

**PENGARUH VARIASI SUDUT *DIFFUSER* TERHADAP *HEAD* DAN
EFISIENSI POMPA SENTRIFUGAL DENGAN MUR PENGUNCI IMPELER
BENTUK TIRUS**

**SKRIPSI
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

**ACHMAD EBI SUHAIBI
NIM. 0510623002-62**

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

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH VARIASI SUDUT *DIFFUSER* TERHADAP *HEAD* DAN
EFISIENSI POMPA SENTRIFUGAL DENGAN MUR PENGUNCI IMPELER
BENTUK TIRUS**

**SKRIPSI
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

ACHMAD EBI SUHAIBI
NIM. 0510623002-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

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

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



LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH VARIASI SUDUT *DIFFUSER* TERHADAP *HEAD* DAN
EFISIENSI POMPA SENTRIFUGAL DENGAN MUR PENGUNCI IMPELER
BENTUK TIRUS**

**SKRIPSI
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun Oleh:
ACHMAD EBI SUHAIBI
NIM. 0510623002-62

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

Skripsi 1

Skripsi 2

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

Sugiarto, ST., MT.
NIP. 19690417 199512 1 001

Komprehensif

Ir. I Made Gunadiarta, MT
NIP. 19461001 197702 1 001

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin

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

KATA PENGANTAR

Tidak ada kata yang lebih indah untuk diucapkan kecuali rasa syukur kepada Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan Bimbingan-Nya dalam setiap detik yang telah berlalu sehingga sekripsi yang berjudul **“Pengaruh Variasi Sudut Diffuser Terhadap Head dan Efisiensi Pompa Sentrifugal Dengan Mur Pengunci Impeler Bentuk Tirus”** dapat terselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dari berbagai pihak, penyusunan sekripsi ini tidak akan tersusun dengan baik. Oleh karena itu, dalam kesempatan kali ini penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Bapak Dr. Anindito Purwowododo, ST, M. Eng. selaku Sekertaris Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Bapak Ir. I Made Gunadiarta, MT. selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Teknik Konversi Energi Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
4. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing I
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko, M. Eng. selaku Dosen Pembimbing II
6. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang bersedia berbagi ilmunya.
7. Kedua orang tua, adik dan seluruh keluarga besarku yang senantiasa memberikan nasehat, motivasi dan doanya selama ini.
8. Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu dalam memberi dukungan demi kelancaran pekerjaan sekripsi ini.

Akhirnya semoga sekripsi ini berguna dan bermanfaat bagi semua. Semoga Allah SWT senantiasa melindungi dan meridhoi setiap langkah dan perbuatan kita.
Amin.

Malang, 10 Agustus 2010

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
RINGKASAN	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Sebelumnya	4
2.2 Pompa.....	4
2.2.1 Klasifikasi Pompa.....	5
2.2.2 Pompa Sentrifugal	6
2.2.3 Segitiga Kecepatan Pada Pompa Sentrifugal	8
2.2.4 Persamaan <i>Euler</i>	9
2.2.5 Bagian-bagian Pompa Sentrifugal.....	10
2.3 Persamaa-persamaan yang Dipakai.....	12
2.3.1 Persamaan Kontinuitas	12
2.3.2 Persamaan <i>Bernoulli</i> untuk Fluida Ideal.....	12
2.3.3 <i>Head</i> Pompa	13
2.3.4 Debit	15
2.3.5 Daya.....	15
2.3.6 Efisiensi.....	16

2.4	<i>Diffuser</i> dan Mur Pengunci Impeler.....	17
2.5	Kavitasi.....	18
2.6	Hipotesa.....	19

BAB III METODOLOGI PENELITIAN..... 20

3.1	Metode Penelitian.....	20
3.2	Variabel Penelitian.....	20
3.3	Tempat dan Waktu Penelitian.....	21
3.4	Alat-alat Penelitian.....	21
3.5	Prosedur Penelitian.....	26
3.6	Analisis Statistik.....	26
3.7	Diagram Alir penelitian.....	27

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN..... 32

4.1	Data Hasil Pengujian.....	32
4.2	Contoh Perhitungan.....	33
4.3	Analisis Statistik.....	35
4.3.1	Contoh Perhitungan Analisis Statistik.....	36
4.3.2	Analisis Statistik untuk <i>Head</i> yang Dihasilkan.....	37
4.3.3	Analisis Statistik untuk Efisiensi yang Dihasilkan.....	38
4.4	Analisis Grafik.....	39
4.4.1	Grafik Hubungan Antara Debit dan Sudut <i>Diffuser</i> Terhadap <i>Head</i>	39
4.4.2	Grafik Hubungan Antara Debit dan Sudut <i>Diffuser</i> Terhadap Efisiensi.....	41



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN..... 43

5.1 Kesimpulan..... 43

5.2 Saran..... 43

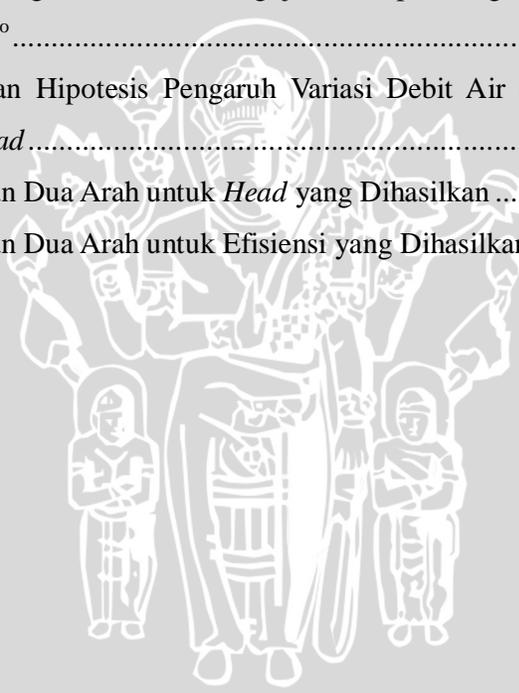
DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 3.1	Rancangan Pengamatan Model Dua Arah Dengan Pengulangan	28
Tabel 3.2	Analisis Varian	30
Tabel 4.1	Tabel Hasil Pengolahan Data Pengujian Pompa Tanpa Modifikasi.....	32
Tabel 4.2	Tabel Hasil Pengolahan Data Pengujian Pompa Dengan Modifikasi Sudut <i>Diffuser</i> 16°	32
Tabel 4.3	Tabel Hasil Pengolahan Data Pengujian Pompa Dengan Modifikasi Sudut <i>Diffuser</i> 16°	32
Tabel 4.4	Tabel Hasil Pengolahan Data Pengujian Pompa Dengan Modifikasi Sudut <i>Diffuser</i> 20°	33
Tabel 4.5	Data Pengujian Hipotesis Pengaruh Variasi Debit Air dan Sudut <i>Diffuser</i> Terhadap <i>Head</i>	36
Tabel 4.6	Analisis Varian Dua Arah untuk <i>Head</i> yang Dihasilkan	37
Tabel 4.7	Analisis Varian Dua Arah untuk Efisiensi yang Dihasilkan	38



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Klasifikasi Pompa	5
Gambar 2.2	Impeler Pompa Sentrifugal: (a) <i>Open Impeller</i> , (b) <i>Enclosed Impeller</i>	6
Gambar 2.3	Pompa Sentrifugal	6
Gambar 2.4	Segitiga Kecepatan Pada Impeler.....	8
Gambar 2.5	Segitiga Kecepatan Masuk dan Keluar Dari Suatu Tingkat Radial	9
Gambar 2.6	Bagian-bagian Pompa Sentrifugal.....	10
Gambar 2.7	Macam <i>Diffuser</i>	17
Gambar 2.8	Mur Pengunci Impeler bentuk tirus.....	18
Gambar 3.1	Instalasi Penelitian.....	22
Gambar 3.2	<i>Pressure Gauge</i>	23
Gambar 3.3	<i>Vacuum Pressure Gauge</i>	23
Gambar 3.4	<i>Gate Valve</i>	23
Gambar 3.5	Pompa Sentrifugal.....	24
Gambar 3.6	Multimeter	24
Gambar 3.7	Amperemeter	25
Gambar 3.8	<i>Diffuser</i>	25
Gambar 3.9	Manometer Raksa.....	25
Gambar 4.1	Grafik Hubungan antara Debit dan Sudut <i>Diffuser</i> Terhadap Head.....	39
Gambar 4.2	Grafik Hubungan antara Debit dan Sudut <i>Diffuser</i> Terhadap Efisiensi .	41



RINGKASAN

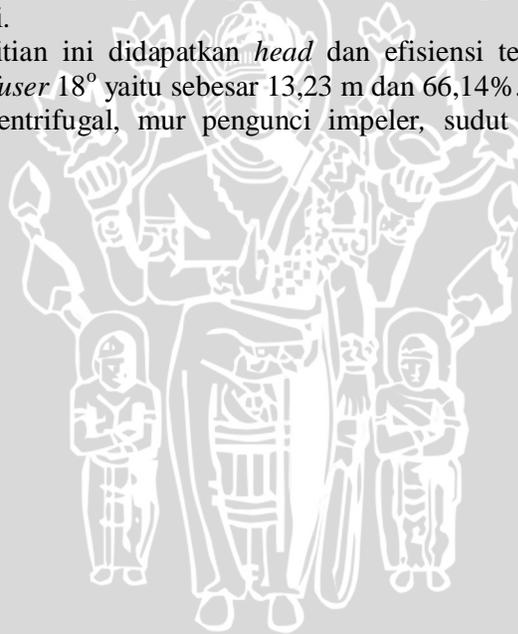
ACHMAD EBI SUHAIBI, Juli 2010, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, *Pengaruh Variasi Sudut Diffuser Terhadap Head dan Efisiensi Pompa Sentrifugal Dengan Mur Pengunci Impeler bentuk tirus*. **Dosen Pembimbing : Slamet Wahyudi dan Rudy soenoko**.

Pompa merupakan mesin konversi energi yang merubah energi mekanis dari penggerak poros menjadi energi potensial tekan. Dewasa ini pompa semakin banyak digunakan seperti dalam bidang industri ataupun untuk penggunaan umum. Pompa pada umumnya mempunyai efisiensi yang rendah karena banyak terjadi *losses* yang disebabkan oleh banyak hal. Oleh karena itu perlu adanya penelitian dan pengembangan lebih lanjut untuk meningkatkan *head* dan efisiensi pompa salah satunya dengan menambahkan *diffuser* pada pompa. Ukuran *diffuser* sangat berpengaruh terhadap *head* dan efisiensi pompa sentrifugal. Untuk itu perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh variasi sudut *diffuser* terhadap *head* dan efisiensi pompa sentrifugal dengan penambahan mur pengunci impeler.

Dalam penelitian ini *diffuser* yang digunakan terbuat dari aluminium dengan variasi sudut 16° , 18° dan 20° . Untuk mengetahui karakteristik pompa sentrifugal tersebut, dilakukan penelitian dengan variabel bebas adalah debit air dan variasi sudut *diffuser*, variabel terkontrol adalah putaran poros sebesar 2850 rpm dan variabel terikat adalah *head* dan efisiensi.

Dari hasil penelitian ini didapatkan *head* dan efisiensi tertinggi terjadi pada pompa dengan sudut *diffuser* 18° yaitu sebesar 13,23 m dan 66,14%.

Kata Kunci: Pompa sentrifugal, mur pengunci impeler, sudut *diffuser*, *head*, dan efisiensi.



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pompa merupakan mesin konversi energi yang dalam proses kerjanya mengubah energi mekanis dari penggerak pompa menjadi energi potensial tekan. Dengan memasang pompa, fluida cair akan mampu dialirkan dari tempat berdataran rendah menuju tempat yang relatif lebih tinggi. Dewasa ini pompa semakin banyak digunakan seperti dalam bidang industri ataupun untuk penggunaan umum. Pemakaian pompa awalnya hanya terbatas pada penyediaan air untuk kebutuhan sehari – hari, tetapi seiring dengan berkembangnya teknologi pompa juga digunakan pada pabrik kimia, pertambangan minyak, perusahaan air bersih dan sektor industri lain.

Pompa sentrifugal merupakan pompa yang daya paling banyak digunakan karena daerah operasinya yang luas, dari tekanan rendah sampai tekanan tinggi dan dari kapasitas rendah sampai kapasitas tinggi. Selain itu pompa sentrifugal juga mempunyai bentuk yang sederhana dan harga yang relatif murah. Pada instalasi pompa sentrifugal sering terjadi kerugian baik itu *major losses* yang disebabkan oleh gesekan dan juga *minor losses* yang disebabkan oleh belokan, perbesaran pipa dan *shock losses*.

Telah banyak dilakukan penelitian-penelitian dengan tujuan untuk mengurangi kerugian tersebut. Termasuk beberapa perusahaan besar dunia telah berhasil meneliti, menemukan dan memproduksi alat-alat yang mampu mengurangi kerugian pada instalasi dan konstruksi pompa sentrifugal.

Cheng, dkk (2002) meneliti penambahan alat berbentuk seperti *diffuser* bertingkat yang ditempatkan pada perbesaran pipa. Alat ini dikenal dengan nama *Large Angle Diffuser* (LAD). Hasil penelitian menunjukkan bahwa LAD dapat menghilangkan terjadinya aliran separasi dan aliran balik pada perbesaran pipa, sehingga turbulensi yang menyebabkan kerugian hidrolis yang besar dapat dihindari. LAD menghilangkan *gradient* kecepatan tinggi pada pusat aliran dan menghasilkan aliran yang lebih merata.

Dengan penggunaan LAD yang ternyata dapat mengurangi kerugian tekanan serta menaikkan efisiensi dan daya output. Penelitian tersebut dilakukan dengan mengurangi kehilangan tekanan sebesar 40 inchi kolom air dimana efisiensi pompa menjadi naik 5% dan daya output naik 6% dari harga normalnya.

Alat berupa *inducer* juga mampu menaikkan *head* total pompa sebesar 5% dari *head* total pompa tanpa modifikasi. *Inducer* adalah semacam spiral terletak di depan

impeler yang menyatu pada poros yang sama dengan impeler itu. Tujuannya adalah untuk menambah tenaga pada pompa dan menaikkan tekanan pada sisi isap ke level tekanan yang diperlukan. *Inducer* juga dapat mengurangi getaran yang terjadi pada pompa.

Brammantlya, dkk (2007) meneliti tentang pengaruh *diffuser* pada flens hisap dan mur pengunci impeler berbentuk tirus terhadap head dan efisiensi pompa sentrifugal. Hasil penelitian modifikasi pompa sentrifugal dengan penambahan *diffuser* dan mur pengunci impeler menunjukkan bahwa pompa modifikasi menghasilkan head total dan efisiensi lebih baik dari pada pompa semula. Pompa sentrifugal tanpa modifikasi mempunyai efisiensi maksimum 39.19%, pompa dengan penambahan *diffuser* berjarak 15 mm mempunyai efisiensi maksimum 40.8%, pompa dengan mur pengunci impeler yang dimodifikasi mempunyai efisiensi maksimum 41.2%, sedang kombinasi keduanya mencapai efisiensi maksimum 42%.

Pada penelitian ini belum diketahui bagaimana pengaruh variasi sudut *diffuser* yang berbeda terhadap *head* dan efisiensi dari pompa. Dengan pertimbangan belum diketahuinya pengaruh tersebut maka penelitian ini perlu dilakukan. Dengan memvariasikan ukuran sudut *diffuser* diharapkan kita akan mendapatkan ukuran *diffuser* yang baik untuk memperoleh efisiensi maksimum.

1.2 Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang masalah diatas maka dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut :

Bagaimana pengaruh variasi sudut *diffuser* terhadap *head* dan efisiensi pompa sentrifugal dengan mur pengunci impeler bentuk tirus?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Fluida kerja yang digunakan sebagai media penelitian adalah fluida *incompressible* yaitu air
2. Pompa yang digunakan adalah pompa sentrifugal.
3. Benda uji berupa *diffuser* dengan variasi sudut 16° ; 18° ; dan 20°
4. Mur pengunci impeler dimodifikasi bentuk tirus dengan ukuran yang telah ditentukan.
5. Putaran pompa yang digunakan sebesar 2850 rpm.
6. Faktor kekasaran dari *diffuser* dan baut pengunci impeler diabaikan.
7. Karakteristik yang dimaksud dalam penelitian ini adalah *head* dan efisiensi

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi sudut *diffuser* terhadap *head* dan efisiensi pompa sentrifugal dengan mur pengunci impeler bentuk tirus.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Mampu mengaplikasikan teori yang telah didapat selama perkuliahan khususnya tentang pompa
2. Mengetahui pengaruh variasi sudut *diffuser* terhadap *head* dan efisiensi pompa sentrifugal mur pengunci impeler bentuk tirus.
3. Memberikan kontribusi bagi perkembangan IPTEK dan dunia industri dalam mendisain pompa sehingga didapatkan pompa dengan performa yang maksimum.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian sebelumnya

Cheng, dkk (2002) meneliti penambahan alat berbentuk seperti *diffuser* bertingkat yang ditempatkan pada perbesaran pipa. Alat ini dikenal dengan nama *Large Angle Diffuser* (LAD). Hasil penelitian menunjukkan bahwa LAD dapat menghilangkan terjadinya aliran separasi dan aliran balik pada perbesaran pipa, sehingga turbulensi yang menyebabkan kerugian hidrolis yang besar dapat dihindari. Dengan penambahan LAD ternyata dapat mengurangi kerugian tekanan serta menaikkan efisiensi dan daya output. Penelitian tersebut dilakukan dengan mengurangi kehilangan tekanan sebesar 40 inchi kolom air dimana efisiensi menjadi naik 5% dan daya output naik 6% dari harga normalnya.

Brammantya, dkk (2007) meneliti tentang pengaruh penambahn *diffuser* pada *flens* hisap dan mur pengunci impeler berbentuk tirus terhadap *head* dan efisiensi pompa sentrifugal. Pada penelitian ini *diffuser* yang digunakan adalah jenis *stepped diffuser* dengan memiliki sudut 18°. Hasil penelitian modifikasi pompa sentrifugal dengan penambahan *diffuser* dan mur pengunci impeller menunjukkan bahwa pompa modifikasi menghasilkan *head* total dan efisiensi lebih tinggi dari pada pompa semula. Pompa sentrifugal tanpa modifikasi mempunyai efisiensi maksimum 39.19%, pompa dengan penambahan *diffuser* mempunyai efisiensi maksimum 40.8%, pompa dengan mur pengunci impeler yang dimodifikasi mempunyai efisiensi maksimum 41.2%, sedang kombinasi keduanya mencapai efisiensi maksimum 42%.

2.2 Pompa

Pompa adalah suatu mesin konversi energi yang digunakan untuk memindahkan fluida cair dari suatu tempat ke tempat lain.

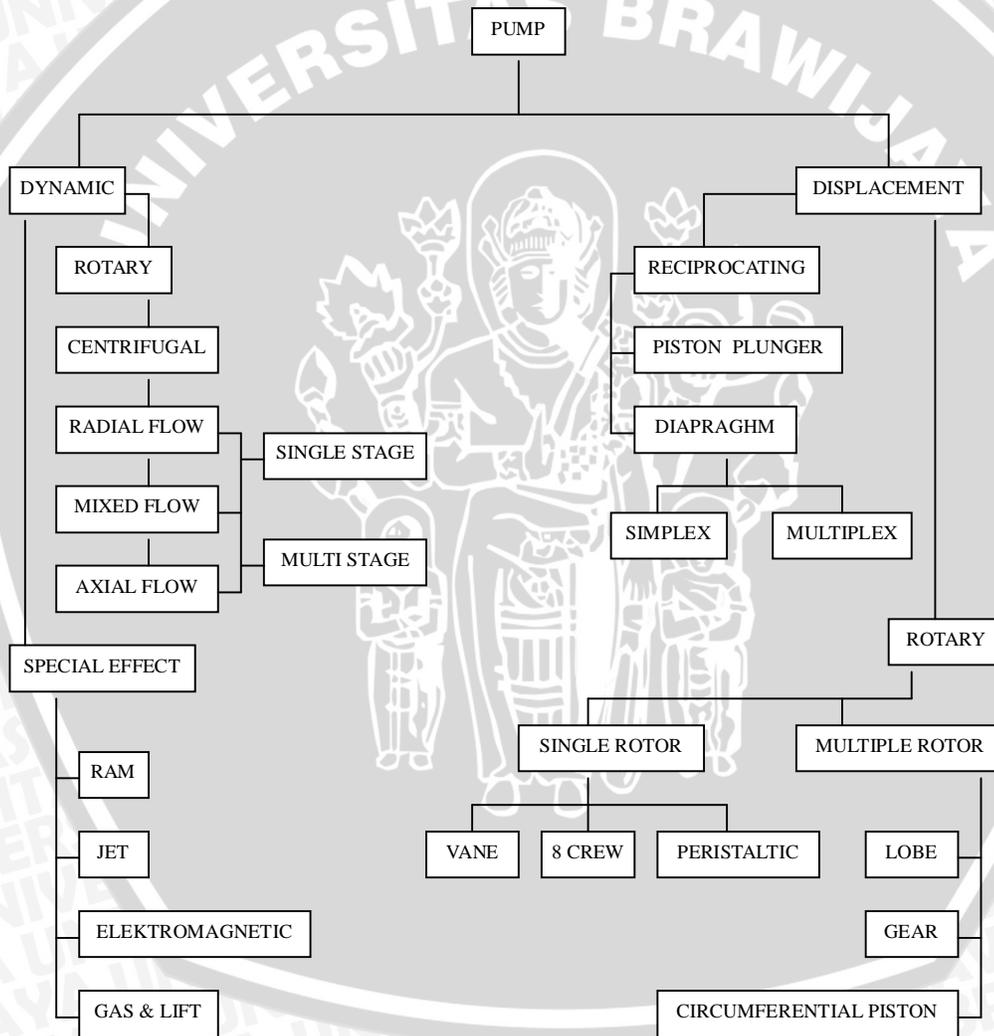
Pada dasarnya pompa bekerja menimbulkan perbedaan tekanan antara bagian hisap (*suction*) dan bagian tekan (*discharge*). Pompa di dalam kerjanya akan mentransfer energi mekanis berupa putaran poros pompa dari sumber energi listrik ke cairan yang melaluinya berupa energi potensial *head*, dimana energi tersebut akan digunakan untuk mengalirkan fluida dari permukaan yang rendah ke permukaan yang lebih tinggi atau mengalirkan fluida dari tempat yang bertekanan rendah ke tempat yang bertekanan lebih tinggi.

2.2.1 Klasifikasi Pompa

Secara garis besar pompa diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu

1. Pompa *positive displacement* (pompa volumetrik). Pompa dinamik dikenal juga sebagai pompa *rotodynamic*. Pompa volumetrik dibagi lagi menjadi dua jenis yaitu pompa *rotary* dan *reciprocating*.
2. Pompa dinamik. Pengelompokan pompa dinamik dilakukan berdasarkan arah aliran fluida di dalam mesin. Pompa dinamik dapat dikelompokkan menjadi pompa sentrifugal, pompa aksial, dan pompa aliran campuran.

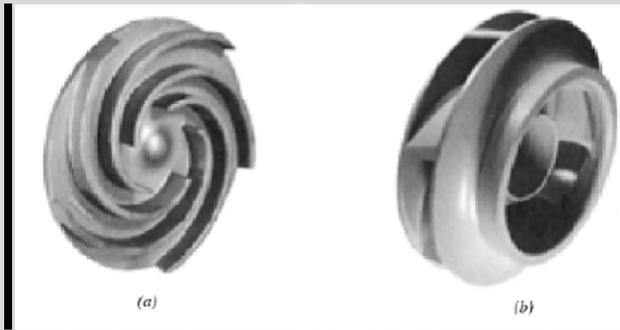
Pembagian jenis pompa secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar 2.1



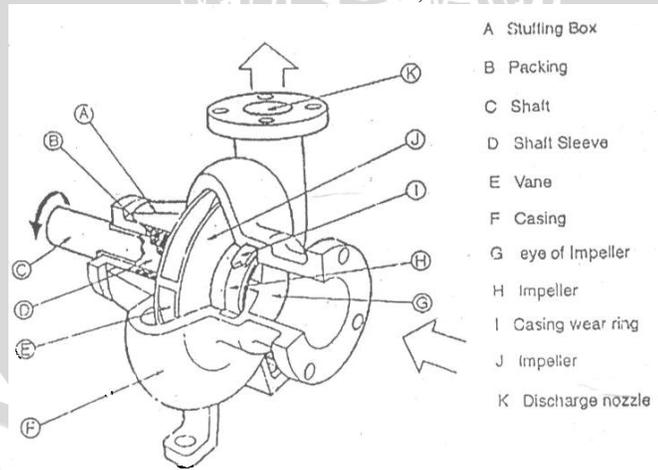
Gambar 2.1 Klasifikasi Pompa
 Sumber: Karassik, 2001:13

2.2.2 Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal merupakan pompa yang paling banyak digunakan karena daerah operasinya yang luas, dari tekanan rendah sampai tekanan tinggi dan dari kapasitas rendah sampai kapasitas tinggi. Selain itu pompa sentrifugal juga mempunyai bentuk yang sederhana dan harga yang relatif murah. Pompa sentrifugal, seperti yang terlihat dalam gambar 2.3, mempunyai sebuah impeller (sudu) untuk mengangkat zat cair dari suatu tempat ke tempat lainnya. Pada umumnya impeler dibedakan menjadi dua tipe, terbuka (*open impeller*) dan tertutup (*enclosed* atau *shrouded impeller*). Tipe impeler terbuka mempunyai konfigurasi sudu-sudu yang disusun pada hub terbuka satu sama lain sedangkan pada impeler tertutup, sudu-sudu ditutupi oleh hub dan ujung *shroud* seperti ditunjukkan pada gambar 2.2



Gambar 2.2 Impeler Pompa sentrifugal: (a) *open impeller*, (b) *enclosed impeller*
 Sumber : Sularso, 1987: 115



Gambar 2.3 Pompa sentrifugal
 Sumber: Dietzel, 1996:244

Pompa Sentrifugal dapat diklasifikasikan, berdasarkan :

1. Kapasitas :

- Kapasitas rendah : $< 20 \text{ m}^3 / \text{jam}$
- Kapasitas menengah : $20 - 60 \text{ m}^3 / \text{jam}$
- Kapasitas tinggi : $> 60 \text{ m}^3 / \text{jam}$

2. Tekanan Discharge :

- Tekanan Rendah : $< 5 \text{ Kg} / \text{cm}^2$
- Tekanan menengah : $5 - 50 \text{ Kg} / \text{cm}^2$
- Tekanan tinggi : $> 50 \text{ Kg} / \text{cm}^2$

3. Jumlah / Susunan Impeller dan Tingkat :

- *Single stage* : Terdiri dari satu impeler dan satu casing
- *Multi stage* : Terdiri dari beberapa impeler yang tersusun seri dalam satu casing.
- *Multi Impeller* : Terdiri dari beberapa impeler yang tersusun paralel dalam satu casing.
- *Multi Impeller & Multi stage* : Kombinasi *multi impeler* dan *multi stage*.

4. Posisi Poros :

- Poros tegak
- Poros mendatar

5. Jumlah Suction :

- *Single Suction*
- *Double Suction*

6. Arah aliran keluar impeller :

- *Radial flow*
- *Axial flow*
- *Mixed flow*

Prinsip kerja pompa sentrifugal yaitu daya dari luar diberikan kepada poros pompa untuk memutar impeler di dalam casing. Maka zat cair yang berada di dalam impeler oleh dorongan sudu-sudu ikut berputar. Karena timbul gaya sentrifugal maka zat cair mengalir dari tengah impeler ke luar melalui saluran diantara sudu-sudu. Disini head tekanan zat cair menjadi lebih tinggi, demikian pula head kecepatannya bertambah besar karena zat cair mengalami percepatan. Zat cair yang keluar dari impeler ditampung oleh saluran berbentuk *volute* disekeliling impeler dan disalurkan ke luar

pompa melalui nosel. Di dalam nosel ini sebagian *head* kecepatan aliran diubah menjadi *head* tekanan.

Jadi impeler pompa berfungsi memberikan kerja kepada zat cair sehingga energi yang dikandungnya menjadi bertambah besar. Selisih energi persatuan berat atau *head* total zat cair antara *flens* hisap dan *flens* keluar pompa disebut head total pompa.

Dari uraian di atas jelas bahwa pompa sentrifugal dapat mengubah energi mekanik dalam bentuk kerja poros menjadi energi fluida. Energi inilah yang mengakibatkan pertambahan *head* tekanan, *head* kecepatan, dan *head* potensial pada zat cair yang mengalir secara kontinyu.

2.2.3 Segitiga Kecepatan Pompa Sentrifugal

Segitiga kecepatan merupakan segitiga yang dibentuk oleh kecepatan absolut cairan, kecepatan relatif cairan terhadap impeler dan kecepatan keliling impeler.

$$\vec{C} = \vec{W} + \vec{U} \quad \text{(Stepanoff, 1957:29) (2.1)}$$

$$\vec{U} = \frac{\pi D n}{60} \quad \text{(Stepanoff, 1957:29) (2.2)}$$

dengan:

\vec{C} = kecepatan absolut cairan

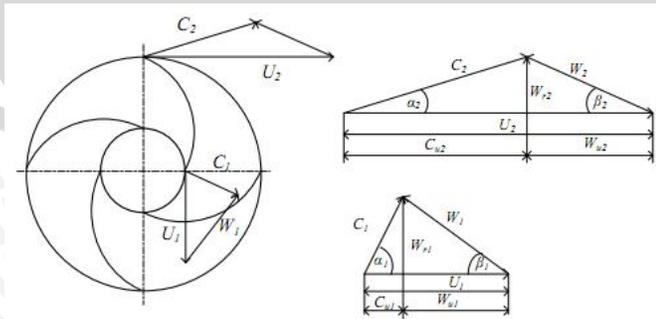
\vec{W} = kecepatan relatif cairan terhadap impeler

\vec{U} = kecepatan keliling impeler

D = diameter impeler

n = putaran impeler

Segitiga kecepatan pada sisi masuk dan keluar impeler disajikan pada gambar 2.4 pada kondisi rancangan (terbaik) kecepatan relatif cairan terhadap impeler sedemikian rupa sehingga arah menyusur impeler sehingga tidak ada tumbukan.

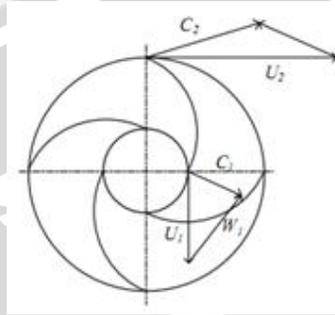


Gambar 2.4 Segitiga kecepatan pada impeler

Sumber: Stepanoff, 1957:30

2.2.4 Persamaan Euler

Perpindahan energi di dalam sudu jalan adalah dari momen puntir yang bekerja pada poros diteruskan sedemikian rupa oleh sudu jalan sehingga menimbulkan kecepatan absolut fluida c_2 dan c_1 dengan komponen tangensial c_{2u} dan c_{1u} (sudu-sudu roda jalan bekerja sebagai tuas untuk meneruskan momen puntir poros dan menimbulkan arus kecepatan fluida) seperti pada gambar 2.5



Gambar 2.5 segitiga kecepatan masuk dan keluar dari suatu tingkat radial.

Sumber : Dietzel, 241:1990

Menurut kaidah impuls, pada umumnya momen puntir diantara sisi bagian keluar dan sisi bagian masuk.

$$M = m \cdot r \cdot d_{cu} / d_t \quad (\text{Dietzel, 1990:241}) \quad (2.3)$$

Dengan : m = massa fluida
 r = panjang tuas yang bekerja
 d_{cu} / d_t = besarnya perubahan yang kecil

Langkah-demi langkah pada waktu melalui roda jalan, dimana :

$$M = \frac{m}{t} \cdot (r_2 \cdot c_{u2} - r_1 \cdot c_{u1}) \quad (\text{Dietzel, 1990:241}) \quad (2.4)$$

$$M = \dot{m} \cdot (r_2 \cdot c_{u2} - r_1 \cdot c_{u1}) \quad (\text{Dietzel, 1990:241}) \quad (2.5)$$

Momen puntir ini akan mendapatkan daya dan atau sesuai dengan daya yang diberikan poros $P = M \cdot \omega$ dimana ω adalah kecepatan sudut, dari sini

$$P = \dot{m} \cdot (r_2 \cdot \omega \cdot c_{u2} - r_1 \cdot \omega \cdot c_{u1}) \quad (\text{Dietzel, 1990:241}) \quad (2.6)$$

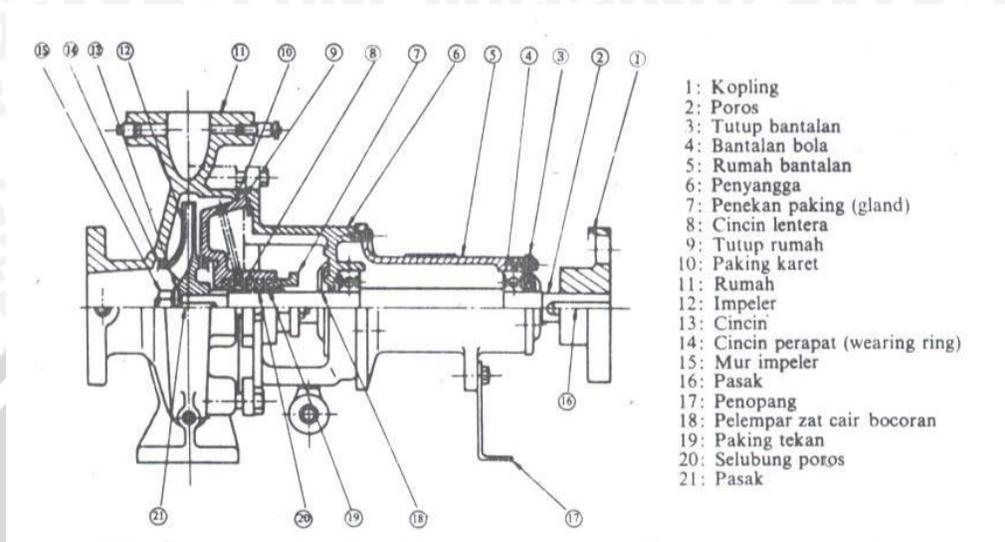
Dan dengan $r \cdot \omega = u$ =keliling, persamaan diatas disederhanakan ke persamaan utama Euler

$$\frac{P}{\dot{m}} = (r_2 \cdot \omega \cdot c_{u2} - r_1 \cdot \omega \cdot c_{u1}) = Y \quad (\text{Dietzel, 1990:241}) \quad (2.7)$$

Y = kerja spesifik

Kerja spesifik Y dalam satuan SI adalah kerja mekanis dari poros yang dipindahkan ke cairan, kerja tersebut menarik dan memompa massa cairan.

2.2.5 Bagian-bagian pompa sentrifugal



Gambar 2.6 Bagian-bagian pompa sentrifugal

Sumber : Sularso, 1983:75

Bagian-bagian pompa sentrifugal seperti pada gambar 2.6, terdiri dari bagian yang bergerak dan bagian-bagian yang tak bergerak :

Bagian yang bergerak terdiri dari :

1. *Shaft* (poros)

Shaft berfungsi untuk meneruskan momen puntir dari penggerak selama pompa beroperasi, dan merupakan tempat kedudukan impeler dan bagian yang berputar lainnya.

2. *Shaft sleeve* (selongsong poros)

Shaft sleeve berfungsi untuk melindungi *shaft* dari erosi, korosi dan keausan khususnya bila poros itu melewati *stuffing box*.

3. Impeler

Impeler berfungsi untuk mengubah energi mekanis dari pompa menjadi energi kecepatan pada cairan yang di pompakan secara kontinyu, sehingga cairan pada sisi hisap secara terus menerus pula akan mengisi kekosongan akibat perpindahan dari cairan sebelumnya.

4. *Wearing ring* (cincin penahan aus)

Adalah ring yang dipasang pada casing (tidak berputar) sebagai *wearing ring* casing dan dipasang pada impeler (berputar) sebagai *wearing ring impeller*. Fungsi utama *wearing ring* adalah untuk memperkecil kebocoran cairan dari impeler yang masuk kembali ke bagian *eye of impeller*.

Bagian-bagian yang tidak bergerak antara lain :

1. *Base Plate*

Berfungsi untuk mendukung seluruh bagian pompa dan tempat kedudukan pompa terhadap pondasi.

2. *Casing* (rumah pompa)

Casing adalah bagian terluar dari sebuah rumah pompa yang berfungsi sebagai :

- Pelindung semua elemen yang berputar
- Tempat kedudukan *inlet* dan *outlet nozzle*.
- Tempat yang memberikan arah aliran dari impeler
- Tempat mengkonversikan energi kinetik menjadi energi tekan (untuk rumah pompa keong atau *volute*)

3. *Diffuser guide vane*

Bagian ini biasanya menjadi satu kesatuan dengan casing atau dipasang pada casing dengan cara dibaut. Bagian ini berfungsi untuk :

- mengarahkan aliran fluida menuju *volute* (untuk *single stage*) atau menuju *stage* berikutnya (untuk *multi stage*)
- merubah energi kinetik fluida menjadi energi tekanan

4. *Stuffing box*

Fungsi utama *stuffing box* adalah untuk mencegah terjadinya kebocoran pada daerah dimana pompa menembus casing. Jika pompa bekerja dengan *suction lift* dan tekanan pada ujung *stuffing box* lebih rendah dari tekanan atmosfer, maka *stuffing box* berfungsi untuk mencegah kebocoran udara masuk kedalam pompa. Dan bila tekanan lebih besar daripada tekanan atmosfer, maka berfungsi untuk mencegah kebocoran cairan keluar pompa.

Secara umum *stuffing box* berbentuk silindris sebagai tempat kedudukan beberapa *mechanical packing* yang mengelilingi *shaft sleeve*. Untuk menekan

packing digunakan gland packing yang dapat diatur posisinya ke arah aksial dengan cara mengencangkan atau mengendorkan baut pengikat.

5. *Discharge* nosel

Adalah saluran cairan keluar dari pompa dan berfungsi juga untuk meningkatkan energi tekanan keluar pompa

2.3 Persamaan-persamaan yang dipakai

2.3.1 Persamaan kontinuitas

Setelah tercapai kondisi-kondisi yang steady, berat fluida persatuan waktu yang mengalir pada sembarang titik adalah konstan. berat fluida persatuan waktu adalah sama dengan γAV dimana V adalah kecepatan rata-rata pada penampang tersebut, A luas penampang dan γ adalah bobot per satuan volume atau berat spesifik. Untuk sebarang penampang a dan b $\gamma_a A_a V_a = \gamma_b A_b V_b$, atau untuk setiap penampang.



$\gamma AV = \text{konstan}$ (Church, 1993:9) (2.8)

ini dikenal sebagai persamaan kontinuitas dan ini sangat penting dalam perhitungan-perhitungan aliran fluida.

Untuk cairan-cairan seperti ini, γ ini secara praktis adalah konstan, dan persamaan diatas menjadi

$Q = AV$ (Church, 1993:9) (2.9)

Dimana Q adalah jumlah fluida yang mengalir per satuan waktu. Jadi, begitu luas penampang mengecil secara perlahan-lahan kecepatannya akan bertambah besar, dan sebaliknya.

2.3.2 Persamaan Bernoulli untuk 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.

$W = m.g.z + m.\frac{p}{\rho} + m.\frac{c^2}{2} = C$ (Dietzel,1996:4) (2.10)

dengan:

W	= energi total (N/m)
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 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.

$$w = g.z + \frac{p}{\rho} + \frac{c^2}{2} = C \quad (\text{Dietzel, 1996:4}) \quad (2.11)$$

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

$$H = z + \frac{p}{\rho.g} + \frac{c^2}{2g} = C \quad (\text{Dietzel, 1996:4}) \quad (2.12)$$

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.

2.3.3 Head Pompa

Head pompa merupakan *head* yang dihasilkan pompa pada putaran dan debit tertentu. *Head* ini merupakan *head* aktual pompa. Secara teoritis *head* pompa dapat dirumuskan:

$$H_{pump} = H_{tz} - \Sigma h_{pump} \quad (\text{Nekrasov, 1967: 193}) \quad (2.13)$$

dengan: H_{pump} = *head* aktual

H_{tz} = *head* teoritis pompa

Σh_{pump} = kerugian *head* total di dalam pompa (mulai dari lubang masuk, di dalam impeler dan *volute*)

Kerugian *head* total di dalam pompa (Σh_{pump}) disebut juga kerugian hidrolis yang terdiri dari:

1. *Ordinary hydraulic losses*, yaitu kerugian akibat gesekan fluida dan sebagian akibat terjadinya pusaran di dalam pompa. Umumnya, aliran dalam pompa sentrifugal adalah turbulen, losses ini meningkat sebanding dengan kuadrat dari keluaran pompa (*discharge*) yang bisa dinyatakan dengan rumus:

$$h_1 = k_1 Q^2 \quad (\text{Nekrasov, 1967: 193}) \quad (2.14)$$

dengan: k_1 = konstanta yang tergantung pada efisiensi hidrolis dan dimensi pompa.

Q = Debit fluida yang melalui katub *discharge*

2. *Shock losses* yang terjadi pada jalan masuk impeler dan *volute*. *Shock losses* pada impeler akan sama dengan nol apabila fluida masuk ke sudu impeler secara *smooth* (halus) tanpa adanya pusaran atau *shok*, yakni jika kecepatan relatif fluida selalu berarah tangensial terhadap permukaan sudu. Namun hal ini hanya mungkin terjadi pada debit tertentu (Q_o) dan kecepatan masuk radial tertentu.

Fluida yang masuk impeler akan menumbuk (*impact*) sudu impeler sehingga akan terjadi *shock* dan pusaran, jadi energi hilang karena hal ini. Dianggap *shock losses* bervariasi sebagai kuadrat dari selisih debit yang sebenarnya (Q) dan debit jika *shock losses* sama dengan nol, yaitu

$$h_2 = k_2 (Q - Q_o)^2 \quad (\text{Nekrasov, 1967: 194}) \quad (2.15)$$

Shock losses pada *volute* sama keadaannya dengan sisi masuk impeler, jadi rumus diatas sudah termasuk kerugian ini.

Total kerugian head didalam pompa adalah penjumlahan dari kedua *looses* yang telah disebutkan, yakni:

$$\Sigma h_{pump} = h_1 + h_2 \quad (\text{Nekrasov, 1967: 194}) \quad (2.16)$$

Namun untuk menghitung *head* pompa dengan cara diatas akan mengalami kesulitan diantaranya penempatan instrumen ukur dan menentukan konstanta. Maka untuk menghitung *head* dapat diketahui dengan mengukur tekanan pada sisi masuk dan buang pompa (*suction & discharge*) dan mengetahui berat jenis fluida yang dipompakan. Hal ini dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$H = \frac{P_d - P_s}{\gamma} \quad (2.17)$$

dengan: P_d = tekanan pada sisi buang (kgf/m²)

P_s = tekanan pada sisi masuk (kgf/m²)

γ = berat jenis fluida (kgf/m³)

2.3.4 Debit

Debit atau kapasitas adalah banyaknya fluida yang mengalir tiap satu-satuan waktu. Kapasitas tergantung pada sejumlah faktor seperti:

1. densitas dan viskositas dari fluida yang dipompa
2. ukuran *inlet* dan *outlet*
3. ukuran impeler
4. kecepatan putar impeler

Debit dapat dihitung menggunakan menggunakan rumus:

$$Q = VA \quad (\text{Church, 1993:9}) \quad (2.18)$$

dengan: Q = debit fluida (m³/s)

V = kecepatan aliran fluida (m/s)

A = luas penampang pipa (m²)

2.3.5 Daya

Dalam mesin konversi energi dikenal dua definisi daya yaitu daya fluida dan daya poros. Daya fluida adalah besarnya energi per satuan waktu yang dimiliki fluida, sedangkan daya poros adalah besaran energi persatuan waktu untuk memutar poros.

Daya fluida dinyatakan dengan rumus:

$$WHP = \rho gQH \text{ atau } WHP = \dot{m}Y \quad (2.19)$$

dengan : WHP = Daya fluida

ρ = massa jenis fluida (kg/m³)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

Q = debit pompa (m³/s)

H = head (m)

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

Y = energi spesifik fluida (m.m/s²)

Daya listrik yang digunakan untuk mengoperasikan pompa, dimana daya ini digunakan untuk mengerakkan poros pompa. Daya listrik dapat dicari dengan rumus:

$$P = V \cdot I \quad (2.20)$$

dengan: P = Daya listrik

V = Tegangan listrik

I = Arus listrik

2.5.6 Efisiensi

Untuk menghitung efisiensi dari pompa kita harus meninjau kerugian energi yang ada pada pompa. Kerugian energi pada pompa diambil dari keseluruhan *losses* yang dinyatakan dalam efisiensi, yaitu:

1. *Hydraulic losses*, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, maka kita dapat menentukan efisiensi hidrolis, yaitu

$$\eta_h = \frac{H_{pump}}{H_{tz}} = \frac{H_{tz} - \sum h_{pump}}{H_{tz}} \quad (\text{Nekrasov, 1967: 196}) \quad (2.21)$$

2. *Volumetric losses*, yang diakibatkan kebocoran melalui celah antara *impeller* dan *casing*. Impeler mengalirkan fluida dari *suction* ke *discharge*, tetapi akibat *pressure drop* sebagian kecil fluida mengalir ke celah antara impeler dan *casing*. Debit yang melalui impeler akan sama dengan persamaan 2.13:

$$Q' = Q + q \quad (\text{Nekrasov, 1967: 196}) \quad (2.22)$$

dengan: q = kebocoran dalam pipa

Kerugian energi *volumetrik* akan dinilai dan dinyatakan dengan efisiensi *volumetrik*

$$\eta_v = \frac{Q}{Q + q} = \frac{Q}{Q'} \quad (\text{Nekrasov, 1967: 196}) \quad (2.23)$$

3. *Mechanical losses*, yakni kehilangan energi akibat gesekan pada *bearing* dan *packing* dan juga gesekan permukaan fluida pada impeler, dapat dinyatakan dengan persamaan

$$\eta_m = \frac{N_o - N_m}{N_o} \quad (\text{Nekrasov, 1967: 196}) \quad (2.24)$$

dengan: N_m =kerugian tenaga akibat gesekan

N_o = shaft horsepower

Pembilang dari rumus diatas merupakan *hydraulic horsepower* yang dinyatakan dalam rumus

$$N_h = N_o - N_m = \frac{1}{75}(Q + q)\gamma H_{tz} \quad (\text{Nekrasov, 1967: 196}) \quad (2.25)$$

Dengan memperlihatkan keseluruhan efisiensi dari pompa sebagai perbandingan antara *water horsepower* dengan *shaft horsepower*:

$$\eta = \frac{QH_{pump}}{75N_o} \quad (\text{Nekrasov, 1967: 197}) \quad (2.26)$$

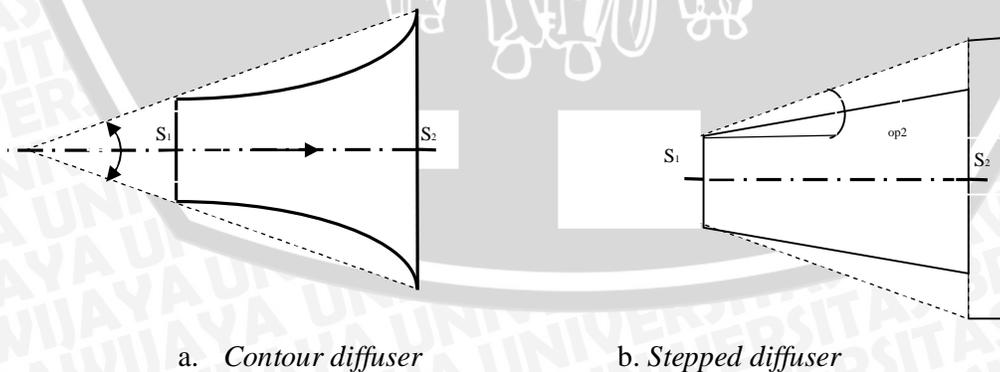
dan mengalikan pembilang dengan N_h dan penyebut dengan jumlah yang sama maka dengan mengatur persamaan didapatkan:

$$\eta = \frac{H_{pump}}{H_{tz}} \frac{Q}{Q + q} \frac{N_h}{N_o} = \eta_h \eta_v \eta_m \quad (\text{Nekrasov, 1967: 197}) \quad (2.27)$$

dimana keseluruhan efisiensi dari pompa adalah sama dengan hasil dari efisiensi hidrolis, *volumetris* dan mekanis.

2.4 Diffuser dan mur pengunci impeler

Diffuser merupakan suatu alat yang dapat memperbesar tekanan suatu fluida, dengan cara memperkecil kecepatan fluida tersebut. Energi kinetik dari partikel-partikel fluida digunakan untuk meningkatkan tekanan fluida tersebut. Macam-macam *diffuser* dapat dilihat pada gambar 2.7.

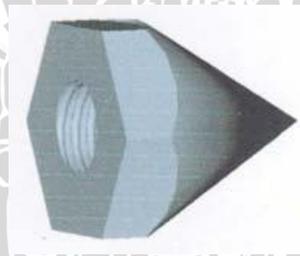


Gambar 2.7 Macam Diffuser
Sumber : Nekrasov , 1967:111

Untuk *stepped diffuser* dalam penentuan geometrinya berdasarkan pada sudut *diffuser* tersebut. Sedangkan untuk *contour diffuser* penentuan geometrinya berdasarkan pada radius yang membentuk dinding *diffuser* tersebut.

Semakin besar perubahan luas permukaan gesek, maka semakin besar perubahan arah aliran fluida yang mengalir didalamnya. Semakin besar perubahan arah aliran maka semakin besar tumbukan antar partikel yang terjadi. Jumlah tumbukan antar partikel fluida inilah yang menyebabkan terjadinya turbulensi yang menyebabkan *losses*. Aliran turbulensi dapat dibuktikan dengan bilangan *Reynolds*.

Mur pengunci impeler adalah suatu alat pada pompa sentrifugal yang terletak di depan impeler yang menyatu pada poros yang sama dengan impeler itu. Tujuannya adalah agar fluida yang masuk ke sudu-sudu impeler secara *smooth* tanpa terjadi *eddy*. Dengan mur pengunci ini fluida yang semula ketika masuk ke sudu-sudu impeler terjadi perubahan arah aliran secara tiba-tiba yang mengakibatkan *losses* yang besar dapat dikurangi, karena dengan penambahan mur pengunci tersebut fluida yang masuk ke sudu-sudu perubahan arah alirannya secara perlahan-lahan sehingga alirannya menjadi lebih halus akibatnya *losses* akibat *shock* dapat dikurangi. Yang pada akhirnya akan meningkatkan performa dari pompa sentrifugal. Mur pengunci impeler modifikasi dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Mur Pengunci Impeler bentuk tirus
Sumber : Brammantya, 2007:2

2.5 Kavitas

Bila tekanan pada sembarang titik didalam pompa turun menjadi lebih rendah dari tekanan uap pada temperatur cairannya, maka cairan itu akan menguap dan membentuk suatu rongga uap. Gelembung-gelembung akan mengalir bersama-sama dengan aliran sampai pada daerah yang mempunyai tekanan yang lebih tinggi dicapai dimana gelembung-gelembung itu akan mengecil lagi secara tiba-tiba (*implode* pecah

ke arah dalam) yang akan mengakibatkan suatu *shock* yang besar pada dinding yang didekatnya. Fenomena ini disebut dengan kavitasi.

Masuknya cairan secara tiba-tiba ke dalam ruangan yang terjadi akibat pengecilan gelembung-gelembung uap tadi akan menyebabkan kerusakan-kerusakan mekanis, yang kadang-kadang dapat menyebabkan terjadinya lubang-lubang yang dapat disebut dengan erosi. Reaksi kimia antara gas-gas dan logam juga dapat terjadi, dan akan menyebabkan korosi dan penambahan kerusakan pada logam. Sifat-sifat lain yang tidak diinginkan adalah suara-suara yang terjadi akibat kavitasi, yang bervariasi untuk masing-masing unit yang dapat bersifat gelotak-gelotak sampai-sampai berupa bunyi ketukan yang kuat dan akan mengakibatkan getaran yang kuat pada unit-unit itu. Energi yang dibutuhkan untuk melakukan percepatan pada air untuk mendapatkan kecepatan yang tinggi dalam pengisian yang tiba-tiba dari ruangan kosong itu adalah merupakan kerugian, dan dengan demikian kavitasi selalu diikuti oleh penurunan efisiensi. Air pada temperatur 70°F akan membesar volumenya sebanyak 54.000 kali bila terjadi penguapan. Akibatnya tidaklah mengherankan bahwa pompa yang dalam operasinya mengalami kavitasi akan menyebabkan penurunan pada kapasitasnya.

Kavitasi terutama akan terjadi pada bagian sisi masuk sudu *impeller* pompa, baik pada sudu-sudu maupun pada dinding-dinding samping. Erosi dan keausan yang disebabkan oleh kavitasi tidak akan terjadi pada titik-titik yang mempunyai tekanan terendah dimana kantong-kantongan udara dibentuk, tetapi akan lebih terjadi di hulu pada mana terjadi pengecilan gelembung (*implosion*)

Untuk mengatasi kavitasi diperkenalkan konsep NPSH (*Net Positive Suction Head*). NPSH ada dua yaitu $\text{NPSH}_{\text{available}}$ dan $\text{NPSH}_{\text{required}}$. $\text{NPSH}_{\text{available}}$ memiliki harga yang dipengaruhi oleh instalasi pemompaan atau perancangan sistem. Adapun yang mempengaruhi hal tersebut adalah ketinggian pompa yang dipasang dan *head loss*. Sementara untuk $\text{NPSH}_{\text{required}}$ mempunyai nilai yang dipengaruhi oleh spesifikasi dari pabrik yang memproduksi. Untuk mengatasi kavitasi maka syarat yang harus dipenuhi adalah $\text{NPSH}_{\text{available}}$ harus lebih besar daripada $\text{NPSH}_{\text{required}}$.

2.6 Hipotesa

Dengan semakin besarnya sudut *diffuser* pada sisi hisap pompa akan meningkatkan tekanan fluida yang masuk pada impeller sehingga *head* pompa akan meningkat dan mengakibatkan efisiensi pompa akan meningkat.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian eksperimental nyata (*true experimental research*). Jenis penelitian ini digunakan untuk menguji pengaruh dari suatu atau desain baru terhadap suatu proses atau peristiwa dengan perlakuan dan tanpa perlakuan. Dengan metode ini akan di uji pengaruh variasi sudut *diffuser* terhadap *head* dan efisiensi pompa sentrifugal dengan mur pengunci impeller bentuk tirus. Untuk menambah informasi yang diperlukan, dilakukan kajian literatur dari berbagai sumber baik dari buku maupun jurnal-jurnal yang ada.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini ada tiga macam yaitu:

1. Variabel bebas (*independent variable*)

Variabel bebas adalah variabel yang bebas ditentukan nilainya oleh peneliti sebelum melakukan penelitian. Dalam penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah:

- Debit air yang digunakan: 2,67 (m³/s); 7,17 (m³/s); 8,90 (m³/s); 9,71 (m³/s); 10,11 (m³/s); dan 10,28 (m³/s).
- Variasi sudut *diffuser*: 16°; 18°; dan 20°

2. Variabel terikat (*dependent variabel*)

Variabel terikat adalah variabel hasil yang besarnya tidak dapat ditentukan oleh peneliti, nilai dari variabel ini tergantung dari nilai variabel bebasnya. Variabel terikat yang diamati dalam penelitian ini adalah karakteristik pompa sentrifugal yaitu:

- *Head*
- Efisiensi

3. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang ditentukan oleh peneliti dan nilainya dikondisikan konstan.

Variabel terkontrol dalam penelitian ini yaitu Putaran poros pompa yaitu sebesar 2850 rpm

3.3 Tempat dan Waktu Penelitian

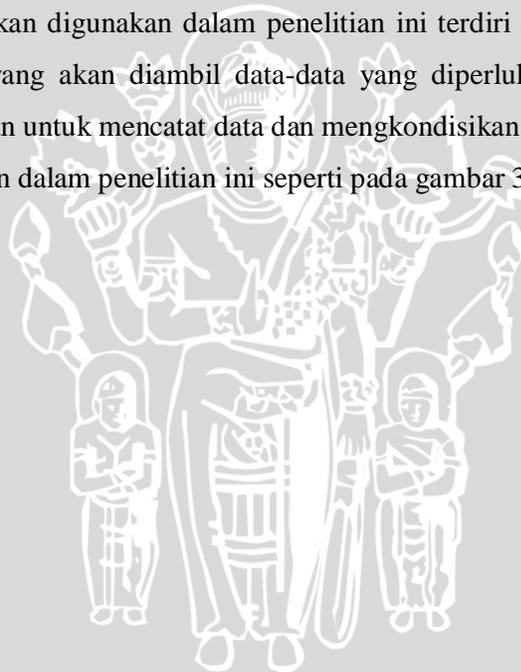
Penelitian mengenai pengaruh variasi panjang *diffuser* terhadap *head* dan efisiensi pompa sentrifugal dengan mur pengunci impeler bentuk tirus dilakukan pada bulan juni-juli 2010 dan bertempat di:

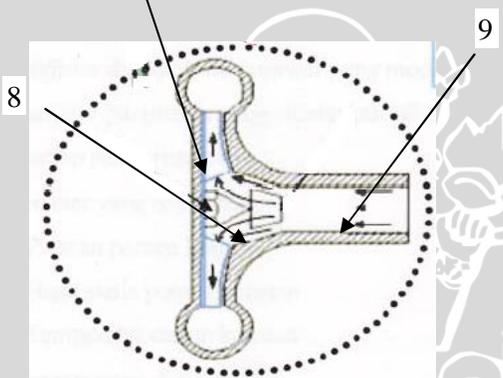
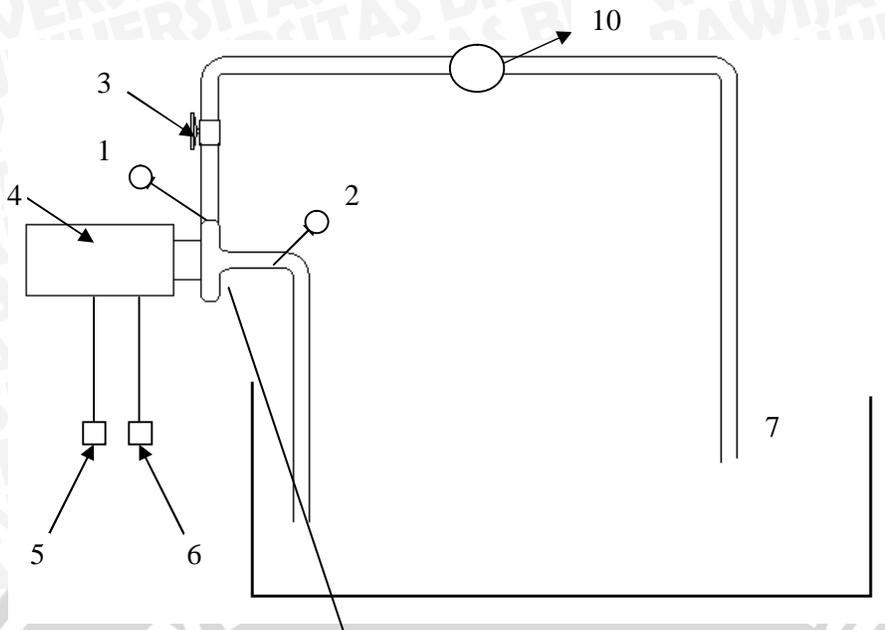
- ❖ Laboratorium Proses Produksi II, Fakultas Teknik, Jurusan Mesin, Universitas Brawijaya Malang, sebagai tempat pembuatan benda kerja.
- ❖ Laboratorium Fluida, Fakultas Teknik, Jurusan Mesin, Universitas Brawijaya Malang. Penelitian dilakukan pada bulan Juni - Juli 2010. Sebagai tempat penelitian.

3.4 Alat-alat Penelitian

Peralatan yang akan digunakan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa jenis, yaitu peralatan utama yang akan diambil data-data yang diperlukan, serta peralatan tambahan yang digunakan untuk mencatat data dan mengkondisikan pengujian.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini seperti pada gambar 3.1 adalah:





Gambar 3.1 Instalasi Penelitian

Keterangan gambar:

1. *Pressure Gauge*
2. *Vacuum Pressure Gauge*
3. *Gate Valve*
4. Pompa sentrifugal
5. Multimeter
6. Amperemeter
7. Kolam penampung
8. Mur pengunci impeler
9. *Diffuser*
10. *Orifice*

Fungsi:

1. *Pressure gauge*

Pressure gauge adalah alat yang digunakan untuk menghitung tekanan dari fluida. Alat ini diletakkan pada sisi keluaran pompa untuk mengetahui tekanan air yang keluar dari popa.



Gambar 3.2 *Pressure gauge*
Sumber: Dokumentasi pribadi

2. *Vacuum pressure gauge*

Vacuum pressure gauge alat yang digunakan untuk menghitung tekanan dari fluida pada sisi masuk pompa. Tekanan fluida pada sisi ini bernilai negatif.



Gambar 3.3 *Vacuum pressure gauge*
Sumber: Dokumentasi pribadi

3. *Gate Valve*

Gate Valve atau katup bukaan adalah alat yang digunakan untuk mengatur debit air dengan cara mengatur putarannya.



Gambar 3.4 *Gate Valve*
Sumber: Dokumentasi pribadi

4. Pompa sentrifugal



Gambar 3.5 Pompa sentrifugal
Sumber: Dokumentasi pribadi

Spesifikasi pompa yang digunakan adalah:

Merek	: INTERDAB HATEN
Model	: XHM / 58
H_{\max}	: 20 m
$H_{s \max}$: 8 m
Q_{\max}	: 700 l/s
Ukuran pipa	: 2 inchi
I	: 5,5 Ampere
V	: 220 – 240 V

5. Multimeter

Multimeter adalah alat yang digunakan untuk menghitung tegangan listrik yang digunakan oleh pompa pada waktu beroperasi.



Gambar 3.6 Multimeter
Sumber: Dokumentasi pribadi

6. Amperemeter

Amperemeter digunakan untuk menghitung arus listrik yang mengalir pada pompa pada waktu beroperasi



Gambar 3.7 Amperemeter
Sumber: Dokumentasi pribadi

7. Kolam penampung

8. Mur pengunci impeler yang dimodifikasi

Mur pengunci impeler yang dimodifikasi berbentuk tirus digunakan untuk mengganti baut pengunci dari impeler yang konvensional.

9. Diffuser

Diffuser diletakkan pada sisi inlet pompa yaitu pada perbesaran pipa.



Gambar 3.8 *Diffuser*
Sumber: Dokumentasi pribadi

10. Alat pengukur debit (*orifice* dan manometer)

Untuk mengukur debit yang dikeluarkan pompa digunakan orifice ISO 5167. Perbedaan tekanan yang terjadi pada sisi masuk dan keluar orifice diukur dengan manometer raksa.



Gambar 3.9 Manometer raksa
Sumber: Dokumentasi pribadi

3.5 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian meliputi persiapan yaitu:

1. Mempersiapkan peralatan yang diperlukan dalam penelitian
2. Menyusun dalam instalasi seperti pada gambar instalasi.
3. Pengecekan kondisi alat ukur dan dan alat pendukung lainnya.

Pelaksanaan percobaan:

1. Memasang semua instalasi penelitian.
2. Menyalakan pompa dan menunggu sampai kerja pompa stabil.
3. Menutup penuh *gate valve*.
4. Mengambil data tekanan pada *inlet* dan *outlet* pompa.
5. Mengambil data tegangan dan arus listrik yang terbaca pada multimeter dan amperemeter.
6. Mengulangi langkah 4 dan 5 dengan variasi bukaan *gate valve* satu sampai sembilan.
7. Memasang mur pengunci impeler yang sudah dimodifikasi dan *diffuser* dengan sudut 16° .
8. Mengulangi langkah 3 – 6.
9. Mengulangi langkah 7 dan 8 dengan memvariasikan sudut *diffuser*, yaitu 18° dan 20° .
10. Mengolah dan menampilkan data penelitian dalam tabel dan grafik.
11. Membuat pembahasan dan menarik kesimpulan.

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 *diffuser* (faktor B) serta pengaruh interaksi keduanya (faktor AB) terhadap *head* dan efisiensi pompa sentrifugal.

Debit air mempunyai level A_1, A_2, \dots, A_r dan sudut *diffuser* 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 *diffuser* pada level ke j dinyatakan dengan $(\alpha\beta)_{ij}$. Maka nilai setiap pengamatan ditulis dengan model matematika sebagai berikut :

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (\text{Winarsunu, 1996:6})$$

(3-1)

dengan :

- Y_{ijk} = Nilai setiap pengamatan
- μ = Nilai rata-rata dari seluruh pengamatan
- α_i = Pengaruh debit air ke i
- β_j = Pengaruh sudut *diffuser* ke j
- $(\alpha\beta)_{ij}$ = Pengaruh interaksi antara debit air ke i dan sudut *diffuser* ke j
- ε_{ijk} = Simpangan pengamatan

Yang akan kita uji dari pengamatan ini adalah:

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

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 *Head* dan efisiensi pompa sentrifugal).

H_1^1 paling sedikit satu $\alpha_i \neq 0$ (ada pengaruh variasi debit air terhadap terhadap *Head* dan efisiensi pompa sentrifugal).

II. $H_0^2 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_j$ (tidak ada pengaruh variasi sudut *diffuser* terhadap *Head* dan efisiensi pompa sentrifugal).

H_1^2 : paling sedikit satu $\beta_j \neq 0$ (ada pengaruh variasi sudut *diffuser* terhadap *Head* dan efisiensi pompa sentrifugal).

III. H_0^3 : $(\alpha\beta)_{11} = (\alpha\beta)_{12} = \dots = (\alpha\beta)_{ij}$ (tidak ada pengaruh variasi debit air dan variasi sudut *diffuser* terhadap *Head* dan efisiensi pompa sentrifugal).

H_1^3 : paling sedikit satu $(\alpha\beta) \neq 0$ (ada pengaruh variasi debit air dan variasi sudut *diffuser* terhadap *Head* dan efisiensi pompa sentrifugal).

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.

Subyek	Variasi Sudut <i>diffuser</i>			Total			
	B ₁	...	B _i			...	B _C
A ₁	X ₁₁₁		X _{1j1}		X _{1c1}	T _{1..}	T _{1..} ²
	X ₁₁₂		X _{1j2}		X _{1c2}		
		
	X _{11t}		X _{1jt}		X _{1ct}		
	X _{11.}		X _{1j.}		X _{1c.}		
A _i	X _{i11}		X _{ij1}		X _{ic1}	T _{i..}	T _{i..} ²
	X _{i12}		X _{ij2}		X _{ic2}		
		
	X _{i1t}		X _{ijt}		X _{ict}		
	X _{i1.}		X _{ij.}		X _{ic.}		
A _r	X _{r11}		X _{rj1}		X _{rc1}	T _{r..}	T _{r..} ²
	X _{r12}		X _{rj2}		X _{rc2}		
		
	X _{r1t}		X _{rjt}		X _{rc.t}		
	X _{r1.}		X _{rj.}		X _{rc.}		
∑ Kolom	T _{.1.}		T _{.j.}		T _{.c.}	T _{...}	
Total	T _{1..} ²		T _{j..} ²		T _{C..} ²		T _{...} ²

Sumber : Winarsunu (1996:48)

Didalam perhitungan menggunakan rumus sebagai berikut ini:

1. Jumlah kuadrat total (JK_t)

$$JK_t = \sum_t \frac{(\sum_t)^2}{rct} \quad (\text{Winarsunu,1996:50}) \quad (3-2)$$

2. Jumlah kuadrat antar perlakuan A (JK_A)

$$JK_A = \frac{\sum_{i=1}^r T_{i.}^2}{ct} - Sk \quad (\text{Winarsunu,1996:50}) \quad (3-3)$$

3. Jumlah kuadrat sudut antar perlakuan B (JK_B)

$$JK_B = \frac{\sum_{j=1}^c T_{.j}^2}{rt} - Sk \quad (\text{Winarsunu,1996:50}) \quad (3-4)$$

4. Jumlah pengaruh interaksi AB (JK_P)

$$JK_P = \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c T_{ij.}^2}{t} - Sk \quad \rightarrow JK_{AB} = JK_P - JK_A - JK_B \quad (\text{Winarsunu,1996:51}) \quad (3-5)$$

5. Jumlah kuadrat residu (JK_s)

$$JK_s = JK_T - JK_P = JK_T - JK_A - JK_B - JK_{AB} \quad (\text{Winarsunu,1996:51}) \quad (3-6)$$

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. Rata-rata kuadrat antar perlakuan A (RK_A)

$$RK_A = \frac{JK_A}{db_t} \quad (\text{Winarsunu,1996:53}) \quad (3-7)$$

2. Rata-rata kuadrat antar perlakuan B (RK_B)

$$RK_B = \frac{JK_B}{db_a} \quad (\text{Winarsunu,1996:53}) \quad (3-8)$$

3. Rata-rata kuadrat interaksi AB (RK_{AB})

$$RK_{AB} = \frac{JK_{AB}}{db_t \cdot db_a} \quad (\text{Winarsunu,1996:53}) \quad (3-9)$$

4. Kuadrat tengah residu (RK_{res})

$$RK_{res} = \frac{JK_{res}}{rc(t-1)} \quad (\text{Winarsunu,1996:54}) \quad (3-10)$$

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

1. F_{hitung} dari debit air

$$F_A = \frac{RK_A}{RK_{res}} \quad (\text{Winarsunu,1996:54}) \quad (3-11)$$

2. F_{hitung} dari sudut *diffuser*

$$F_B = \frac{RK_B}{RK_{res}} \quad (\text{Winarsunu,1996:54}) \quad (3-12)$$

3. F_{hitung} dari interaksi debit air dengan sudut *diffuser*

$$F_{AB} = \frac{RK_{AB}}{RK_{res}} \quad (\text{Winarsunu,1996:54}) \quad (3-13)$$

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 _{hitung}	F _α
Antar A	JK _A	db _t =r - 1	RK _A	F _A	
Antar B	JK _B	db _a =c - 1	RK _B	F _B	
Interaksi AB	JK _{AB}	db ₃ =db _t .db _a	RK _{AB}	F _{AB}	
Galat	JK _{res}	db ₄ =rc(t - 1)	RK _{res}		
Total	JK _T	rct - 1			

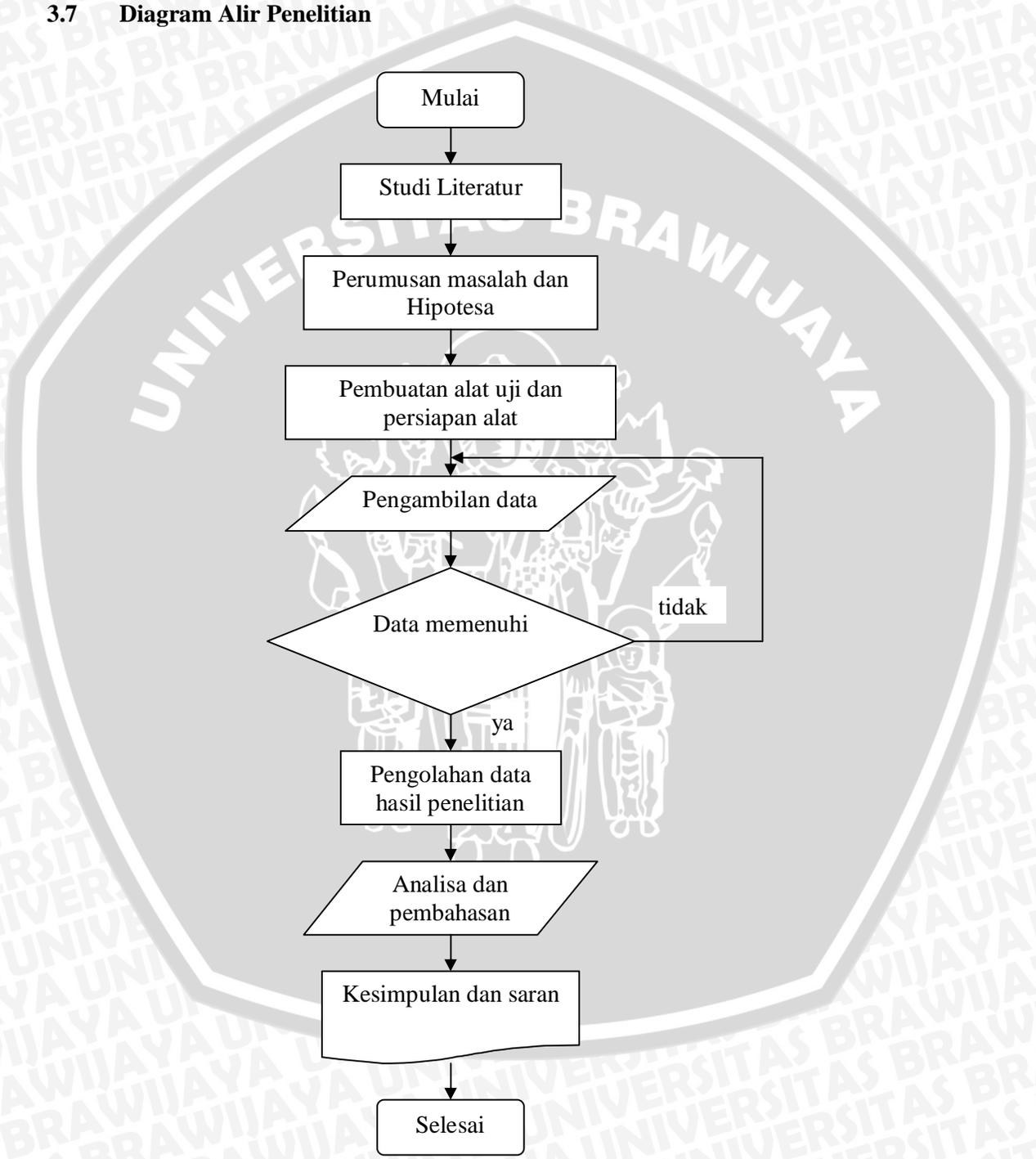
Sumber : Winarsunu (1996:55)

Kesimpulan yang diperoleh :

1. Bila F_{A hitung} > F_{A tabel}, maka H₀¹ ditolak dan H₁¹ diterima, ini menyatakan bahwa variasi debit air berpengaruh terhadap terhadap *Head* dan efisiensi pompa sentrifugal.
2. Bila F_{B hitung} > F_{B tabel}, maka H₀² ditolak dan H₁² diterima, ini menyatakan bahwa variasi sudut *diffuser* berpengaruh terhadap *Head* dan efisiensi pompa sentrifugal.

3. Bila $F_{AB \text{ hitung}} > F_{AB \text{ tabel}}$, maka H_0^3 ditolak dan H_1^3 diterima, ini menyatakan bahwa interaksi antara variasi debit air dan variasi sudut *diffuser* berpengaruh terhadap *Head* dan efisiensi pompa sentrifugal.
- 4.

3.7 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Hasil Pengujian

Pada penelitian ini digunakan data rata-rata dari dua kali pengulangan penelitian pada masing-masing pengujian. Data ini dipakai dalam pembahasan dan pembuatan grafik hubungan antara *Head* dengan Debit dan juga Grafik hubungan antara efisiensi dan Debit. Berikut tabel data hasil pengujian dengan berbagai modifikasi.

Tabel 4.1 Tabel Hasil Pengolahan Data Pengujian Pompa Tanpa Modifikasi

Bukaan	Q (liter/s)	Head (m)	Daya pompa (watt)	Daya fluida (watt)	Efisiensi(%)
1	2.67	11.56	855	302.47	35.38
2	7.17	7.99	1025.8	562.05	54.79
3	8.90	6.20	1052.43	541.09	51.41
4	9.71	5.26	1056.88	500.11	47.32
5	10.12	4.87	1056.88	482.26	45.63
6	10.28	4.08	1048.10	411.47	39.26

Tabel 4.2 Tabel Hasil Pengolahan Data Pengujian Pompa Dengan Modifikasi Sudut *diffuser* 16°

Bukaan	Q (liter/s)	Head (m)	Daya pompa (watt)	Daya fluida (watt)	Efisiensi(%)
1	2.67	12.78	855	334.40	39.11
2	7.17	9.07	1025.8	637.86	62.18
3	8.90	6.50	1040.19	567.10	54.52
4	9.71	5.14	1045.75	488.65	46.73
5	10.11	4.84	1043.4	479.28	45.93
6	10.28	4.59	1021.2	463.02	45.34

Tabel 4.3 Tabel Hasil Pengolahan Data Pengujian Pompa Dengan Modifikasi Sudut *diffuser* 18°

Bukaan	Q (liter/s)	Head (m)	Daya pompa (watt)	Daya fluida (watt)	Efisiensi(%)
1	2.67	13.23	866.25	346.20	39.97
2	7.17	9.65	1025.8	678.42	66.14
3	8.90	6.85	1045.75	597.65	57.15
4	9.71	5.51	1051.31	523.91	49.83
5	10.11	4.96	1056.86	491.16	46.47
6	10.28	4.64	1048.1	467.96	44.65

Tabel 4.4 Tabel Hasil Pengolahan Data Pengujian Pompa Dengan Modifikasi Sudut *diffuser* 20°

Bukaan	Q (liter/s)	Head (m)	Daya pompa (watt)	Daya fluida (watt)	Efisiensi(%)
1	2.67	11.78	851.2	308.24	36.21
2	7.17	8.424	1025.8	592.27	57.74
3	8.90	6.35	1045.75	553.93	52.97
4	9.71	4.96	1040.19	471.46	45.32
5	10.11	4.65	1023.5	460.92	45.03
6	10.28	4.42	1025.8	445.32	43.41

4.2. Contoh Perhitungan

Berikut contoh perhitungan pengaruh variasi sudut *diffuser* pada pompa sentrifugal untuk mendapatkan nilai *Head*, Debit, Daya fluida, Daya Pompa dan juga efisiensi pompa. Contoh perhitungan berikut menggunakan data pompa tanpa modifikasi pada bukaan *gate valve* 1.

a. *Head*.

$$H_t = \frac{P_d - P_s}{\gamma} \text{ (m)}$$

$$H_t = \frac{103945,29 - (-935000)}{9800}$$

$$H_t = 11,56 \text{ m}$$

b. Debit.

$$H_t = \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + Z_2 - Z_1$$

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}$$

$$\frac{\Delta P}{\gamma} = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \dots \dots \dots (1)$$

$$Q = V_1 A_1 = V_2 A_2$$

$$V_1 = V_2 \frac{A_2}{A_1} \dots \dots \dots (2)$$

Substitusi persamaan (2) ke persamaan (1)

$$\frac{\Delta P}{\gamma} = \frac{V_2^2 - V_2 \frac{A_2}{A_1}}{2g}$$

$$\frac{\Delta P}{\gamma} = \frac{V_2^2 \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right)}{2g}$$

$$V_2^2 = \frac{2g}{\gamma} \frac{1}{\left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right)} \Delta P$$

$$V_2^2 = \frac{2 \cdot 9,8}{1000 \cdot 9,8} \frac{1}{\left(1 - \frac{1,14 \cdot 10^{-3}}{2,0268 \cdot 10^{-3}}\right)} \Delta P$$

$$V_2^2 = 4,571 \cdot 10^{-3} \cdot \Delta P$$

$$V_2 = 0,0676 \cdot \sqrt{\Delta P}$$

$$Q = V_2 A_2$$

$$Q = 0,0676 \cdot 1,14 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\Delta P}$$

$$Q = 0,0676 \cdot 1,14 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{1199,84}$$

$$Q = 2,67 \cdot 10^{-3} \left(\frac{m^3}{s}\right)$$

$$Q = 2,67 \left(\frac{l}{s}\right)$$

c. Daya fluida.

$$P_a = \gamma H Q$$

$$P_a = 9800 \cdot 11,56 \cdot 2,67 \cdot 10^{-3} (\text{watt})$$

$$P_a = 302,47 (\text{watt})$$

d. Daya pompa.

Daya pompa dapat dicari dengan mengukur arus dan tegangan listrik yang dipakai untuk menggerakkan poros pompa.

$$P_p = VI$$

$$P_p = 225,3,8 (\text{watt})$$

$$P_p = 855 (\text{watt})$$

e. Efisiensi

$$\eta = \frac{\text{Daya fluida}}{\text{Daya pompa}} 100\%$$

$$\eta = \frac{P_a}{P_p} 100\%$$

$$\eta = \frac{302.47}{855} 100\%$$

$$\eta = 35.38\%$$

Untuk data dengan variasi sudut *diffuser*, tahapan perhitungan mengikuti uraian di atas dan hasil dari perhitungan tersebut dapat dilihat pada tabel 4.2, 4.3 dan 4.4. Untuk mempermudah pembacaan data hasil pengujian tersebut kemudian dilakukan analisis statistik dan ditampilkan dalam bentuk grafik.

4.3 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 *diffuser* (faktor B) serta pengaruh interaksi keduanya (faktor AB) terhadap *Head* dan efisiensi pompa sentrifugal.

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 *Head* dan efisiensi pompa sentrifugal).

H_1^1 : paling sedikit satu $\alpha_i \neq 0$ (ada pengaruh variasi debit air terhadap *Head* dan efisiensi pompa sentrifugal).

II. $H_0^2 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_j$ (tidak ada pengaruh variasi sudut *diffuser* terhadap *Head* dan efisiensi pompa sentrifugal).

H_1^2 : paling sedikit satu $\beta_j \neq 0$ (ada pengaruh variasi sudut *diffuser* terhadap *Head* dan efisiensi pompa sentrifugal).

III. $H_0^3 : (\alpha\beta)_{11} = (\alpha\beta)_{12} = \dots = (\alpha\beta)_{ij}$ (tidak ada pengaruh variasi debit air dan variasi sudut *diffuser* terhadap *Head* dan efisiensi pompa sentrifugal).

H_1^3 : paling sedikit satu $(\alpha\beta) \neq 0$ (ada pengaruh variasi debit air dan variasi sudut *diffuser* terhadap *Head* dan efisiensi pompa sentrifugal).

4.3.1 Contoh Perhitungan Analisis Statistik

Dari data hasil pengujian dapat dilakukan analisis statistik untuk menguji hipotesis.

Tabel 4.5 Data pengujian hipotesis pengaruh variasi debit air dan sudut *diffuser* terhadap *Head* dan efisiensi pompa sentrifugal.

		head pada sudut				Total
		16	18	20	tanpa	
Variasi debit		12.78	13.23	11.78	11.56	
		12.78	13.23	11.78	11.56	
	$\Sigma k1$	25.56	26.46	23.56	23.12	98.71
		9.07	9.65	8.42	7.99	
		9.07	9.65	8.42	7.99	
	$\Sigma k2$	18.14	19.20	16.84	15.98	70.27
		6.50	6.85	6.35	6.20	
		6.50	6.85	6.35	6.21	
	$\Sigma k3$	13.00	13.70	12.70	12.41	51.82
		5.14	5.51	4.95	5.26	
		5.14	5.51	4.96	5.26	
	$\Sigma k4$	10.28	11.02	9.91	10.52	41.71
		4.84	4.96	4.65	5.47	
		4.84	4.96	4.65	5.47	
	$\Sigma k5$	9.68	9.92	9.30	10.94	39.84
		4.59	4.64	4.42	4.08	
		4.59	4.64	4.42	4.08	
	$\Sigma k6$	9.18	9.28	8.84	8.16	35.48
$\Sigma ktot$	111.79	116.44	106.41	105.88	440.53	

$$S_k = \frac{440,53^2}{7.4.2} = 3465,49$$

$$JK_t = (12,78^2 + 12,98^2 + \dots + 4,08^2) - S_k$$

$$= 4072,46 - 3465,49 = 606,97$$

$$JK_A = \frac{(98,71^2 + 70,27^2 + \dots + 35,48^2)}{4.2} - S_k$$

$$= 4062,42 - 3465,49 = 596,93$$

Dimana A = baris, yaitu faktor debit air.

$$JK_B = \frac{(111.79^2 + 116.44^2 + 106.41^2 + 105.88^2)}{7.2} - S_k$$

$$= 3470,81 - 3465,49 = 5,32$$

Dimana B = kolom, yaitu faktor sudut *diffuser*.

$$JK_p = \frac{(25,56^2 + 18,14^2 + \dots + 8,16^2)}{2} - Sk$$

$$= 4072,46 - 3465,49 = 606,97$$

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

$$JK_{AB} = 606,97 - 596,93 - 5,32 = 4,72$$

Dimana AB = interaksi antara faktor debit air dan faktor sudut *diffuser*.

$$JK_{res} = 606,97 - 606,9672 = 5,6 \times 10^{-5}$$

Untuk perhitungan analisis statistik efisiensi pompa sentrifugal, tahapan perhitungan mengikuti uraian di atas dan hasil dari perhitungan tersebut dapat dilihat pada tabel 4.7.

4.3.2 Analisis Statistik untuk *Head* yang Dihasilkan

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi debit, variasi sudut *diffuser* dan interaksi antara keduanya terhadap *head* pompa sentrifugal. Dari perhitungan statistik didapatkan tabel 4.6 sebagai berikut :

Tabel 4.6 Analisis Varian Dua Arah untuk *Head* yang Dihasilkan.

Sumber Varian	Db	JK	Rk	F hitung	F tabel
A (Debit Air)	5	366.38	73.28	36638239.44	2.21
B (Sudut <i>diffuser</i>)	3	4.26	1.42	710080.60	2.60
Interaksi A dan B	15	4.63	0.31	154424.52	1.67
Residu	24	4.8E-05	2E-06		
Total	48	375.28			

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 *head* pompa sentrifugal.

- b. Faktor sudut *diffuser*

H_0 ditolak maka H_1 diterima, artinya ada pengaruh variasi sudut *diffuser* terhadap *head* pompa sentrifugal.

c. Interaksi antar dua faktor

H_0 ditolak maka H_1 diterima, artinya interaksi antara variasi debit air dan sudut *diffuser* mempunyai pengaruh yang nyata terhadap *head* pompa sentrifugal.

4.3.3 Analisis Statistik untuk Efisiensi yang Dihasilkan

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi debit, variasi sudut *diffuser* dan interaksi antara keduanya terhadap efisiensi pompa sentrifugal. Dari perhitungan statistik didapatkan tabel 4.7 sebagai berikut :

Tabel 4.7 Analisis Varian Dua Arah untuk Efisiensi yang Dihasilkan.

Sumber Varian	Db	JK	Rk	F hitung	F tabel
A (Debit Air)	5	2529.77	505.95	252976557.8	2.21
B (Sudut <i>diffuser</i>)	3	138.05	46.02	23008051.84	2.60
Interaksi A dan B	15	188.62	12.57	6287186.11	1.67
Residu	24	4.8E-05	2E-06		
Total	48	2856.43			

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

d. Faktor debit air

H_0 ditolak maka H_1 diterima, artinya ada pengaruh variasi debit air terhadap efisiensi pompa sentrifugal.

e. Faktor sudut *diffuser*

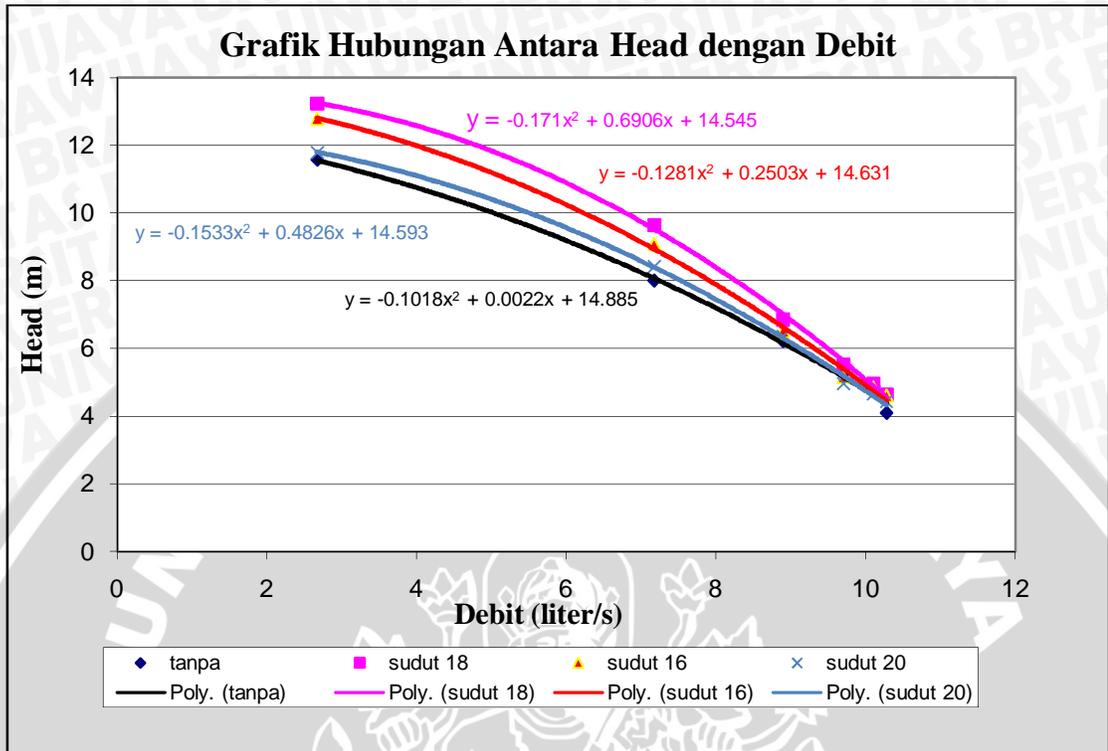
H_0 ditolak maka H_1 diterima, artinya ada pengaruh variasi sudut *diffuser* terhadap efisiensi *d* pompa sentrifugal.

f. Interaksi antar dua faktor

H_0 ditolak maka H_1 diterima, artinya interaksi antara variasi debit air dan sudut *diffuser* mempunyai pengaruh yang nyata terhadap efisiensi pompa sentrifugal.

4.4 Analisis Grafik

4.4.1 Grafik Hubungan Antara Debit dan Sudut *Diffuser* Terhadap *Head*



Gambar 4.1 Grafik Hubungan Antara Debit dan Sudut *Diffuser* Terhadap *Head*

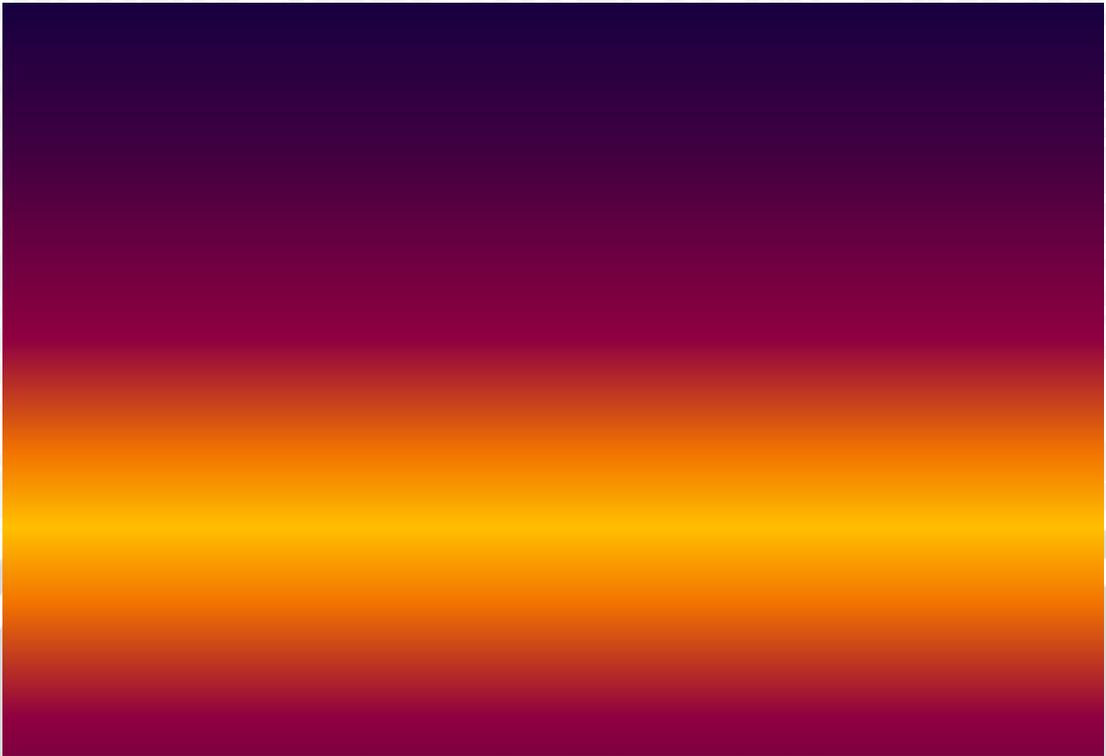
Dari gambar 4.1 dapat dilihat bahwa dengan penambahan *diffuser* pada pompa akan berpengaruh terhadap nilai dari *head* pompa dengan debit pompa. Pengaruh tersebut dapat dibuktikan dengan adanya garis parabolik, dimana dengan bertambahnya debit pompa mengakibatkan nilai dari *head* pompa menurun. Penurunan ini dikarenakan dengan meningkatnya debit maka tekanan fluida pada sisi keluar pompa akan menurun sehingga mengakibatkan penurunan nilai dari *head* pompa hal ini sesuai dengan rumus $H_t = \frac{P_d - P_s}{\gamma}$ (m).

Pada pompa dengan penambahan *diffuser* yang bersudut 18° nilai *head*nya terlihat lebih tinggi dari pada pompa dengan penambahan *diffuser* yang bersudut 16°, yang bersudut 20° dan juga pompa tanpa modifikasi yaitu sebesar 7,47 m. Hal tersebut dikarenakan *diffuser* yang bersudut 18° adalah sudut sesuai dengan sudut perbesaran pada *flens* hisap pompa, jika sudut *diffuser* terlalu kecil maka tekanan fluida yang keluar dari *diffuser* akan lebih rendah sehingga tekanan yang masuk ke impeler akan lebih rendah pula, sehingga *head* yang dihasilkan akan lebih

rendah. Tetapi jika sudut *diffuser* terlalu besar akan mempersempit luas penampang aliran fluida pada sisi luar *diffuser* sehingga kecepatan aliran fluida menjadi lebih tinggi dan tekanan fluida yang masuk ke impeler menjadi lebih rendah sehingga *head* yang dihasilkan akan lebih rendah.



4.4.2 Grafik Hubungan Antara Debit dan Sudut *Diffuser* Terhadap Efisiensi



Gambar 4.2 Grafik Hubungan Debit dan Sudut *Diffuser* Terhadap Efisiensi

Dari gambar 4.2 dapat dilihat bahwa dengan penambahan *diffuser* pada pompa akan berpengaruh terhadap efisiensi pompa dengan debit pompa. Pengaruh tersebut dapat dibuktikan dengan adanya garis parabolik, dimana dengan bertambahnya debit pompa mengakibatkan nilai dari efisiensi pompa akan meningkat hingga mencapai efisiensi maksimum kemudian mengalami penurunan efisiensi. Penurunan ini dikarenakan meningkatnya debit yang kecil diikuti penurunan nilai dari *head* yang lebih tinggi sehingga menyebabkan daya fluida cenderung menurun, sedangkan nilai daya pompa semakin lama cenderung stabil, sehingga efisiensi pompa menurun. Hal ini sesuai dengan rumus $\eta = \frac{\text{Daya fluida}}{\text{Daya pompa}} 100\%$. Dan juga bisa disebabkan dengan meningkatnya debit maka *losses* yang terjadi akan semakin besar pula sehingga *head* mengalami penurunan sehingga daya fluida akan menurun.

Pada pompa dengan penambahan *diffuser* yang bersudut 18° nilai efisiensinya terlihat lebih tinggi dari pada pompa dengan modifikasi yang lain. Pompa dengan penambahan *diffuser* yang bersudut 18° mempunyai efisiensi

tertinggi yaitu sebesar 66.14% . Hal tersebut dikarenakan *diffuser* yang bersudut 18° adalah sudut sesuai dengan sudut perbesaran pada *flens* hisap pompa, jika sudut *diffuser* terlalu kecil maka tekanan fluida yang keluar dari *diffuser* akan lebih rendah sehingga tekanan yang masuk ke impeler akan lebih rendah pula, *head* yang dihasilkan akan lebih rendah akibatnya efisiensinya akan lebih rendah pula. Tetapi jika sudut *diffuser* terlalu besar akan mempersempit luas penampang aliran fluida pada sisi luar *diffuser* sehingga kecepatan aliran fluida menjadi lebih tinggi dan tekanan fluida yang masuk ke impeler menjadi lebih rendah sehingga *head* yang dihasilkan menjadi lebih rendah, akibatnya efisiensinya akan lebih rendah pula.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah :

Dengan memvariasikan sudut *diffuser* pada pompa sentrifugal akan menghasilkan *head* dan efisiensi yang berbeda pula. *Head* dan efisiensi tertinggi terjadi pada *diffuser* yang bersudut 18° yaitu sebesar 7,47 m dan 66.14%.

5.2. Saran

Setelah dilakukan analisis, maka dapat diberikan saran sebagai berikut ini:

1. Penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan meneliti pengaruh jarak penempatan *diffuser* terhadap mur pengunci impeler.
2. Dapat menggunakan bahan baku *diffuser* yang berbeda, yang mempunyai sifat-sifat yang lebih baik.



DAFTAR PUSTAKA

- Brammantya, M.A; 2007: *Pengaruh diffuser pada flens isap dan mur pengunci Impeler berbentuk tirus terhadap head dan efisiensi pompa centrifugal*; Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CAKRAM Vol. 1 No. 1 UGM, Yogyakarta.
- Church, A, Austin; 1993: *Pompa dan Blower Setrifugal*; Erlangga, Jakarta.
- Dietzel, Fritz; 1992: *Turbin, Pompa dan Kompresor*; Erlangga, Jakarta.
- Dixon, S.L;1998: *Fluid Mechanics, Thermodynamics of Turbomachinery*; Elsevier Butterworth–Heinemann, Oxford.
- Karassik, J, Igor; 1991: *Pump Handbook*; John Willey & Sons, Inc, New York
- Nekrasov, B: *Hydraulics for Aeronautical Engineer*; Peace Publishers, Moscow
- Round, George, F; 2004: *Incompressible Flow Turbomachines*; Gulf Professional Publishing, Oxford.
- Stepanoff, A.J; 1957: *Centrifugal and Axial Flow Pump*; John Wiley & Son, Inc, New York.
- Winarsunu, T; 1996: *Statistik Teknik*; Umm Press, Malang.
- Sularso;1983: *Pompa dan Kompresor*; Pradnya Paramitha, Jakarta.
- <http://www.theknowledgeworld.com/centrifugalpump.htm> (diakses tanggal 18 Juli 2010)
- <http://www.brighthub.com/engineering/civil/articles/63291.aspx> (diakses tanggal 19 Juli 2010)
- <http://www.agussuasono.com/artikel/mechanical/65-teori-dasar-pompa-sentrifugal.html> (diakses tanggal 19 Juli 2010)

LAMPIRAN



DATA POMPA TANPA MODIFIKASI

Bukaan	Ps (bar)	Pd (Kg/cm ²)	Arus ampere	Tegangan Volt	Orifice mmHg	Ps pascal	Pd pascal	Pd-Ps pascal	γ
1	-0.0935	1.06	3.8	225	9	-9350	103945.29	113295.29	9800
2	-0.195	0.6	4.6	223	65	-19500	58836.96	78336.96	9800
3	-0.255	0.36	4.73	222.5	100	-25500	35302.17	60802.17	9800
4	-0.27	0.25	4.75	222.5	119	-27000	24515.40	51515.40	9800
5	-0.281	0.2	4.75	222.5	129	-28100	19612.32	47712.32	9800
6	-0.2825	0.12	4.7	223	133.5	-28250	11767.39	40017.39	9800

Head m	konstanta	orifice pascal	debit Q liter/s	BHP watt	WHP watt	efisiensi (%)
11.56	7.71E-05	1199.84	2.67	855	302.47	35.38
7.99	7.71E-05	8665.51	7.17	1025.8	562.05	54.80
6.20	7.71E-05	13331.56	8.90	1052.43	541.09	51.41
5.26	7.71E-05	15864.55	9.71	1056.88	500.11	47.32
4.87	7.71E-05	17197.71	10.11	1056.88	482.26	45.63
4.08	7.71E-05	17797.63	10.28	1048.10	411.47	39.26

DATA POMPA DENGAN SUDUT DIFFUSER 16⁰

Bukaan	Ps (bar)	Pd (Kg/cm ²)	Arus ampere	Tegangan Volt	Orifice mmHg	Ps pascal	Pd pascal	Pd-Ps pascal	γ
1	-0.115	1.16	3.8	225	9	-11500	113751.45	125251.45	9800
2	-0.2075	0.695	4.6	223	65	-20750	68152.81	88902.81	9800
3	-0.245	0.4	4.675	222.5	100	-24500	39224.64	63724.64	9800
4	-0.268	0.24	4.7	222.5	119	-26800	23534.78	50334.78	9800
5	-0.281	0.197	4.7	222	129	-28100	19318.13	47418.13	9800
6	-0.2836	0.17	4.6	222	133.5	-28360	16670.47	45030.47	9800

Head m	konstanta	orifice pascal	debit Q liter/s	BHP watt	WHP watt	efisiensi (%)
12.78	7.71E-05	1199.84	2.67	855	334.39	39.11
9.07	7.71E-05	8665.51	7.17	1025.8	637.86	62.18
6.50	7.71E-05	13331.56	8.90	1040.19	567.10	54.52
5.14	7.71E-05	15864.55	9.71	1045.75	488.65	46.73
4.84	7.71E-05	17197.71	10.11	1043.4	479.28	45.93
4.59	7.71E-05	17797.63	10.28	1021.2	463.02	45.34

DATA POMPA DENGAN SUDUT DIFFUSER 18⁰

Bukaan	Ps (bar)	Pd (Kg/cm2)	Arus ampere	Tegangan Volt	Orifice mmHg	Ps pascal	Pd pascal	Pd-Ps pascal	γ
1	-0.12	1.2	3.85	225	9	-12000	117673.91	129673.91	9800
2	-0.215	0.745	4.6	223	65	-21500	73055.89	94555.89	9800
3	-0.245	0.435	4.7	222.5	100	-24500	42656.79	67156.79	9800
4	-0.27	0.275	4.725	222.5	119	-27000	26966.94	53966.94	9800
5	-0.28	0.21	4.75	222.5	129	-28000	20592.93	48592.93	9800
6	-0.2835	0.175	4.7	223	133.5	-28350	17160.78	45510.78	9800

Head m	konstanta	orifice pascal	debit Q liter/s	BHP watt	WHP watt	efisiensi (%)
13.23	7.71E-05	1199.84	2.67	866.25	346.20	39.97
9.65	7.71E-05	8665.51	7.17	1025.8	678.42	66.14
6.85	7.71E-05	13331.56	8.90	1045.75	597.65	57.15
5.51	7.71E-05	15864.55	9.71	1051.31	523.91	49.83
4.96	7.71E-05	17197.71	10.11	1056.86	491.16	46.47
4.64	7.71E-05	17797.63	10.28	1048.1	467.96	44.65

DATA POMPA DENGAN SUDUT DIFFUSER 20⁰

Bukaan	Ps (bar)	Pd (Kg/cm2)	Arus ampere	Tegangan Volt	Orifice mmHg	Ps pascal	Pd pascal	Pd-Ps pascal	γ
1	-0.12	1.055	3.8	224	9	-12000	103454.98	115454.98	9800
2	-0.2175	0.62	4.6	223	65	-21750	60798.19	82548.19	9800
3	-0.24	0.39	4.7	222.5	100	-24000	38244.02	62244.02	9800
4	-0.265	0.225	4.675	222.5	119	-26500	22063.86	48563.86	9800
5	-0.2795	0.18	4.6	222.5	129	-27950	17651.09	45601.09	9800
6	-0.286	0.15	4.6	223	133.5	-28600	14709.24	43309.24	9800

Head m	konstanta	orifice pascal	debit Q liter/s	BHP watt	WHP watt	efisiensi (%)
11.78	7.71E-05	1199.84	2.67	851.2	308.24	36.21
8.42	7.71E-05	8665.51	7.17	1025.8	592.27	57.74
6.35	7.71E-05	13331.56	8.90	1045.75	553.93	52.97
4.96	7.71E-05	15864.55	9.71	1040.188	471.46	45.32
4.65	7.71E-05	17197.71	10.11	1023.5	460.92	45.03
4.42	7.71E-05	17797.63	10.28	1025.8	445.32	43.41