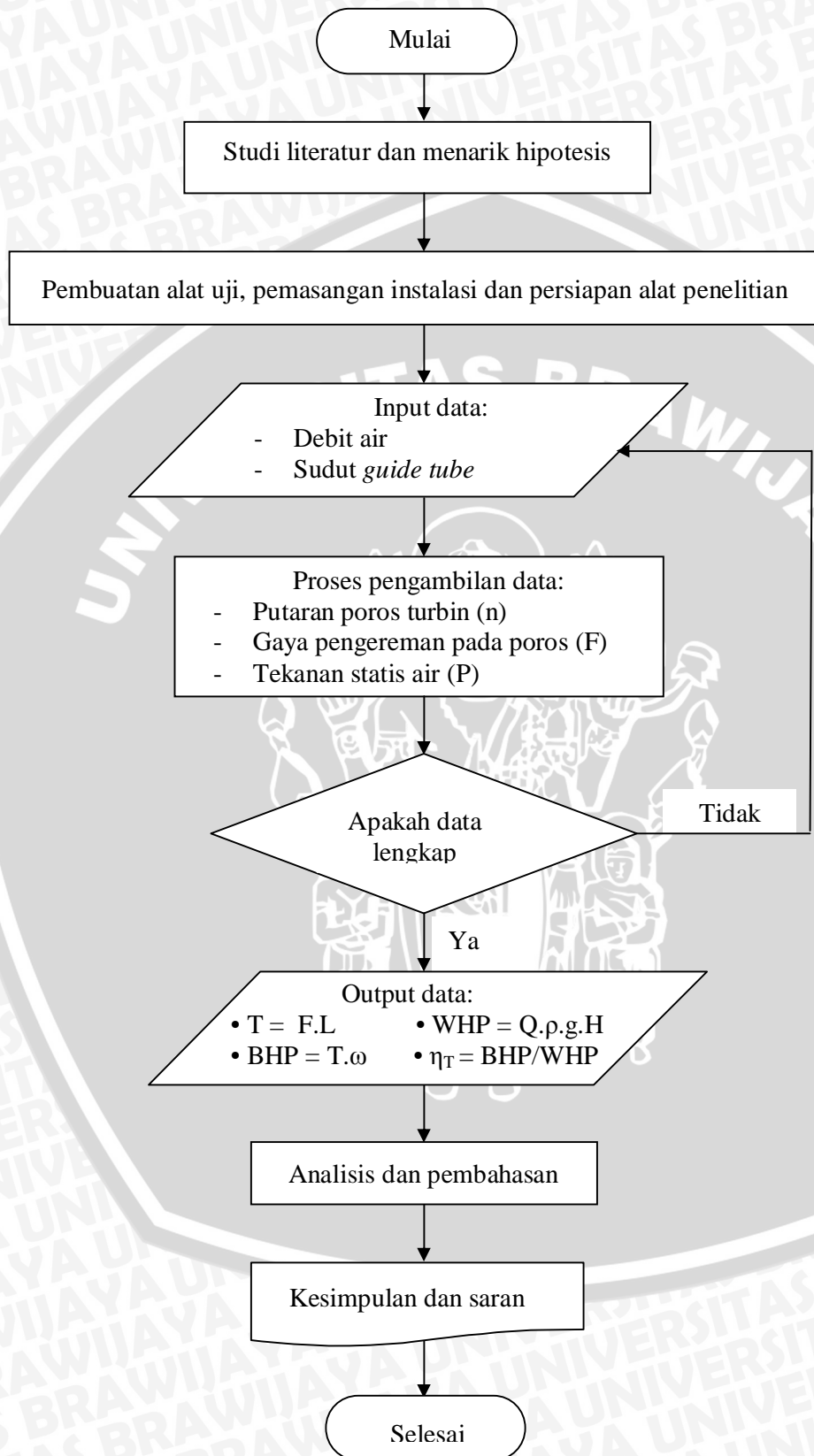
Sumber Varian	JK	Db	KT	F <sub>hitung</sub>	F <sub>α</sub>
Antar A	JKA	db <sub>1</sub> =r - 1	KTA	F <sub>1</sub>	
Antar B	JKB	db <sub>2</sub> =c - 1	KTB	F <sub>2</sub>	
Interaksi AB	JKI	db <sub>3</sub> =db <sub>1</sub> .db <sub>2</sub>	KTI	F <sub>3</sub>	
Galat	JKG	db <sub>4</sub> =rc(t - 1)	KTG		
Total	JKT	rct - 1			

Sumber : Wahyudi, Slamet (2006:96)

Kesimpulan yang diperoleh :

1. Bila  $FA_{hitung} > FA_{tabel}$ , maka  $H_0^1$  ditolak dan  $H_1^1$  diterima, ini menyatakan bahwa variasi debit air berpengaruh terhadap torsi, daya poros dan efisiensi turbin Banki.
2. Bila  $FB_{hitung} > FB_{tabel}$ , maka  $H_0^2$  ditolak dan  $H_1^2$  diterima, ini menyatakan bahwa variasi sudut *guide tube* berpengaruh terhadap torsi, daya poros dan efisiensi turbin Banki.
3. Bila  $FAB_{hitung} > FAB_{tabel}$ , maka  $H_0^3$  ditolak dan  $H_1^3$  diterima, ini menyatakan bahwa interaksi antara variasi debit air dan variasi sudut *guide tube* berpengaruh terhadap torsi, daya poros dan efisiensi turbin Banki.

## 3.7 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.3 Diagram alir penelitian.



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisis Data

#### 4.1.1 Data Hasil Pengujian

Data hasil pengujian pengaruh variasi sudut *guide tube* terhadap unjuk kerja turbin Banki dapat dilihat sebagai berikut :

Tabel 4.1 Data hasil pengujian turbin Banki dengan sudut *guide tube* 60°.

Guide Tube	Putaran (rpm)	Debit (liter/s)	$\Delta P$ (mmHg)	Hstatis (cm)	Massa (gram)	F (N)	Htotal (m)	Torsi (Nm)	BHP (Watt)	WHP (Watt)	$\eta$ (%)
60	80	6	34	50	451,9	0,1	0,791	1,413	11,839	46,545	25,43
60	80	7	47	80,5	883,8	0,2	1,201	2,762	23,151	82,458	28,08
60	80	8	78	87	1187	0,35	1,387	3,705	31,053	108,85	28,53
60	80	9	100,5	133	2119	0,45	1,984	6,623	55,509	175,19	31,69
60	80	10	106	164	2601	0,6	2,448	8,129	68,128	240,12	28,37

Tabel 4.2 Data hasil pengujian turbin Banki dengan sudut *guide tube* 70°.

Guide Tube	Putaran (rpm)	Debit (liter/s)	$\Delta P$ (mmHg)	Hstatis (cm)	Massa (gr)	F (N)	Htotal (m)	Torsi (Nm)	BHP (Watt)	WHP (Watt)	$\eta$ (%)
70	80	6	33	42	321,9	0,1	0,711	1,005	8,4187	41,836	20,12
70	80	7	47,5	64	622,9	0,15	1,036	1,946	16,311	71,127	22,93
70	80	8	77,5	94,5	1014	0,2	1,462	3,171	26,575	114,73	23,16
70	80	9	101	130,5	1706	0,3	1,959	5,337	44,725	172,98	25,86
70	80	10	107	153	2148	0,4	2,338	6,718	56,301	229,33	24,55

Tabel 4.3 Data hasil pengujian turbin Banki dengan sudut *guide tube* 80°.

Guide Tube	Putaran (rpm)	Debit (liter/s)	$\Delta P$ (mmHg)	Hstatis (cm)	Massa (gr)	F (N)	Htotal (m)	Torsi (Nm)	BHP (Watt)	WHP (Watt)	H (%)
80	80	6	33,5	37,5	351,9	0,1	0,666	1,099	9,208	39,188	23,5
80	80	7	48,5	72	703,8	0,2	1,116	2,197	18,416	76,621	24,04
80	80	8	76,5	99	1245	0,25	1,507	3,893	32,627	118,26	27,59
80	80	9	101	105	1618	0,4	1,704	5,054	42,358	150,47	28,15
80	80	10	107,5	151	2339	0,45	2,318	7,314	61,3	227,37	26,96

#### 4.1.2 Perhitungan Data

Dari data hasil pengujian dapat dilakukan pengolahan data. Sebagai contoh perhitungan, diambil data dari pengujian dengan sudut *guide tube* 60° terhadap torsi, daya poros dan efisiensi pada turbin Banki :

Debit Air : 6 liter/s

Putaran : 80 rpm

$\Delta P$  : 34 mmHg

H statis : 50 cm  
 Massa : 451,9 gram  
 F : 0.1 N

- Perhitungan Torsi

Besarnya torsi dapat dihitung menggunakan :

$$\begin{aligned} \text{Torsi } (T) &= (m \cdot g \cdot L_1) - (F \cdot L_2) \text{ (N.m)} \\ &= (0,22 \cdot 10^{-3} \cdot 9,81 \cdot 0,32) - (0,1 \cdot 0,06) \text{ (N.m)} \\ &= 1,413 \text{ (N.m)} \end{aligned}$$

- Perhitungan Daya Poros (BHP)

Setelah mendapatkan torsi, maka daya poros (BHP) dapat dihitung dengan persamaan :

$$\begin{aligned} \text{BHP} &= T \cdot \omega = T \cdot \frac{2 \cdot n \cdot \pi}{60} \text{ (Watt)} \quad \text{Pers. (2-3)} \\ &= 1,413 \cdot \frac{2 \cdot 80 \cdot 3,14}{60} \text{ (Watt)} \\ &= 11,839 \text{ (Watt)} \end{aligned}$$

- Perhitungan head

Sebelum menghitung head total, terlebih dahulu harus dicari head kecepatan. Cara menghitung kecepatan fluida adalah dengan menggunakan persamaan kontinuitas :

$$\begin{aligned} c &= \frac{Q}{A} \text{ (m/s)} \quad \text{Pers. (2-14)} \\ &= \frac{3 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot (0,02^2)} \text{ (m/s)} \\ &= 2,38 \text{ (m/s)} \end{aligned}$$

Sehingga head kecepatan :

$$\begin{aligned} H_{\text{kec}} &= \frac{c^2}{2 \cdot g} \text{ (meter)} \\ &= \frac{2,38^2}{2 \cdot 9,81} \text{ (meter)} \\ &= 0,29 \text{ (meter)} \end{aligned}$$

Setelah didapatkan *head* kecepatan, maka *head* total dapat dicari dengan :

$$\begin{aligned} H_{total} &= H_{statis} + H_{kecepatan} \text{ (meter)} \\ &= (50 \cdot 10^{-2}) + 0,29 \text{ (meter)} \\ &= 0,791 \text{ (meter)} \end{aligned}$$

- Perhitungan daya air (WHP)

Besarnya daya air didapatkan dari persamaan berikut :

$$\begin{aligned} WHP &= Q \cdot \rho \cdot g \cdot H \text{ (Watt)} && \text{Pers. (2 - 5)} \\ &= (6 \cdot 10^{-3}) \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,791 \text{ (Watt)} \\ &= 46,54 \text{ (Watt)} \end{aligned}$$

- Perhitungan efisiensi turbin

Efisiensi turbin dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned} \eta_T &= \frac{BHP}{WHP} \cdot 100(\%) && \text{Pers. (2 - 4)} \\ &= \frac{11,839}{46,54} \cdot 100(\%) \\ &= 25,43(\%) \end{aligned}$$

Untuk data dengan variasi sudut *guide tube* yang lain, tahapan perhitungan mengikuti uraian di atas dan hasil dari perhitungan tersebut dapat dilihat pada tabel 4.2 dan 4.3. Untuk mempermudah pembacaan data hasil pengujian tersebut kemudian dilakukan analisis statistik dan ditampilkan dalam bentuk grafik.

#### 4.1.3 Analisis Statistik

Untuk mengolah data yang telah diperoleh dan menguji hipotesis, dipergunakan analisis varian dua arah. Dengan analisis varian dua arah akan diketahui ada tidaknya pengaruh dari variasi debit air (faktor A) dan pengaruh variasi sudut *guide tube* (faktor B) serta pengaruh interaksi keduanya (faktor AB) terhadap torsi, daya poros dan efisiensi turbin Banki.

Adapun hipotesis yang dipergunakan adalah sebagai berikut :

- $H_0^1$  :  $\alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_i$  (tidak ada pengaruh variasi debit air terhadap torsi, daya poros dan efisiensi turbin Banki).
- $H_1^1$  : paling sedikit satu  $\alpha_1 \neq 0$  (ada pengaruh variasi debit air terhadap torsi, daya poros dan efisiensi turbin Banki).

II.  $H_0^2$ :  $\beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_j$  (tidak ada pengaruh variasi sudut *guide tube* terhadap torsi, daya poros dan efisiensi turbin Banki).

$H_1^2$ : paling sedikit satu  $\beta_j \neq 0$  (ada pengaruh variasi sudut *guide tube* terhadap torsi, daya poros dan efisiensi turbin Banki).

III.  $H_0^3$ :  $(\alpha\beta)_{11} = (\alpha\beta)_{12} = \dots = (\alpha\beta)_{ij}$  (tidak ada pengaruh variasi debit air dan variasi sudut *guide tube* terhadap torsi, daya poros dan efisiensi turbin Banki).

$H_1^3$ : paling sedikit satu  $(\alpha\beta) \neq 0$  (ada pengaruh variasi debit air dan variasi sudut *guide tube* terhadap torsi, daya poros dan efisiensi turbin Banki).

**4.1.3.1 Contoh Perhitungan Analisis Statistik**

Dari data hasil pengujian dapat dilakukan analisis statistik untuk menguji hipotesis. Sebagai contoh perhitungan, diambil data dari pengujian dengan variasi debit air dan sudut *guide tube* terhadap torsi pada turbin Banki :

Tabel 4.4 Data pengujian hipotesis pengaruh variasi debit air dan sudut *guide tube* terhadap torsi turbin Banki.

		Torsi (N.m) pada sudut <i>guide tube</i>			$\Sigma_B$
		60 °	70 °	80 °	
Debit Air (liter/s)		1,40789568	1,001087	1,093034	
		1,41731328	1,007962	1,104366	
	$\Sigma_{K1}$	2,82520896	2,009048	2,1974	7,031658
		2,76022752	1,944085	2,186758	
		2,7646224	1,94848	2,208105	
	$\Sigma_{K2}$	5,52484992	3,892564	4,394863	13,81228
		3,6973824	3,163521	3,889474	
		3,7130784	3,178432	3,896757	
	$\Sigma_{K3}$	7,4104608	6,341952	7,786231	21,53864
		6,6218256	5,335372	5,041256	
	6,6249648	5,337883	5,066998		
$\Sigma_{K4}$	13,2467904	10,67326	10,10825	34,0283	
	8,1196416	6,705346	7,298009		
	8,1384768	6,73046	7,330657		
$\Sigma_{K5}$	16,2581184	13,43581	14,62867	44,32259	
$\Sigma_{KTot}$	45,26542848	36,35263	39,11542	<b>120,7335</b>	

$$FK = \frac{120,7335^2}{5.3.2} = 485,885$$

$$JKT = (1,4078^2 + 1,4173^2 + \dots + 7,3306^2) - FK$$

$$= 644,01 - 485,885 = 158,124$$

$$JKA = \frac{(7,0316^2 + 13,8122^2 + \dots + 44,3225^2)}{3.2} - FK$$

$$= 637,758 - 485,885 = 151,873$$

Dimana A = baris, yaitu faktor debit air.

$$JKB = \frac{(45,2654^2 + 36,3526^2 + 39,1154^2)}{5.2} - FK$$

$$= 490,0488 - 485,885 = 4,163$$

Dimana B = kolom, yaitu faktor sudut *guide tube*.

$$JKPerlakuan = \frac{(2,8252^2 + 2,0090^2 + \dots + 14,6286^2)}{2} - FK$$

$$= 644,008 - 485,885 = 158,122$$

Dimana perlakuan = kombinasi antara kondisi ke-*i* faktor debit air dan kondisi ke-*j* faktor sudut *guide tube*.

$$JKI = 158,122 - 151,873 - 4,163 = 2,085$$

Dimana I = interaksi antara faktor debit air dan faktor sudut *guide tube*.

$$JKG = 158,124 - 158,122 = 0,002$$

Dimana G = galat.

Kemudian, masing-masing suku dibagi dengan derajat bebasnya sehingga diperoleh nilai varian dari masing-masing suku tersebut. Nilai ini sering disebut dengan kuadrat tengah yang disingkat KT. Nilai varian tersebut yaitu:

$$KTA = \frac{JKA}{(r-1)} = \frac{151,873}{(5-1)} = 37,968$$

$$KTB = \frac{JKB}{(c-1)} = \frac{4,163}{(3-1)} = 2,082$$

$$KTI = \frac{JKI}{(r-1)(c-1)} = \frac{2,085}{(5-1).(3-1)} = 0,261$$

$$KTG = \frac{JKG}{rc(t-1)} = \frac{0,002}{5.3.(2-1)} = 0,000134$$

Untuk menguji ketiga hipotesis diatas kita mencari harga  $F_{hitung}$  masing-masing sumber keragaman (variasi debit air, sudut *guide tube* serta interaksi debit air dengan sudut *guide tube*), kemudian hasilnya dibandingkan dengan  $F_{tabel}$  pada derajat bebas yang sesuai dengan nilai  $\alpha$  sebesar 5%. Nilai  $F_{hitung}$  dari masing-masing sumber keragaman adalah sebagai berikut:

$$F_1 = \frac{KTA}{KTG} = \frac{37,968}{0,000134} = 284013,4$$

Dimana  $F_1 = F_{hitung}$  dari debit air.

$$F_2 = \frac{KTB}{KTG} = \frac{2,082}{0,000134} = 15570,66$$

Dimana  $F_2 = F_{hitung}$  dari sudut *guide tube*.

$$F_3 = \frac{KTI}{KTG} = \frac{0,261}{0,000134} = 1950,417$$

Dimana  $F_3 = F_{hitung}$  dari interaksi debit air dengan sudut *guide tube*.

Untuk perhitungan analisis statistik daya poros dan efisiensi turbin Banki, tahapan perhitungan mengikuti uraian di atas dan hasil dari perhitungan tersebut dapat dilihat pada tabel 4.6 dan 4.7.

#### 4.1.3.2 Analisis Statistik untuk Torsi yang Dihasilkan

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi debit, variasi sudut *guide tube* dan interaksi antara keduanya terhadap torsi turbin Banki. Dari perhitungan statistik didapatkan tabel 4.5 sebagai berikut :

Tabel 4.5 Analisis Varian Dua Arah untuk Torsi yang Dihasilkan.

Sumber Varian	Db	JK	KT	F hitung	F tabel
<b>A (Debit Air)</b>	4	151,8732	37,96831	284013,4	3,055568
<b>B (Sudut Guide Tube)</b>	2	4,163124	2,081562	15570,66	3,68232
<b>Interaksi A dan B</b>	8	2,08593	0,260741	1950,417	2,640797
<b>Galat</b>	15	0,002005	0,000134		
<b>Total</b>	29	158,1243			

Dari tabel analisis varian (tabel 4.5) terlihat masing-masing perlakuan  $F_{hitung} > F_{tabel}$  dengan keyakinan 95 %. Atau dapat dinyatakan sebagai berikut :

- a. Faktor debit air

$H_0$  ditolak maka  $H_1$  diterima, artinya ada pengaruh variasi debit air terhadap torsi turbin Banki.

- b. Faktor sudut *guide tube*

$H_0$  ditolak maka  $H_1$  diterima, artinya ada pengaruh variasi sudut *guide tube* terhadap torsi turbin Banki.

c. Interaksi antar dua faktor

$H_0$  ditolak maka  $H_1$  diterima, artinya interaksi antara variasi debit air dan sudut *guide tube* mempunyai pengaruh yang nyata terhadap torsi turbin Banki.

#### 4.1.3.3 Analisis Statistik untuk Daya Poros yang Dihasilkan

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi debit, variasi sudut *guide tube* dan interaksi antara keduanya terhadap daya poros turbin Banki. Dari perhitungan statistik didapatkan tabel 4.6 sebagai berikut :

Tabel 4.6 Analisis Varian Dua Arah untuk Daya Poros yang Dihasilkan.

Sumber Varian	Db	JK	KT	F hitung	F table
A (Debit Air)	4	10667,24	2666,811	284013,4	3,055568
B (Sudut Guide Tube)	2	292,4087	146,2044	15570,66	3,68232
Interaksi A dan B	8	146,5112	18,3139	1950,417	2,640797
Galat	15	0,140846	0,00939		
Total	29	11106,3			

Dari tabel analisis varian (tabel 4.6) terlihat masing-masing perlakuan  $F_{hitung} > F_{tabel}$  dengan keyakinan 95 %. Atau dapat dinyatakan sebagai berikut :

a. Faktor debit air

$H_0$  ditolak maka  $H_1$  diterima, artinya ada pengaruh variasi debit air terhadap daya poros turbin Banki.

b. Faktor sudut *guide tube*

$H_0$  ditolak maka  $H_1$  diterima, artinya ada pengaruh variasi sudut *guide tube* terhadap daya poros turbin Banki.

c. Interaksi antar dua faktor

$H_0$  ditolak maka  $H_1$  diterima, artinya interaksi antara variasi debit air dan sudut *guide tube* mempunyai pengaruh yang nyata terhadap daya poros turbin Banki.

#### 4.1.3.4 Analisis Statistik untuk Efisiensi yang Dihasilkan

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi debit, variasi sudut *guide tube* dan interaksi antara keduanya terhadap efisiensi turbin Banki. Dari perhitungan statistik didapatkan tabel 4.7 sebagai berikut :

Tabel 4.7 Analisis Varian Dua Arah untuk Efisiensi Turbin yang Dihasilkan.

Sumber Varian	Db	JK	KT	F hitung	F table
<b>A (Debit Air)</b>	4	101,8364	25,45909	838,7263	3,055568
<b>B (Sudut Guide Tube)</b>	2	129,9782	64,98909	2141,006	3,68232
<b>Interaksi A dan B</b>	8	10,53911	1,317389	43,40016	2,640797
<b>Galat</b>	15	0,455317	0,030354		
<b>Total</b>	29	242,809			

Dari tabel analisis varian (tabel 4.7) terlihat masing-masing perlakuan  $F_{hitung} > F_{tabel}$  dengan keyakinan 95 %. Atau dapat dinyatakan sebagai berikut :

- Faktor debit air  
 $H_0$  ditolak maka  $H_1$  diterima, artinya ada pengaruh variasi debit air terhadap efisiensi turbin Banki.
- Faktor sudut *guide tube*  
 $H_0$  ditolak maka  $H_1$  diterima, artinya ada pengaruh variasi sudut *guide tube* terhadap efisiensi turbin Banki.
- Interaksi antar dua faktor  
 $H_0$  ditolak maka  $H_1$  diterima, artinya interaksi antara variasi debit air dan sudut *guide tube* mempunyai pengaruh yang nyata terhadap efisiensi turbin Banki.

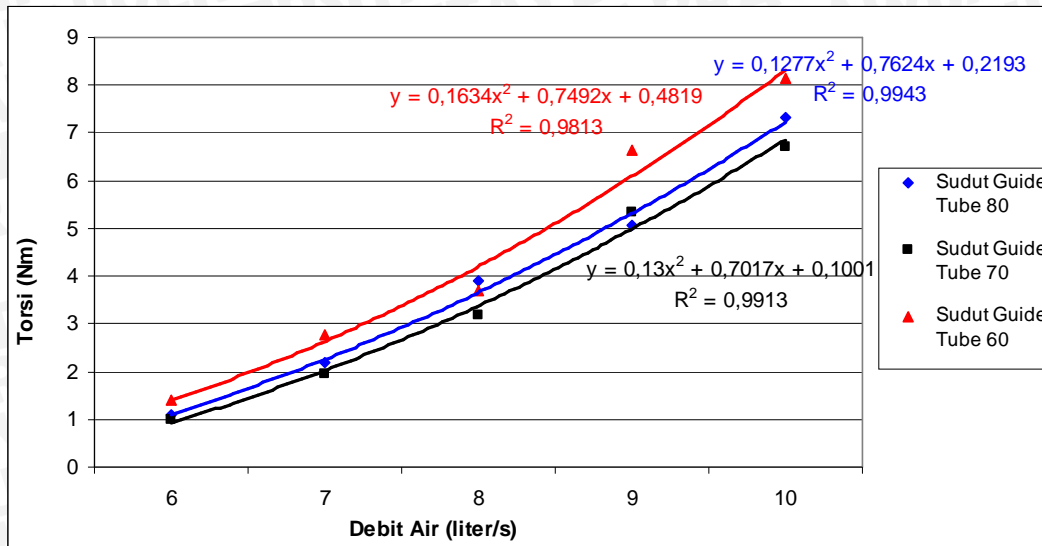
## 4.2 Pembahasan

Hasil pengolahan data pada pengujian ini dibuat dalam bentuk grafik hubungan antara variasi debit air terhadap unjuk kerja turbin Banki yang meliputi torsi, daya poros serta efisiensi yang dihasilkan pada variasi sudut *guide tube* 60°, 70°, 80°.

### 4.2.1 Pengaruh Variasi Debit Air terhadap Torsi Turbin Banki

Pengaruh variasi debit air terhadap torsi turbin Banki pada variasi *guide tube* 60°, 70°, 80°, dapat dijelaskan melalui gambar 4.1 dibawah ini.





Gambar 4.1 Hubungan antara debit air dengan torsi turbin Banki.

Hubungan antara debit air terhadap torsi turbin Banki tersaji dalam gambar 4.1 di atas. Sumbu absis pada gambar di atas menyatakan debit air, sedangkan sumbu ordinat menyatakan torsi. Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa nilai torsi yang terjadi pada turbin Banki semakin besar dengan bertambahnya debit air pada putaran turbin yang konstan. Hal ini dikarenakan pada debit air yang semakin tinggi, momentum yang terjadi semakin besar sehingga gaya pengereman yang dibutuhkan untuk menjaga putaran tetap konstan juga semakin tinggi. Hal inilah yang menyebabkan torsi meningkat. Sebagaimana ditunjukkan persamaan :

$$T = F.L \tag{2-2}$$

Dari persamaan (2-2) ditunjukkan bahwa nilai torsi (T) akan sebanding dengan gaya pengereman (F) yang diberikan.

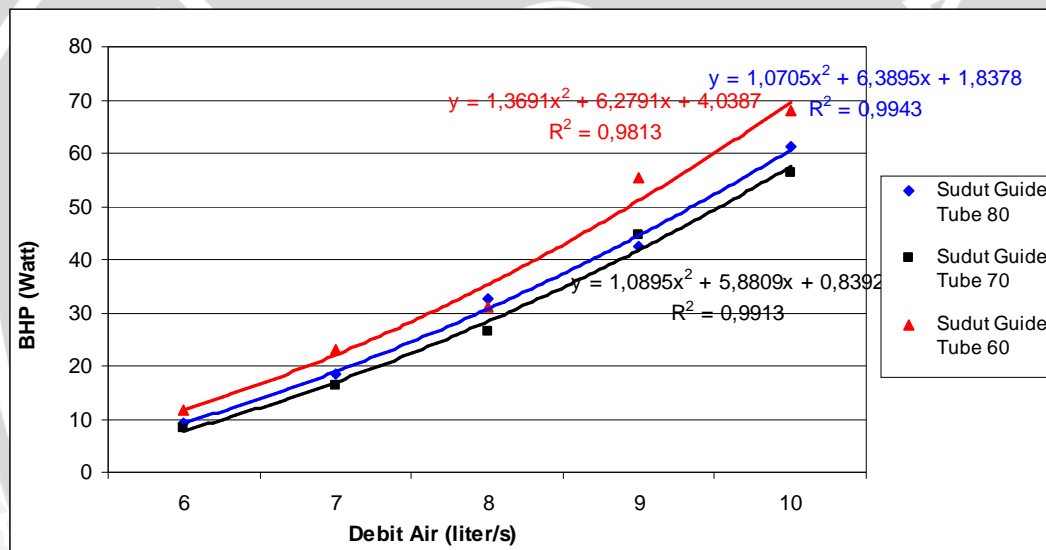
Pada gambar 4.1 juga ditunjukkan bahwa pada debit air yang sama, terdapat berbagai perbedaan nilai torsi pada variasi sudut *guide tube*. Hal ini disebabkan dengan memvariasikan sudut *guide tube* menyebabkan perubahan aliran air yang mengalir dari tingkat satu menuju tingkat dua, sehingga torsi yang dibangkitkan di tingkat kedua pun mengalami perubahan. Pada gambar 4.1 terlihat bahwa dari variasi sudut *guide tube* yang berbeda, sudut *guide tube* sebesar 60° menghasilkan torsi tertinggi jika dibandingkan dengan sudut *guide tube* 70° dan 80°. Hal ini disebabkan energi air yang masuk sudu *runner* di tingkat kedua lebih banyak termanfaatkan. Ini dikarenakan air menumbuk tepat di bagian depan sudu, sehingga laju massa alir air yang menumbuk sudu *runner* pada tingkat kedua akan semakin banyak yang termanfaatkan, akibatnya

torsi yang dibangkitkan juga akan semakin besar. Nilai torsi pada variasi sudut *guide tube* 60° yang paling tinggi terjadi pada debit 10 liter/s yaitu 8,129 N.m. Sedangkan nilai torsi yang paling rendah terjadi pada debit 6 liter/s yaitu 1,413 N.m.

Dilihat dari pengujian hipotesis dengan analisa varian (anava) dua arah, dapat diketahui bahwa nilai  $F_{hitung}$  faktor debit air, faktor sudut *guide tube* serta faktor interaksi antara debit air dan sudut *guide tube* lebih besar dari  $F_{tabel}$ . Sehingga dapat disimpulkan bahwa faktor debit air, faktor sudut *guide tube* serta interaksi antara debit air dan sudut *guide tube* memiliki pengaruh yang nyata terhadap torsi turbin Banki.

#### 4.2.2 Pengaruh Variasi Debit Air terhadap Daya Poros Turbin Banki

Pengaruh variasi debit air terhadap daya poros turbin Banki pada variasi *guide tube* 60°, 70°, 80°, dapat dijelaskan melalui gambar 4.2 dibawah ini.



Gambar 4.2 Hubungan antara debit air dengan daya poros turbin Banki.

Hubungan antara debit air terhadap daya poros turbin Banki tersaji dalam gambar 4.2 di atas. Sumbu absis pada gambar di atas menyatakan debit air, sedangkan sumbu ordinat menyatakan daya poros. Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa nilai daya poros yang terjadi pada turbin Banki semakin besar dengan bertambahnya debit air pada putaran turbin yang konstan. Hal ini dikarenakan pada debit air yang semakin tinggi, torsi yang dihasilkan semakin tinggi pula. Hal inilah yang menyebabkan daya poros semakin tinggi. Ditunjukkan dengan persamaan :

$$BHP = T.\omega = \frac{T.2\pi.n}{60} \tag{2-3}$$

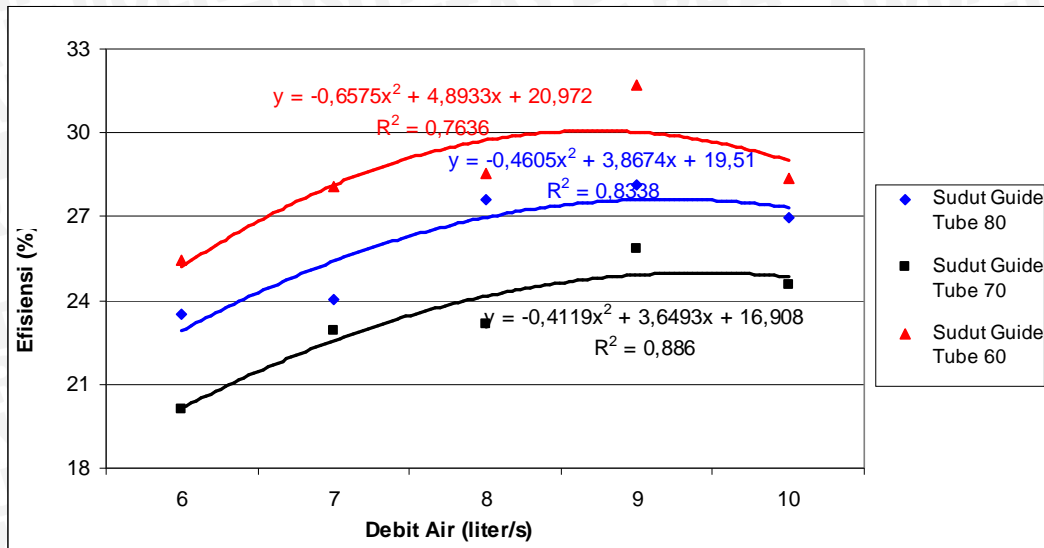
Dari persamaan (2-3) ditunjukkan bahwa nilai daya poros (BHP) sebanding dengan nilai torsi (T).

Pada gambar 4.2 juga ditunjukkan bahwa pada debit air yang sama, terdapat berbagai perbedaan nilai daya poros pada variasi sudut *guide tube*. Hal ini disebabkan dengan memvariasikan sudut *guide tube* menyebabkan perubahan aliran air yang mengalir dari tingkat satu menuju tingkat dua, sehingga torsi yang dibangkitkan di tingkat kedua pun mengalami perubahan dan akan mempengaruhi daya poros yang dihasilkan. Pada gambar 4.2 terlihat bahwa dari variasi sudut *guide tube* yang berbeda, sudut *guide tube* sebesar  $60^\circ$  menghasilkan daya poros tertinggi jika dibandingkan dengan sudut *guide tube*  $70^\circ$  dan  $80^\circ$ . Hal ini disebabkan energi air yang masuk sudu *runner* di tingkat kedua lebih banyak termanfaatkan. Ini dikarenakan air menumbuk tepat di bagian depan sudu, sehingga laju massa alir air yang menumbuk sudu *runner* pada tingkat kedua akan semakin banyak yang termanfaatkan, akibatnya torsi yang dibangkitkan juga akan semakin besar dan daya poros yang dihasilkan juga semakin tinggi. Nilai daya poros pada variasi sudut *guide tube*  $60^\circ$  yang paling tinggi terjadi pada debit 10 liter/s yaitu 68,128 Watt. Sedangkan nilai torsi yang paling rendah terjadi pada debit 6 liter/s yaitu 11,839 Watt.

Dilihat dari pengujian hipotesis dengan analisa varian (anava) dua arah, dapat diketahui bahwa nilai  $F_{hitung}$  faktor debit air, faktor sudut *guide tube* serta faktor interaksi antara debit air dan sudut *guide tube* lebih besar dari  $F_{tabel}$ . Sehingga dapat disimpulkan bahwa faktor debit air, faktor sudut *guide tube* serta interaksi antara debit air dan sudut *guide tube* memiliki pengaruh yang nyata terhadap daya poros turbin Banki.

#### 4.2.3 Pengaruh Variasi Debit Air terhadap Efisiensi Turbin Banki

Pengaruh variasi debit air terhadap efisiensi turbin Banki pada variasi *guide tube*  $60^\circ$ ,  $70^\circ$ ,  $80^\circ$ , dapat dijelaskan melalui gambar 4.3 dibawah ini.



Gambar 4.3 Hubungan antara debit air dengan efisiensi turbin Banki.

Hubungan antara debit air terhadap efisiensi turbin Banki tersaji dalam gambar 4.3 di atas. Sumbu absis pada gambar di atas menyatakan debit air, sedangkan sumbu ordinat menyatakan efisiensi. Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa nilai efisiensi yang terjadi pada turbin Banki semakin besar dengan bertambahnya debit air pada putaran turbin yang konstan. Hal ini dikarenakan pada debit air yang semakin tinggi, momentum yang terjadi semakin besar sehingga gaya pengereman yang dibutuhkan untuk menjaga putaran tetap konstan juga semakin tinggi. Hal ini mengakibatkan torsi semakin tinggi dan daya poros (BHP) yang dihasilkan juga meningkat. Akibatnya efisiensi juga semakin besar. Ditunjukkan oleh persamaan :

$$\eta_T = \frac{BHP}{WHP} \cdot 100\% \tag{2-4}$$

Daya air (WHP) yang terjadi juga semakin besar dengan meningkatnya debit. Namun dari debit yang masuk menuju *runner*, penambahan torsi yang dihasilkan pada tiap peningkatan debit lebih besar dari penambahan daya air sehingga terjadi peningkatan efisiensi. Peningkatan efisiensi akan terus terjadi sampai pada efisiensi tertinggi yaitu pada saat debit yang masuk menuju *runner* sebesar 9 liter/s. Pada debit tersebut merupakan debit di mana turbin Banki bekerja secara optimal. Untuk debit 9 liter/s sampai 10 liter/s efisiensi turbin akan mengalami penurunan. Hal ini disebabkan dengan semakin besar debit maka kecepatan dan jumlah air yang mengalir semakin tinggi sehingga mengakibatkan losses yang terjadi juga semakin besar. Sehingga penambahan

torsi yang dihasilkan dari penambahan debit menjadi lebih sedikit dari sebelumnya sedangkan perubahan besar daya air semakin meningkat.

Pada gambar 4.3 juga ditunjukkan bahwa pada debit air yang sama, terdapat berbagai perbedaan nilai efisiensi pada variasi sudut *guide tube*. Hal ini disebabkan dengan memvariasikan sudut *guide tube* menyebabkan perubahan aliran air yang mengalir dari tingkat satu menuju tingkat dua, sehingga torsi yang dibangkitkan di tingkat kedua pun mengalami perubahan dan akan mempengaruhi daya poros yang dihasilkan. Dengan daya air yang tetap dan daya poros yang berubah, maka akan mengubah nilai efisiensi seperti dijelaskan oleh persamaan (2-4).

Pada gambar 4.3 terlihat bahwa dari variasi sudut *guide tube* yang berbeda, sudut *guide tube* sebesar  $60^\circ$  menghasilkan efisiensi tertinggi jika dibandingkan dengan sudut *guide tube*  $70^\circ$  dan  $80^\circ$ . Hal ini disebabkan energi air yang masuk sudu *runner* di tingkat kedua lebih banyak termanfaatkan. Ini dikarenakan air menumbuk tepat di bagian depan sudu, sehingga laju massa alir air yang menumbuk sudu *runner* pada tingkat kedua akan semakin banyak yang termanfaatkan, akibatnya torsi yang dibangkitkan juga akan semakin besar dan daya poros yang dihasilkan juga semakin tinggi. Daya poros yang tinggi akan menyebabkan nilai efisiensi juga tinggi. Nilai efisiensi pada variasi sudut *guide tube*  $60^\circ$  yang paling tinggi terjadi pada debit 9 liter/s yaitu 31,69%. Sedangkan nilai efisiensi yang paling rendah terjadi pada debit 6 liter/s yaitu 25,43 %.

Dilihat dari pengujian hipotesis dengan analisa varian (anava) dua arah, dapat diketahui bahwa nilai  $F_{hitung}$  faktor debit air, faktor sudut *guide tube* serta faktor interaksi antara debit air dan sudut *guide tube* lebih besar dari  $F_{tabel}$ . Sehingga dapat disimpulkan bahwa faktor debit air, faktor sudut *guide tube* serta interaksi antara debit air dan sudut *guide tube* memiliki pengaruh yang nyata terhadap efisiensi turbin Banki.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan pengujian pengaruh variasi sudut *guide tube* terhadap unjuk kerja turbin Banki, dapat diambil kesimpulan bahwa dengan memvariasikan sudut *guide tube* mempunyai pengaruh yang nyata terhadap unjuk kerja dari turbin Banki. Pada variasi debit air 6 – 10 liter/s, unjuk kerja yang optimal yaitu :

- Torsi yaitu 8,129 Nm didapatkan pada debit air 10 liter/s dengan sudut *guide tube* 60°.
- Daya poros yaitu 68,128 Watt didapatkan pada debit air 10 liter/s dengan sudut *guide tube* 60°.
- Efisiensi yaitu 31,69 % didapatkan pada debit air 9 liter/s dengan sudut *guide tube* 60°.

Secara keseluruhan, unjuk kerja yang paling baik didapatkan dengan menggunakan sudut *guide tube* sebesar 60°.

### 5.2 Saran

Dari hasil penelitian ini dapat dilanjutkan pengujian dengan berbagai variasi yang lain yaitu :

- Untuk pengujian selanjutnya, dapat dikembangkan penelitian mengenai sudut *guide tube* dengan spesifikasi turbin Banki yang berbeda.
- Perlu dikembangkan penelitian mengenai kontur dari *guide tube*.
- Dapat dilakukan penelitian mengenai efisiensi turbin Banki dengan mengaktifkan pembangkitan di tingkat kedua saja.

## DAFTAR PUSTAKA

- Barglazan, M.; 2005: *About Design Optimization of Cross-Flow Hydarulic Turbines*; University from Timișoara, Timișoara.
- Bueche, F.J.; 1988: *Fisika*; Erlangga, Jakarta.
- Choi, Young-Do., Lim, Jae-Ik., Kim, You-Taek., Lee, Young-Ho; 2008: *Performance and Internal Flow Characteristics of a Cross-Flow Hydro Turbine by the Shapes of Nozzle and Runner Blade*; Korea's Maritime University, Busan.
- Dephan, <http://buletinlitbang.dephan.go.id/index.asp?vnomor=20&mnorutisi=6> (diakses 22 April 2010).
- Dietzel, Fritz; 1990: *Turbin Pompa dan Kompresor*; Erlangga, Jakarta.
- Dixon, S.L.; 2005: *Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery*; Elsevier Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Eon-Wasserkraft, <http://www.eon-wasserkraft.com> (diakses 22 April 2010).
- Fadhilstpln, <http://fadhilstpln07.blogdetik.com/2009/04/29/penggunaan-turbin-cross-flow-pada-pembangkit-listrik-tenaga-mikrohidro/> (diakses 22 April 2010).
- Giles, R. V; 1977: *Fluid Mechanics and Hydraulics*; Second Edition McGrawhill, New York.
- Haimerl, L.A.; 1960: *The Cross-Flow Turbine*; I.P.C. Business Press, New York.
- Mockmore, C. A. dan Merryfield, Fred; 1949: *The Banki Water Turbine*; Oregon State College, Oregon.
- Olgun, Hayati; 2000: *Effect of Interior Guide Tubes in Cross-Flow Turbine Runner on Turbine Performance*; John Wiley and Sons, Kocaeli.
- Round, G.F.; 2004: *Incompressible Flow Turbomachines*; Gulf Professional Publishing, Oxford.
- Sutikno, Djoko; 1997: *Turbin Air Banki*; Universitas Brawijaya, Malang.
- Wahyudi, Slamet; 2006: *Statistik Teknik*; Universitas Brawijaya, Malang.
- White, Frank M.; 2001: *Fluid Mechanics*; Mc Graw Hill Book Company, New York.
- Wikipedia, [http://en.wikipedia.org/wiki/Cross-flow\\_turbine](http://en.wikipedia.org/wiki/Cross-flow_turbine) (diakses 22 April 2010).

**Lampiran 1.**

Data Pengulangan

Guide Tube	Putaran (rpm)	Debit (liter/s)	$\Delta P$ (mmHg)	Hstatis (cm)	Massa (gram)	F (N)
60	80	6	34	49	450,4	0,1
60	80	6	34	51	453,4	0,1
60	80	7	47	80	883,1	0,2
60	80	7	47	81	884,5	0,2
60	80	8	77	86	1185	0,35
60	80	8	79	88	1190	0,35
60	80	9	100	133	2118	0,45
60	80	9	101	133	2119	0,45
60	80	10	106	164	2598	0,6
60	80	10	106	164	2604	0,6

Guide Tube	Putaran (rpm)	Debit (liter/s)	$\Delta P$ (mmHg)	Hstatis (cm)	Massa (gram)	F (N)
70	80	6	33	41	320,8	0,1
70	80	6	33	43	323	0,1
70	80	7	47	63	622,2	0,15
70	80	7	48	65	623,6	0,15
70	80	8	77	94	1012	0,2
70	80	8	78	95	1016	0,2
70	80	9	100	130	1705	0,3
70	80	9	102	131	1706	0,3
70	80	10	106	153	2144	0,4
70	80	10	108	153	2152	0,4

Guide Tube	Putaran (rpm)	Debit (liter/s)	$\Delta P$ (mmHg)	Hstatis (cm)	Massa (gram)	F (N)
80	80	6	34	37	350,1	0,1
80	80	6	33	38	353,7	0,1
80	80	7	48	71	700,4	0,2
80	80	7	49	73	707,2	0,2
80	80	8	76	98	1244	0,25
80	80	8	77	100	1246	0,25
80	80	9	100	104	1614	0,4
80	80	9	102	106	1622	0,4
80	80	10	107	151	2333	0,45
80	80	10	108	151	2344	0,45

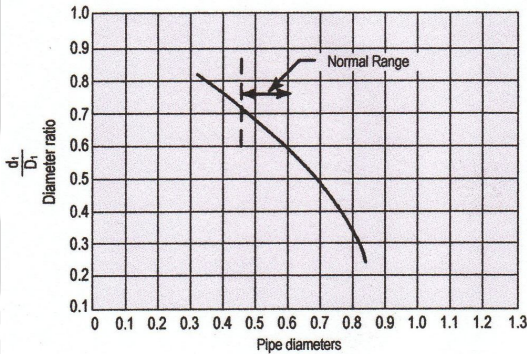
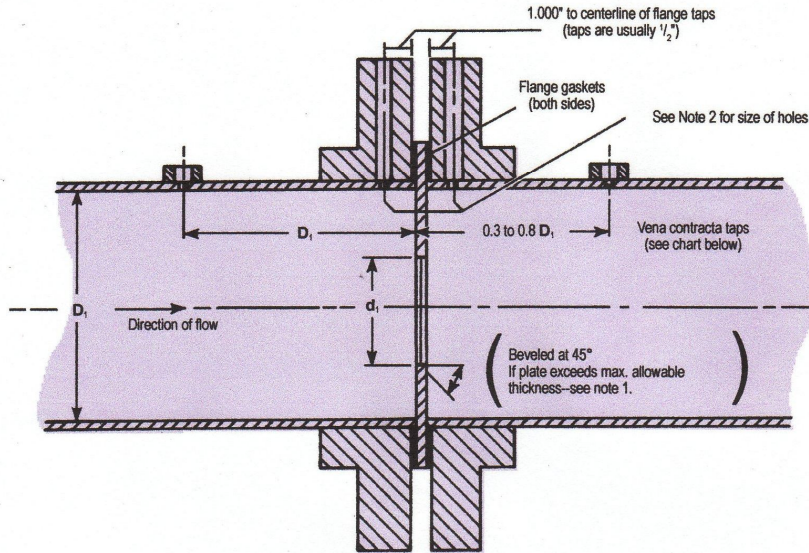




Lampiran 2.

Orifice

LOCATION AND SIZES OF PRESSURE TAPS



Distance from Inlet face of orifice plate to outlet pressure tap for vena-contracta taps (Instruction 2 on front side).

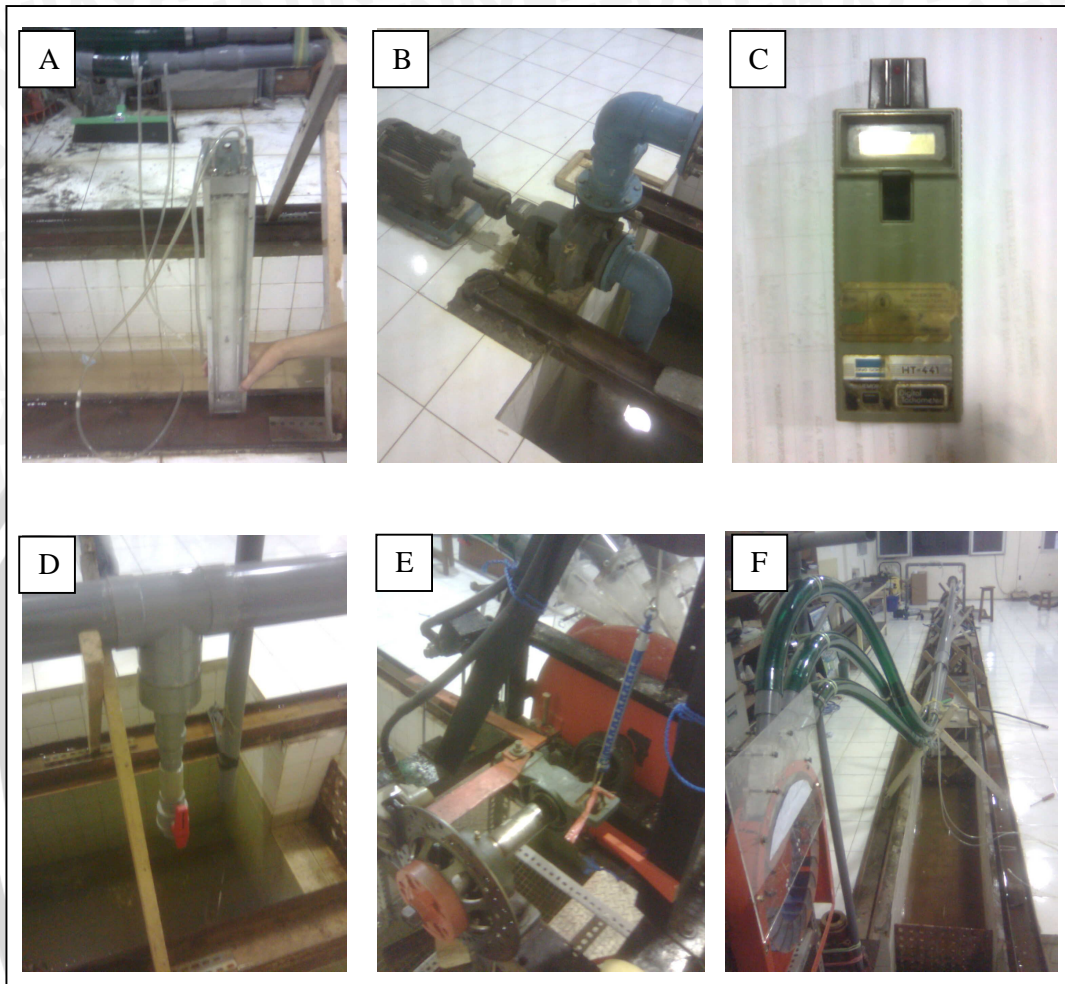
Notes:

- For pipe sizes 6" and smaller, orifice plates should not exceed 1/8" thickness.  
For pipe sizes 6" to 16" inclusive, orifice plates should not exceed 1/4" in thickness.  
For pipes larger than 16", 3/8" or 1/2" thick orifice plates may be used.
- Actual diameter of pressure holes at inner surface of pipe should not exceed:  
1/4" for 2 1/2" pipe and smaller,  
3/8" for 3" pipe,  
1/2" for pipes 4" and over.  
Remove all burrs from inside pipe after drilling for pressure taps.  
On horizontal runs, all taps should be on top of pipe to prevent fouling with dirt and moisture.
- Orifice flanges should be mounted with pipe extending to inner face of flange, allowing smooth full pipe diameters at faces of plate. Flange gaskets should be centered and should be diameter of raised face.

**WARNING:** Situations dangerous to personnel and property may exist with the operation and maintenance of any combustion equipment. The presence of fuels, oxidants, hot and cold combustion products, hot surfaces, electrical power in control and ignition circuits, etc., are inherent with any combustion application. Parts of this product may exceed 160F in operation and present a contact hazard. Fives North American urges compliance with National Safety Standards and insurance Underwriters recommendations, and care in operation.

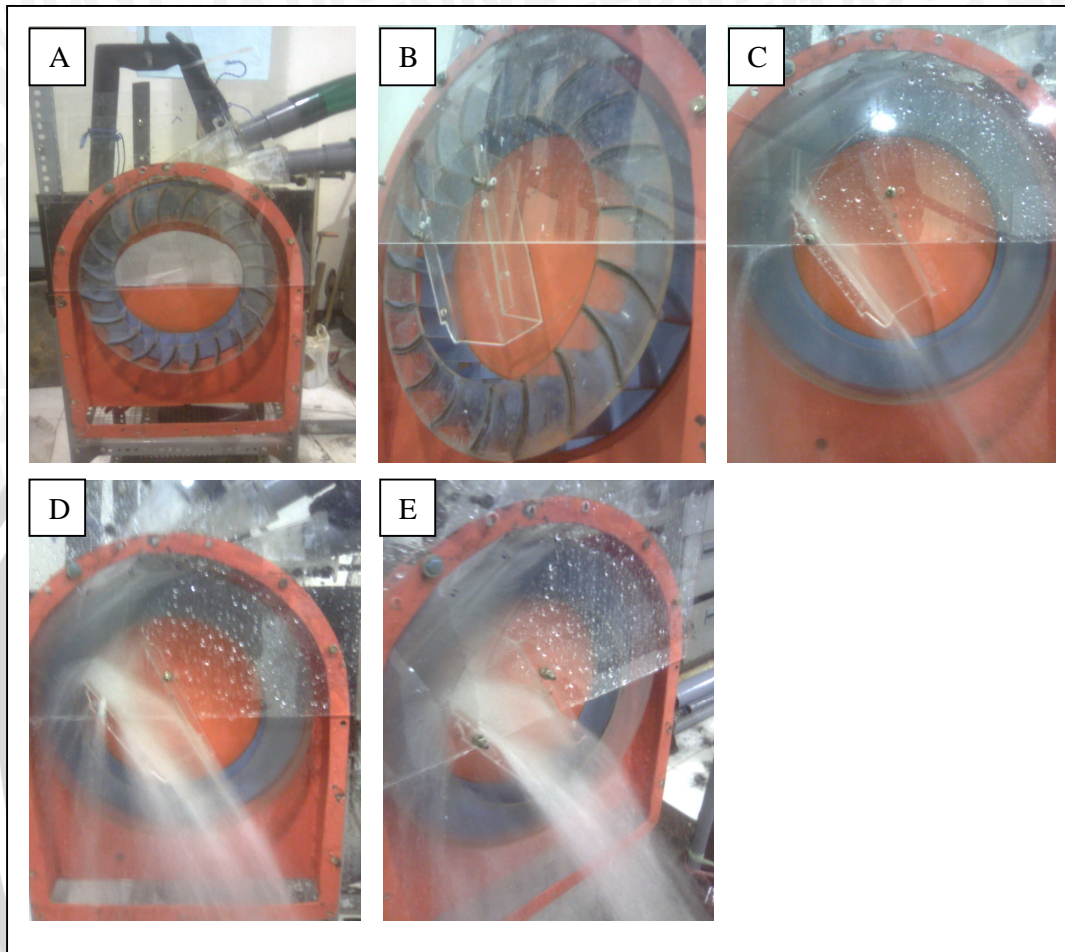
Fives North American Combustion, Inc., 4455 East 71st Street, Cleveland, OH 44105 USA, Phone 216.271.6000  
Fax 216.641.7852 email: fna.sales@fivesgroup.com • www.fivesgroup.com/fivesna

**Lampiran 3.**  
Gambar Alat-Alat Penelitian



Keterangan : Manometer Air Raksa (A); Pompa Sentrifugal (B); *Tachometer* (C); Katup Pengatur Debit (D); Pengukuran Torsi (E); Instalasi Penelitian (F)

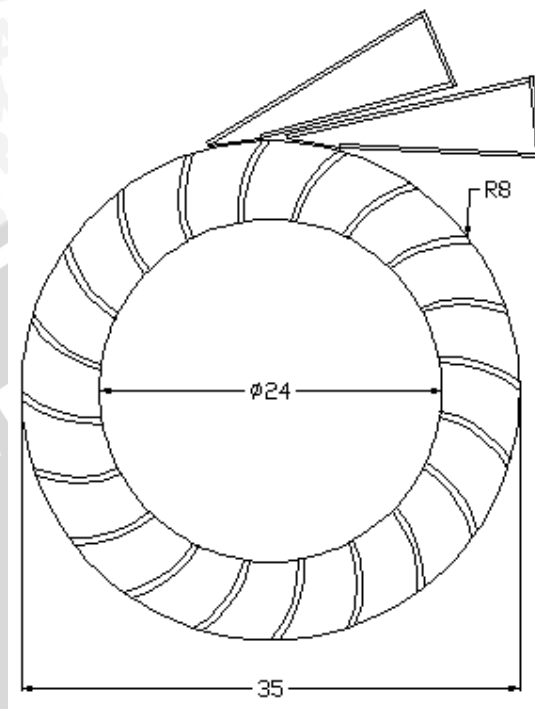
Lampiran 4.  
Gambar Turbin Banki



Keterangan : Turbin Banki 2 Nozzle (A); Guide Tube (B); Turbin Tanpa Pembebanan (C); Turbin dengan Pembebanan (1) (D); Turbin dengan Pembebanan (2) (E)

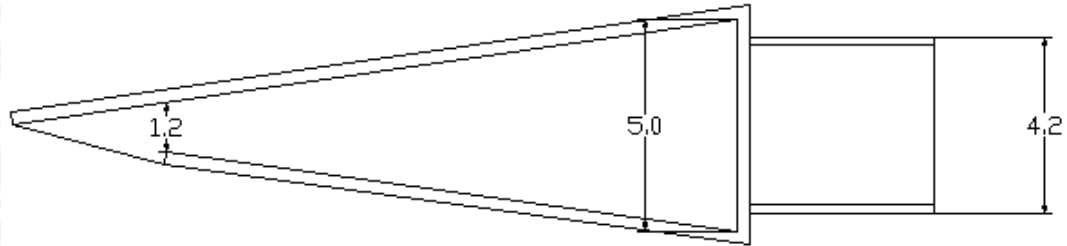
**Lampiran 5.**

## Spesifikasi Turbin Banki



Diameter luar <i>runner</i>	: 35 cm
Diameter dalam <i>runner</i>	: 24 cm
Lebar <i>runner</i>	: 4,6 cm
Jumlah sudu	: 20 buah
Jari-jari sudu	: 8 cm
Jarak antar sudu pada sisi masuk	: 4,87 cm
Jarak antar sudu pada sisi keluar	: 3,34 cm
Putaran kerja	: 80 rpm
Kecepatan spesifik	: 8,0
Jumlah <i>nozzle</i>	: 2 buah

**Lampiran 6.**  
Spesifikasi *Nozzle*



- Diameter saluran masuk : 4,2 cm
- Lebar : 4,6 cm
- Tinggi sisi masuk : 5 cm
- Tinggi sisi keluar : 1,2 cm
- Jet entry angle* ( $\alpha_1$ ) :  $15^\circ$



Lampiran 7.

Tabel Uji Nilai F

Tabel Uji F ( $\alpha$  ;  $v_1$ ;  $v_2$ ) untuk  $\alpha = 0.05$

$v_1 \backslash v_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	30	40	60	120	-
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	244	246	248	250	251	252	253	254
2	18.5	19	19.2	19.2	19.3	19.3	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5
3	10.2	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.7	8.66	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6	5.96	5.91	5.86	5.8	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.5	4.46	4.43	4.4	4.36
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.1	4.06	4	3.94	3.87	3.81	3.77	3.74	3.7	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.38	3.34	3.3	3.27	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.5	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
10	4.96	4.1	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.84	2.77	2.7	2.66	2.62	2.58	2.54
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	30	40	60	120	-
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.2	3.09	3.01	2.95	2.9	2.85	2.79	2.72	2.65	2.57	2.53	2.49	2.45	2.4
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3	2.91	2.85	2.8	2.75	2.69	2.62	2.54	2.47	2.43	2.38	2.34	2.3
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.6	2.53	2.46	2.38	2.34	2.3	2.25	2.21
14	4.6	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.7	2.65	2.6	2.53	2.46	2.39	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15	4.45	3.68	3.29	3.06	2.9	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.4	2.33	2.25	2.2	2.16	2.11	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17	4.45	3.59	3.2	2.96	2.81	2.7	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.15	2.1	2.06	2.01	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.9	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20	4.35	3.49	3.1	2.87	2.71	2.6	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.2	2.12	2.04	1.99	1.95	1.9	1.84
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	30	40	60	120	-
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.6	2.49	2.4	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2	1.92	1.84	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
60	4	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.1	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.55	1.5	1.43	1.35	1.25
-	3.84	3	2.6	2.37	2.21	2.1	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.46	1.39	1.32	1.22	1