Rancang Bangun Alat Peraga Sistem Pompa Sentrifugal

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin

Disusun Oleh:

Nama : Prasasti Gunawan
No. Mahasiswa : 12525088
NIRM : 2012011102

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA

2018

LEMBAR PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama	: Prasasti Gunawan
NIM	: 12525088
Fakultas	: Teknologi Industri
Jurusan	: Teknik Mesin

Dengan ini menyatakan bahwa judul skripsi Rancang Bangun Alat Peraga Sistem Pompa Sentrifugal benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta,04 April 2018

Yang membuat pernyataan,



Prasasti Gunawan

Nim : 12525088

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

Rancang Bangun Alat Peraga Sistem Pompa Sentrifugal

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh:

Nama : Prasasti Gunawan

No. Mahasiswa : 12525088

NIRM : 2012011102

Yogyakarta, 20 Maret 2018

Pembimbing I,	Pembimbing II,
Agung Nugroho Adi, S. T, M.T.	Arif Budi Wicaksono, S. T, M.Eng.

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

Rancang Bangun Alat Peraga Sistem Pompa Sentrifugal

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh:

Nama : Prasasti Gunawan

No. Mahasiswa : 12525088

NIRM : 2012011102

Tim Penguji

Arif Budi Wicaksono, S.T., M.Eng. _____

Ketua Tanggal : 13/4/2018

Dr.Eng. Risdiyono S.T., M.Eng. _____

Anggota I Tanggal : 13/04/2018

Faisal Arif Nurgesang, S.T., M.Sc. _____

Anggota II Tanggal : 5 April 2018

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr.Eng. Risdiyono S.T., M.Eng.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Allah SWT yang telah mencurahkan rahmat, rezeki dan izin-Nya. Karena hanya atas izin dan karuniaNyalah maka Tugas Akhir ini dapat dibuat dan selesai pada waktunya.

Kedua orang tua saya, yang telah memberikan dukungan moral maupun materi, serta do'a yang tiada henti untuk kesuksesan saya. Ucapan terimakasih mungkin tidak pernah cukup untuk membalas kebaikan orang tua, karena itu terimalah persembahan bakti dan cinta ku untuk kalian papa mamaku.

Kedua adik ku, yang senantiasa memberikan dukungan, semangat, dan do'anya untuk keberhasilan ini, terimakasih dan sayang ku untuk kalian.

Bapak dan Ibu Dosen pembimbing, penguji dan pengajar, yang selama ini telah tulus dan ikhlas meluangkan waktunya untuk menuntun dan mengarahkan saya, memberikan bimbingan dan pelajaran yang tiada ternilai harganya, agar saya menjadi lebih baik.

HALAMAN MOTTO

"Sesali masa lalu karena ada kekecewaan dan kesalahan-kesalahan, tetapi jadikan penyesalan itu sebagai senjata untuk masa depan agar tidak terjadi kesalahan lagi."

"Kebanggaan Kita yang Terbesar Adalah Bukan Tidak Pernah Gaggal, Tetapi Bangkit Kembali Setiap Kali Kita Jatuh."(Confusius)

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, taufik dan inayah-Nya serta nikmat sehat sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir tanpa ada halangan apapun. Shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada Baginda Nabi Besar Muhammad SAW, semoga kami selalu berpegang teguh pada sunnahnya Amin. Laporan Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin di Universitas Islam Indonesia yang berjudul "Rancang Bangun Alat Peraga Sistem Pompa Sentrifugal".

Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih atas semua bimbingan, bantuan serta dukungan pelaksanaan tugas akhir ini, secara khusus penulis sampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Allah SWT, yang telah mencurahkan rahmat, rezeki dan izinnya, karena dengan izinnya Tugas Akhir ini bias diselesaikan.
2. Kedua Orang Tua dan adik-adikku yang telah memberikan doa, motivasi dan semangat.
3. Bapak Risdiyono S.T., M.Eng., Ph.D. Selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Agung Nugroho Adi, S.T., M.T. dan Bapak Arif Budi Wicaksono, S.T., M.Eng. Selaku dosen pembimbing yang telah sangat membantu dalam memberikan bimbingan dan masukan dengan penuh kesabaran selama proses pengerjaan dan penyusunan tugas akhir ini.
5. Seluruh Dosen Teknik Mesin UII, Terima kasih atas semua ilmu yang telah diberikan, semoga Allah SWT tidak akan memutus pahalanya.
6. Teman-teman Teknik Mesin UII angkatan 2012 serta senior abang-abang angkatan Teknik Mesin UII yang telah banyak memberikan bantuan dan saran serta kritik dalam penyelesaian tugas akhir ini.

7. Serta pihak-pihak lain yang telah mebantu dalam penyusunan tugas akhir yang tidak bias penulis sebutkan satu persatu, semoga Allah SWT membalas berlipat ganda semua kebaikan kalian semua Amin.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna. Namun demikian semoga dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya. Kritik dan saran yang membangun penulis harapkan demi kesempurnaan laporan ini selanjutnya.

Akhir kata, penulis mohon maaf yang sebesar-besarnya apabila dalam penyusunan laporan ini masih terdapat banyak kesalahan. Semoga laporan ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis dan pada umumnya bagi para pembaca.

Wabillahitaufiq Walhidayah.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Yogyakarta, 06 Maret 2018

Prasasti Gunawan

ABSTRAK

Secara umum pompa digunakan untuk memindahkan fluida dari suatu tempat menuju tempat yang lain seperti memindahkan fluida dari tempat yang rendah menuju tempat yang tinggi. Pompa dapat meningkatkan tekanan, kecepatan dan ketinggian fluida. Pada dasarnya prinsip kerja pompa sentrifugal adalah membuat tekanan rendah pada sisi isap atau sisi masuk sehingga fluida akan terhisap masuk, kemudian dalam pompa air terlempar sehingga memiliki kecepatan tinggi yang kemudian dikonversi menjadi tekanan yang dikeluarkan pada sisi keluar dengan tekanan yang lebih tinggi. Bergeraknya pompa membutuhkan energi dari luar yang diperoleh dari motor. Untuk melihat aliran air dalam pompa sentrifugal masih terdapat kekurangan pada alat peraga pompa sentrifugal dikarenakan volute casing pada pompa sentrifugal yang tidak transparan.

Pada pompa sentrifugal terdapat impeller yang merupakan inti dari pompa sentrifugal tersebut, pada penelitian ini impeller dan volute casing akan dibuat dengan menerapkan ilmu desain CAD CAM dan dilanjutkan dengan proses pembuatannya menggunakan proses CNC. Untuk pembuatan impeller, jenis impeller yang digunakan adalah impeller semi terbuka dengan diameter dalam 23.5 mm, diameter luar 70.5 mm, tebal blade 3 mm dan jumlah blade 5 buah. Pengujian alat peraga dilakukan untuk melihat tekanan yang dihasilkan pada pipa masuk(suction) dan pada pipa keluar(discharge), tekanan dapat dilihat dengan melihat manometer air raksa pipa U dan didapatkan hasil Δh untuk suction sebesar 0.09 m dan Δh untuk discharge sebesar 0.07 dengan tekanan suction sebesar 89 kpa dan tekanan discharge 110 kpa. Debit air yang dihasilkan oleh pompa adalah 26 L/min.

***Kata kunci**: Pompa Sentrifugal, impeller, Volute Casing, CAD, CAM, dan CNC*

ABSTRACT

In general, the pump is used to move the fluid from one place to another such as moving the fluid from low to high. The pump can increase the pressure, speed and height of the fluid. Basically the working principle of a centrifugal pump is to make low pressure on the suction side or the inlet side so that the fluid will be sucked in, then in the water pump thrown so that it has a high speed which is then converted into pressure released on the exit side with higher pressure. The movement of the pump requires energy from the outside obtained from the motor. To see the flow of water in a centrifugal pump there is still a shortage in the centrifugal pump props due to volute casing on non-transparent centrifugal pumps.

At the centrifugal pump there is an impeller that is the core of the centrifugal pump, in this research the impeller and volute casing will be made by applying the CAD CAM design and proceed with the process of making it using CNC process. For the manufacture of impeller, the type of impeller used is semi-open impeller with 23.5 mm inner diameter, 70.5 mm outer diameter, 3 mm blade width and 5 pieces blade. Testing tool is to see the pressure generated on suction pipe and discharge, pressure can be seen by looking at mercury manometer of U pipe and got result Δh for suction of 0.09 m and Δh for discharge equal to 0.07 with suction pressure equal to 89 kpa and discharge pressure of 110 kpa. The water discharge generated by the pump is 26 L / min.

***Keywords**: Centrifugal pump, Impeller, Volute Casing, CAD, CAM, and CNC*

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT ii
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing iii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji iv
Halaman Persembahan v
Halaman Motto vi
Kata Pengantar vii
Abstrak ix
Abstract x
Daftar Isi xi
Daftar Tabel xiv
Daftar Gambar xv
Daftar Notasi xvii
Bab 1 Pendahuluan 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 1
1.3 Batasan Masalah 2
1.4 Tujuan Perancangan 2
1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan 2
1.6 Sistematika Penulisan 2
Bab 2 Tinjauan Pustaka 4
2.1 Kajian Pustaka 4
2.1.1 Alat Peraga Pompa Sentrifugal 4
2.1.2 *Impeller* 5
2.1.3 *Blade Impeller* 6
2.1.4 Aliran Dalam Pipa 6
2.2 Dasar Teori 7
2.2.1 Alat Peraga 7
2.2.2 Tujuan dan Manfaat Alat Peraga 7
2.2.3 CAD, CAM dan CNC 8
2.2.4 Pompa Sentrifugal 8

2.2.5 *Impeller* 9
2.2.6 Perencanaan *Impeller* 10
2.3 *Molding* 17
2.3.1 *Cavity* dan *Core* 17
2.4 Manometer Air Raksa Pipa U 18
2.4.1 Manometer 18
2.4.2 Fungsi Manometer 18
2.4.3 Prinsip Kerja Manometer Air Raksa Pipa U 19
2.4.4 Perhitungan Tekanan Manometer Air Raksa Pipa U 20
2.5 Aliran Dalam Pipa 20
Bab 3 Metodologi Penelitian 23
3.1 Alur Penelitian 23
3.2 Menentukan Konsep Desain Perancangan Alat 24
3.3 Membuat Desain Alat 24
3.3.1 *Impeller* 24
3.3.2 *Volute Casing* (Rumah *Impeller*) 25
3.4 Alat dan Bahan 25
3.4.1 Alat 25
3.4.2 Bahan 25
3.5 Proses Pembuatan Alat 26
3.6 Sistem Kerja Alat 27
3.7 Melakukan Uji Coba Alat 28
3.7.1 Prosedur Pengujian Alat 28
3.8 Hasil Perhitungan *Impeller* 29
3.8.1 Daya Penggerak Motor 29
3.8.2 Diameter Poros (*dp*) 30
3.8.3 Dimensi *Blade* Pada Sisi Masuk 30
3.8.4 Dimensi *Blade* Pada Sisi Keluar 32
3.8.5 Perencanaan *Blade Impeller* 33
Bab 4 Hasil dan Pembahasan 36
4.1 Hasil Perancangan Alat 36
4.1.1 *Impeller* 36

4.1.2 *Volute Casing* (Rumah *Impeller*) 38
4.1.3 Proses *Assembly* Alat Peraga Pompa Sentrifugal 47
4.2 Pengujian Alat 48
4.3 Hasil Pengujian 48
4.4 Aliran Dalam Pipa 50
4.5 Aliran Air Dalam Rumah Pompa 53
4.6 Analisis dan Pembahasan 54
4.7 Penggunaan Pompa Sentrifugal Sebagai Alat Peraga 56
Bab 5 Penutup 57
5.1 Kesimpulan 57
5.2 Saran 57
Daftar Pustaka 58
Lampiran 1 60

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Dimensi *Impeller* pada Penelitian Ilham Wahyudi 6
Tabel 3.1 Alat yang Digunakan 25
Tabel 3.2 Bahan yang Digunakan Untuk Pembuatan dan Pengujian Alat 26
Tabel 3.3 Bahan yang Digunakan Untuk Pembuatan Cetakan *Volute Casing* . 26
Tabel 3.4 Perhitungan Perubahan Jari-jari Kelengkungan 34
Tabel 4.1 Koefisien Hambatan Belokan 51
Tabel 4.2 Perbandingan *Head* dan Debit Air 52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Alat Peraga Pompa Sentrifugal 4
Gambar 2.2 Hasil Perancangan *Impeller* 5
Gambar 2.3 Pompa Sentrifugal 9
Gambar 2.4 Jenis-jenis *Impeler* 10
Gambar 2.5 Efisiensi *Overall* 11
Gambar 2.6 Koefisien Kecepatan K_{cm1} dan K_{cm2} 12
Gambar 2.7 Pompa Sentrifugal Menggunakan *Diffuser Casing* 15
Gambar 2.8 Pompa Sentrifugal Menggunakan *Volute Casing* 16
Gambar 2.9 Pompa Sentrifugal Menggunakan *Vortex Casing* 16
Gambar 2.10 *Cavity* dan *Core* 17
Gambar 2.11 Manometer Pipa U 18
Gambar 2.12 Ilustrasi Skema Manometer U 19
Gambar 2.13 a) Aliran Laminer, b) Aliran Turbulen 21
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian 23
Gambar 3.2 Sistem Kerja Alat Pompa Sentrifugal 27
Gambar 3.3 Pembacaan Grafik Koefisien Kecepatan 30
Gambar 3.4 Gambar *Blade Impeller* 35
Gambar 4.1 Proses Desain *Impeller* 36
Gambar 4.2 Ukuran Utama *Impeller* 37
Gambar 4.3 Hasil CNC *impeller* 38
Gambar 4.4 Desain *Cavity* Untuk *Casing* Bagian Depan 38
Gambar 4.5 Desain *Cavity* Untuk *Casing* Bagian Belakang 39
Gambar 4.6 Desain *Core* Untuk *Casing* Bagian Depan 40
Gambar 4.7 Desain *Core* Untuk *Casing* Bagian Belakang 41
Gambar 4.8 Produk Cetakan Gagal pada Proses CNC 42
Gambar 4.9 Cetakan *Volute Casing* 43
Gambar 4.10 Silikon yang Sudah Dituang Kedalam Cetakan Kayu 44
Gambar 4.11 Cetakan Awal Silikon 44
Gambar 4.12 Cetakan Akhir Silikon 45
Gambar 4.13 Beberapa Kegagalan Dalam Proses Pencetakan 45

Gambar 4.14 Proses Injeksi Resin Kedalam Silikon 46
Gambar 4.15 Hasil Akhir *Volute Casing* 46
Gambar 4.16 *Assembly* Alat Peraga Pompa Sentrifugal 47
Gambar 4.17 a) *Suction*, b) *Discharge* 49
Gambar 4.18 Faktor Gesek Darcy dari Persamaan Colebrook 50
Gambar 4.19 Grafik Perbandingan Teoritis H dan Q 53
Gambar 4.20 Aliran Air Dalam Rumah Pompa 54
Gambar 4.21 Bagian yang Mengalami Kebocoran 55

DAFTAR NOTASI

n = Putaran Motor (*Rpm*)

Q = Debit Pompa (m^3/s)

H = *Head* Pompa (*m*)

i = Jumlah lingkaran

γ = Massa Jenis Air (Kg/m^2)

η = Efisiensi

β_1 = Sudut Masuk *Impeller* (^{o})

β_2 = Sudut Keluar *Impeller* (^{o})

z = Jumlah *Blade*

$\Delta\beta$ = Perubahan Besar Sudut Kelengkungan (^{o})

ΔR = Jarak Antar Masing-masing Lingkaran (*mm*)

Δh = Selisih Air Raksa dan Air Dalam Pompa (*m*)

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Secara umum pompa digunakan untuk memindahkan fluida dari suatu tempat ketempat yang lain seperti memindahkan fluida dari tempat yang rendah ke tempat yang tinggi. Pada dasarnya prinsip kerja pompa sentrifugal adalah membuat tekanan rendah pada sisi isap atau sisi masuk sehingga fluida akan terhisap masuk dan di keluarkan pada sisi tekan atau pada sisi keluar dengan tekanan yang lebih tinggi. Untuk bekerja, pompa membutuhkan energi dari luar yang diperoleh dari motor penggerak (Sucipriadi, 2016).

Pompa sentrifugal merupakan salah satu jenis pompa yang memiliki *impeller* sebagai inti dari pompa sentrifugal tersebut, pada penelitian ini *impeller* dan *volute casing* akan dibuat dengan menerapkan ilmu desain CAD CAM dan dilanjutkan dengan proses pembuatannya menggunakan proses CNC.

Untuk melihat aliran air dalam rumah pompa sentrifugal masih terdapat kekurangan dikarenakan *volute casing* pada pompa sentrifugal yang tidak transparan. Oleh karena itu pembuatan alat peraga pompa sentrifugal pada penelitian ini dibuat untuk mempermudah dalam melihat aliran air yang terdapat dalam *volute casing*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang yang di atas, maka dapat ditentukan rumusan masalah yaitu bagaimana cara membuat instalasi pompa sentrifugal yang dapat diamati dan mempermudah dalam melihat aliran air yang terdapat dalam *volute casing*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam perancangan ini bertujuan agar apa yang diinginkan dapat dicapai dengan maksimal, batasan masalah yang ditentukan adalah sebagai berikut:

1. Pompa yang digunakan adalah pompa sentrifugal.
2. Jenis dari *impeller* yang digunakan adalah *semi-open impeller*.
3. *Output* pengujian adalah Q(debit air), H(*head* pompa) dan *∆p*(tekanan) pada *suction* dan *discharge.*
4. Putaran motor penggerak 2800 *rpm*.

1.4 Tujuan Perancangan

Tujuan dari penelitian dan perancangan tugas akhir ini adalah dapat membuat alat peraga sistem pompa sentrifugal yang dapat memperlihatkan aliran air dalam pompa sentrifugal.

1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan

Manfaat dalam pembuatan alat peraga pompa sentrifugal ini adalah:

1. Mengetahui dari proses pembuatan instalasi alat peraga pompa sentrifugal.
2. Dapat mengetahui cara pengaplikasian ilmu CAD, CAM dan CNC dalam mendukung pembuatan instalasi pompa sentrifugal.
3. Dikarenakan *casing impeller* transparan, maka dapat dijadikan sebagai alat uji aliran air pada pompa sentrifugal dalam perkuliahan.

1.6 Sistematika Penulisan

Pada bagian ini dituliskan urut-urutan dan sistematika penulisan yang dilakukan. Berikut adalah ringkasan mengenai isi masing-masing bab, yaitu:

1. Bab I Pendahuluan, yang berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian atau perancangan, manfaat penelitian atau perancangan serta sistematika penulisan laporan.

2. Bab II Tinjauan Pustaka berisi tentang kajian pustakan dan hasil-hasil yang diperoleh dari penelitian sebelumnya dan teori yang dapat dijadikan dasar untuk penyelesaian masalah tugas akhir ini.
3. Bab III Metodologi Penelitian berisi tentang alur dari penelitian, alat dan bahan yang digunakan dalam perancangan, kemudian perancangan alat peraga.
4. Bab IV Hasil dan Pembahasan berisi tentang hasil perancangan dan pengujian, kemudian berisi tentang analisis dan pembahasan.
5. Bab V Penutup, yang berisi tentang kesimpulan dari semua uraian yang dijabarkan pada bab sebelumnya dan saran agar penelitian dan perancangan selanjutnya bisa lebih baik.

BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

2.1.1 Alat Peraga Pompa Sentrifugal

Pada penelitian yang dilakukan oleh Wahyu Sulistya (2013) tentang perencanaan perawatan dan perbaikan alat peraga instalasi pompa jenis pompa sentrifugal dengan kapasitas 30 L/min telah membuat alat peraga pompa sentrifugal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



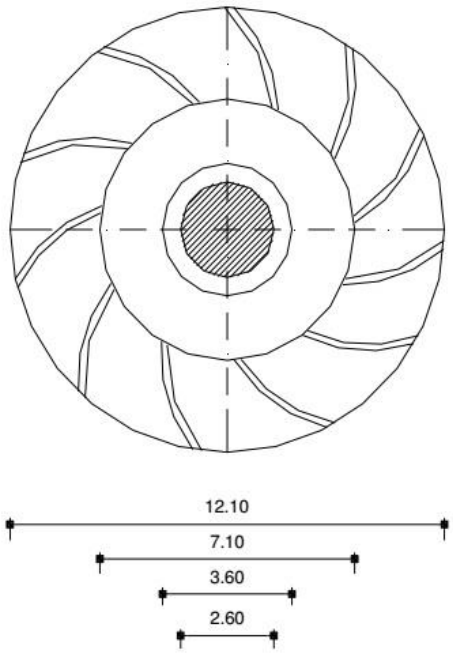
Gambar 2.1 Alat Peraga Pompa Sentrifugal

Sumber: (Sulistya, 2013)

Pada gambar tersebut ditunjukkan bahwa alat peraga pompa sentrifugal yang dibuat masih belum transparan pada pipa dan rumah pompa sehingga pola, karakteristik aliran air dan sistem kerja dalam rumah pompa tidak terlihat. Maka dari itu pada penelitian ini akan membuat pipa dan rumah pompa menjadi transparan agar dapat memperlihatkan aliran air dalam rumah pompa.

2.1.2 *Impeller*

Impeller adalah bagian yang terpenting dalam pompa sentrifugal, *impeller* merupakan inti dari bagaimana pompa sentrifugal bekerja. Perancangan *impeller* sebelumnya sudah pernah dilakukan oleh Ilham Wahyudi (2013) yang digunakan untuk perancangan pompa guna pemenuhan kebutuhan air bersih PDAM di Kota Probolinggo. Pada penelitian tersebut membahas tentang bagaimana merancang *impeller*. Hasil dari perancangan *impeller* lihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Hasil Perancangan *Impeller*

Sumber: (Wahyudi, 2013)

Pompa sentrifugal yang dirancang pada penelitian tersebut menjadi tinjauan untuk penelitian ini karena pompa sentrifugal yang dirancang memiliki kapasitas yang tidak terlalu besar. Berikut adalah dimensi untuk *impeller* yang didesain bisa dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Dimensi *Impeller* Pada Penelitian Ilham Wahyudi.

Jenis Pompa = Pompa Sentrifugal	Diameter Luar (b_2) = 36.2 *mm*
Kecepatan Motor = 1500 *rpm*	Sudut Masuk *Impeller* (β_1) = 17^o
Tebal *Blade Impeller* = 5 *mm*	Sudut Keluar *Impeller*(β_2) = 25^o
Diameter Dalam (d_1) = 21.4 *mm*	Jumlah *Blade Impeller* = 11 buah

Sumber: (Wahyudi, 2013)

Dari perancangan desain *impeller* yang terdapat pada jurnal tersebut akan dilakukan penelitian dengan kecepatan motor yang lebih besar yaitu dengan 2800 *rpm* dan dengan jumlah *blade* yang lebih sedikit dari penelitian sebelumnya. Penelitian Ilham Wahyudi tersebut dijadikan sebagai acuan untuk merancang pompa sentrifugal karena kapasitas yang digunakan tidak terlalu besar sesuai dengan alat peraga untuk pompa sentrifugal yang berkapasitas kecil.

2.1.3 *Blade Impeller*

Pada penelitian yang dilakukan oleh Achmad Aliyin Musyafa dan Indra Herlamba Siregar (2015) tentang pengaruh jumlah *blade* sentrifugal *impeller* terhadap kapasitas dan efisiensi pompa sentrifugal didapatkan hasil penelitian semakin banyak jumlah *blade* maka kapasitas dan efisiensi pompa semakin meningkat, karena semakin banyak *blade* semakin banyak pula fluida yang diangkat. Pada jumlah *blade* 5 kapasitas pompa menjadi 35.92 L/min dan efisiensi sebesar 33.24 % dan jika jumlah *blade* 4 kapasitas pompa menjadi 33.40 L/min dan efisiensi sebesar 31.18 %.

2.1.4 Aliran Dalam Pipa

Eko Singgih Priyanto (2008) melakukan penelitian tentang aliran fluida pada pipa *acrylic* dengan diameter 12.7 mm (0.5 Inch) dan 38.1 mm (1.5 inch) dengan permukaan halus. Hasil analisa air pada pipa apabila pada kecepatan yang sama (V = Konstan), jika semakin besar diameter(D) pipa pengujian, maka nilai koefisien gesek akan naik. Begitu juga sebaliknya, jika semakin kecil diameter(D) pipa penguji, maka koefisien gesek akan menurun.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Alat Peraga

Alat peraga merupakan segala sesuatu yang dapat digunakan untuk menyalurkan pesan dan dapat merangsang pikiran, perasaan, perhatian dan kemauan siswa sehingga dapat mendorong terjadinya proses belajar pada siswa. Menurut Nana Sudjana (2008) alat peraga pendidikan adalah suatu alat yang dapat diserap oleh mata dan telinga dengan tujuan membantu agar proses belajar mengajar siswa lebih efektif dan efisien.

2.2.2 Tujuan dan Manfaat Alat Peraga

Tujuan dari alat peraga menurut Muhammad Fairuzabadi (2011) yaitu:

1. Alat peraga bertujuan agar proses pendidikan lebih efektif dengan jalan meningkatkan semangat belajar mahasiswa,
2. Alat peraga memiliki manfaat agar belajar lebih cepat segera bersesuaian antara kelas dan diluar kelas, alat peraga memungkinkan mengajar lebih sistematis dan teratur.

Manfaat dari penggunaan alat peraga yaitu menurut Muhammad Fairuzabadi (2011) yaitu:

1. Mempermudah penyampaian materi pendidikan atau informasi oleh para pendidik atau pelaku Pendidikan.
2. Dapat mendorong keinginan orang untuk mengetahui, kemudian lebih mendalami, dan akhirnya mendapatkan pengertian yang lebih baik. Orang yang melihat sesuatu yang memang diperlukan tentu akan menarik perhatiannya dan apa yang dilihat dengan penuh perhatian akan memberikan pengertian baru baginya, yang merupakan pendorong untuk melakukan atau memakai sesuatu yang baru tersebut.

2.2.3 CAD, CAM dan CNC

CAD (*Computer Aided Desaign*) adalah teknologi yang berkaitan dengan penggunaan sistem komputer untuk membantu dalam penciptaan, modifikasi, analisis dan optimasi desain. Setiap program komputer yang mengaktifkan komputer grafis dan program aplikasi memfasilitasi fungsi rekayasa dalam proses desain dapat diklasifikasikan sebagai perangkat lunak (Fauzi, 2014).

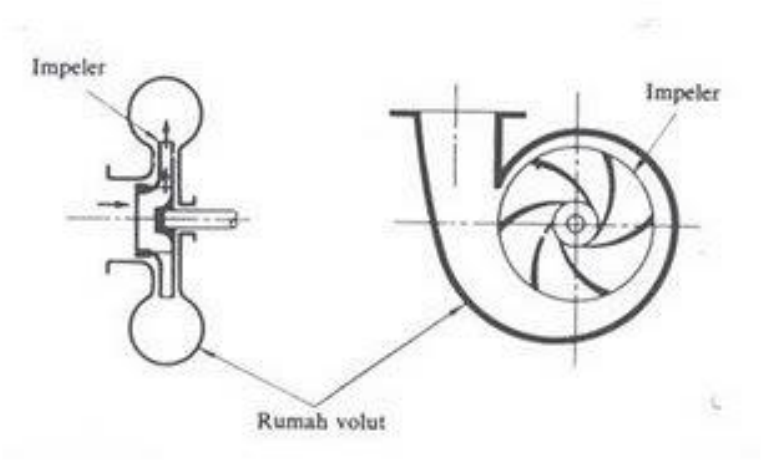
CAM (*Computer Aided Manufacturing*) adalah proses manufaktur yang dibantu oleh komputer yang merencanakan, mengelola dan mengendalikan operasi manufaktur. CAM berhubungan erat dengan istilah NC (Numeric Control) menurut Sudjanayogi (2010), CAM adalah teknik yang menggunakan instruksi pemrograman untuk mengontrol mesin yang bisa mengubah benda mentah menjadi bagian-bagian barang jadi.

CNC (*Computer Numerically Controlled*) merupakan sebuah sistem operasi yang dikontrol menggunakan sebuah komputer internal, teknologi CNC adalah metode yang terbaik saat ini untuk memenuhi produk pasar terhadap keperluan akan komponen manufaktur, disebabkan karena ketelitian dan efesiensi yang dimiliki. Kehandalan dari CNC tidak terlepas dari komponen-komponen pendukungnya, seperti operator(*brainware*), perangkat keras(*hardware*) dan perangkat lunak(*software*) (Syahriza, Firsa, & Ibrahim, 2015).

2.2.4 Pompa Sentrifugal

2.2.4.1 Pengertian Pompa Sentrifugal

Menurut Claudio Aditya Sucipriadi (2016) pompa beroperasi dengan prinsip membuat perbedaan tekanan antara bagian masuk (*suction*) dengan bagian keluar (*discharge*). Dengan kata lain, pompa berfungsi mengubah mekanis dari sumber penggerak menjadi tenaga kinetis(kecepatan), tenaga kinetis(kecepatan) berfungsi untuk mengalirkan fluida dan mengatasi hambatan yang ada sepanjang pengaliran. Pompa sentrifugal termasuk salah satu jenis pompa yang memiliki *impeller* berfungsi untuk melempar fluida sehingga memiliki kecepatan tinggi yang dikonversi menjadi tekanan. (lihat Gambar 2.3).



Gambar 2.3 Pompa Sentrifugal

Sumber: (Sularso & Tahara, 2000)

Pada prinsipnya, pompa sentrifugal mempunyai dua komponen utama yaitu:

1. Elemen berputar yaitu: *impeller* dan poros.
2. Elemen stasioner atau diam yaitu: rumah pompa(*casing*).

Pompa sentrifugal banyak digunakan karena mempunyai beberapa kelebihan yaitu:

1. Dimensi kecil, konstruksi sederhana dan biaya operasi rendah.
2. Keausan kecil karena pada bagian dalam tidak ada bagian yang saling bersinggungan.
3. Dapat dikopel langsung dan mudah untuk disesuaikan dengan putaran tinggi dari motor penggerak.

2.2.5 *Impeller*

Menurut Indar Luh Sepdyanuri (2016) *impeller* dibagi menjadi 3 jenis dilihat dari bentuknya yaitu, (dapat dilihat pada Gambar 2.4):

1. *Impeller* Tertutup

Disebut sebagai *impeller* tertutup karena baling-baling di dalamnya tetutupi oleh mantel di kedua sisi. Jenis *impeller* ini banyak digunakan pada pompa air dengan tujuan mengurung air agar tidak berpindah dari sisi pengiriman kesisi

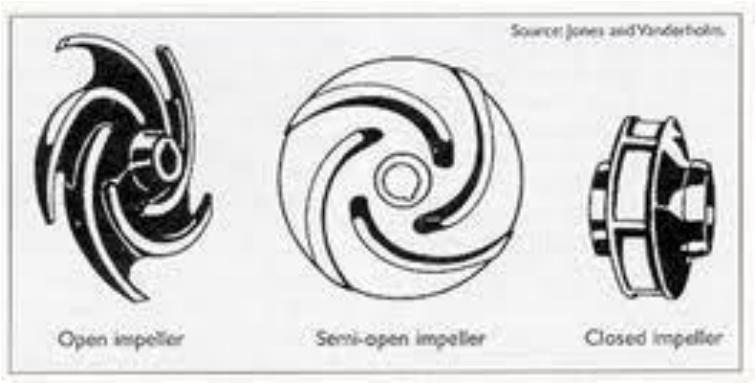
penghisapan. *Impeller* jenis ini memiliki kelemahan pada kesulitan yang akan didapat jika terdapat rintangan atau sumbatan.

2. *Impeller* Terbuka dan Semi Terbuka

Dengan kondisinya yang terbuka atau semi terbuka, maka kemungkinan adanya sumbatan jauh berkurang. Hal ini memungkinkan adanya pemeriksaan *impeller* dengan mudah. Namun, jenis *impeller* ini hanya dapat diatur secara manual untuk mendapatkan setelan terbaik.

3. *Impeller* Pompa Berpusar (*Vortex*)

Untuk pompa yang digunakan untuk bahan-bahan yang lebih padat ataupun berserabut dari fluida cair, *impeller vortex* dapat menjadi pilihan yang baik. Namun, pompa jenis ini 50% kurang efisien dari rancangan konvensional.



Gambar 2.4 Jenis-jenis *Impeller*

Sumber: (Nunulasa, 2013)

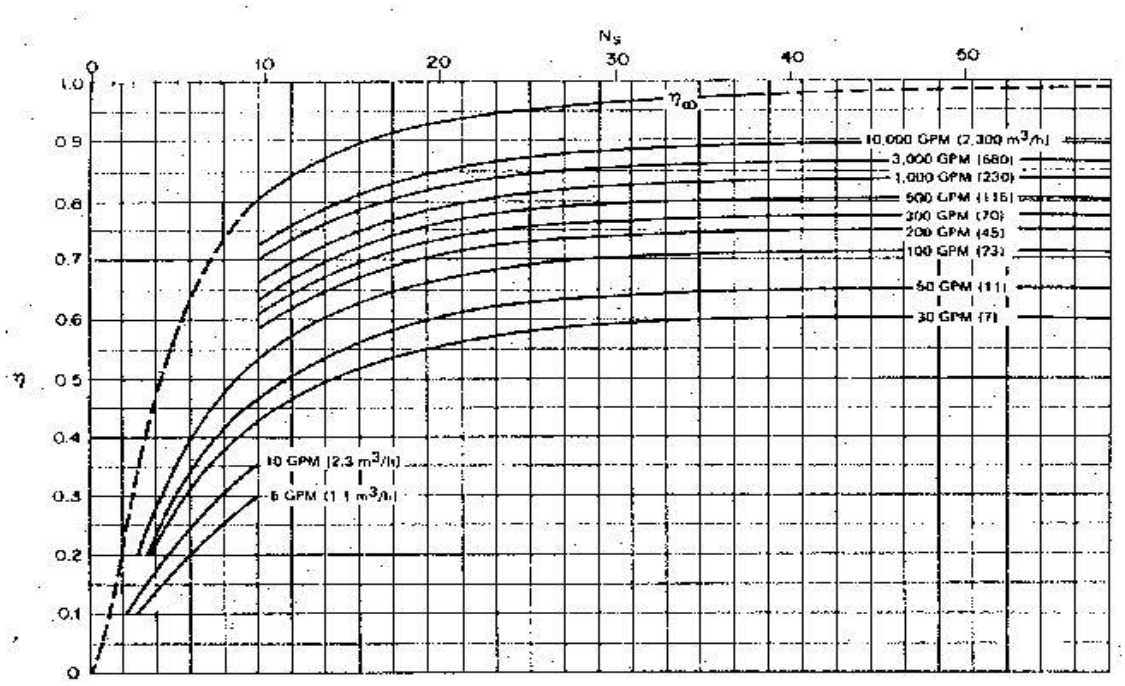
2.2.6 Perencanaan *Impeller*

Perencanaan suatu *impeller* dimulai dengan menentukan ukuran utama *impeller* sesuai dengan kondisi pemompaan yang diinginkan. Setelah penentuan tersebut, barulah bentuk atau dimensi *impeller* secara keseluruhan dihitung dan digambar.

2.2.6.1 Daya Motor Penggerak

Perhitungan daya motor penggerak memerlukan data efisiensi *overall* dari pompa yang akan dibuat. Efisiensi *overall* dapat diprediksi dari data-data *test* efisiensi pompa sentrifugal yang dilakukan oleh Wislicenus pada tahun 1947

dengan 528 data dari *test* efesiensi tersebut diperlihatkan pada Gambar 2.5, untuk memprediksi diperlukan kecepatan spesifik dari pompa yang akan dibuat.



Gambar 2.5 Efisiensi *Overall.*

Sumber: (Dietzel, 1988)

1. Kecepatan Spesifik

$$ns = \frac{n.\sqrt{Q}}{H^{0.75}} \qquad Rpm \qquad (2.1)$$

2. Daya Proses

$$p_{sh} = \frac{g.\gamma.Q.H}{1000.\eta} \qquad Hp \qquad (2.2)$$

Notasi γ menyatakan berat jenis air yang dipompa yaitu 1000 *kg/m2*.

3. Daya Motor Penggerak

$$Pm = 1.15\,.p_{sh} \qquad Hp \qquad (2.3)$$

2.2.6.2 Diameter Poros (*dp*)

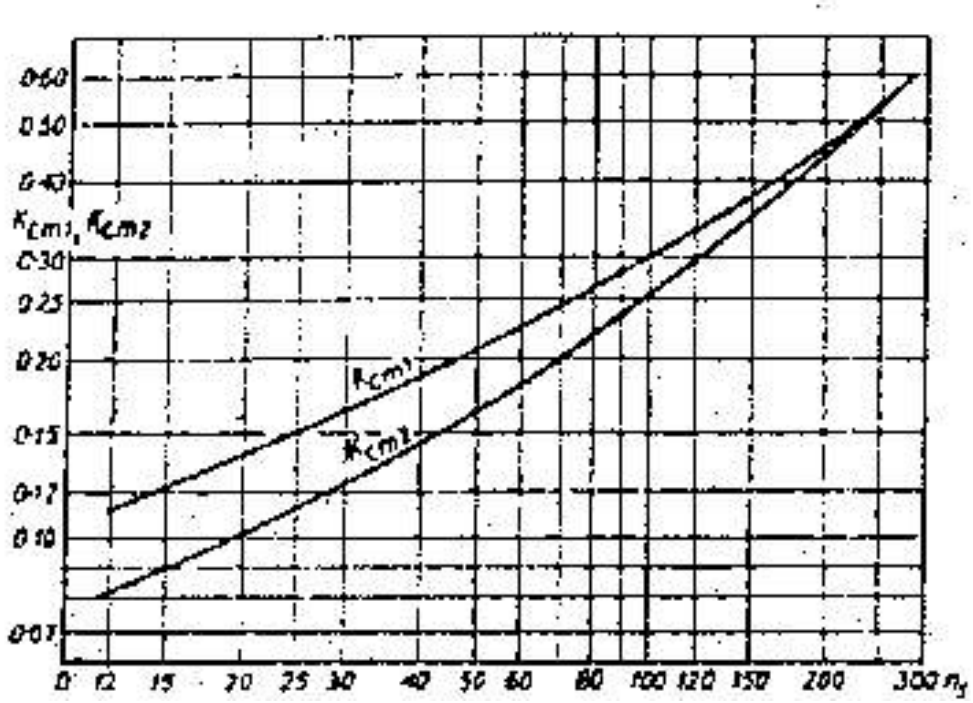
Untuk diameter poros mengikuti dari poros aktual motor penggerak.

2.2.6.3 Dimensi *Blade* Pada Sisi Masuk

1. Diameter Dalam *Impeller*

   a. Koefisien Kecepatan

   Koefisien kecepatan digunakan untuk mencari nilai dari komponen meridian dari kecepatan absolut *cm*. Koefisien kecepatan dari Gambar 2.6 didapat dengan memakai *ns* sebagai absis, untuk *ns* diambil dari Persamaan (2.1). Koefisien kecepatan K_{cm1} digunakan untuk mencari komponen meridian dari kecepatan absolut pada *inlet* c_{m1} dan K_{cm2} untuk mencari c_{m2}.



Gambar 2.6 Koefisien Kecepatan K_{cm1} dan K_{cm2}.

Sumber: (Dietzel, 1988)

   b. Kecepatan Radial Sisi Masuk *Blade*

$$c_{m1=}k_{cm1}\sqrt{2.g.H} \qquad m/s \qquad (2.4)$$

   c. Kecepatan Absolut Air Memasuki *Impeller*

$$Vo = 0.8 \times c_{m1} \qquad m/s \qquad (2.5)$$

   d. Diameter Hisap *Impeller*

$$do = \sqrt{\frac{4.Q_p}{\pi.Vo} + (dp)^2} \qquad mm \qquad (2.6)$$

e. Diameter Dalam *Impeller*

$$d_1 = do \qquad mm \qquad (2.7)$$

2. Sudut Masuk *Impeller*

a. Kecepatan Keliling pada Sisi Masuk

$$U_1 = \frac{\pi.d_1.n}{60} \qquad m/s \qquad (2.8)$$

b. Sudut Sisi Masuk

Fluida dianggap masuk *impeller* secara radial, sehingga sudut masuk absolut ($\alpha 1$) = 90^o, maka sudut ($\beta 1$) dihitung dengan:

$$\tan \beta_1 = \frac{c_{m1}}{U_1} \qquad (^o) \qquad (2.9)$$

2.2.6.4 Dimensi *Blade* Pada Sisi Keluar

1. Sudut Keluar *Impeller*

Pengaruh sudut β_2 pada *head* pompa tidak terlalu besar. Kenaikan β_2 secara teoritis menyebabkan kenaikan *head* pompa, menyebabkan pula penurunan efisiensi hidrolis, yang pada gilirannya juga akan menurunkan *head* pompa. Berkaitan dengan hal tersebut terdapat beberapa *test* telah menunjukkan bahwa variasi sudut β_2 antara 20^0- 30^0 tidak memberi dampak yang berarti pada *head* pompa.

Sudut β_2 yang umum di pakai adalah antara 17^o-30^0 untuk efisiensi *overall* terbaik. Tapi sudut β_2 mungkin juga ditentukan di atas nilai tersebut terutama bila diinginkan *head* yang sangat besar.

2. Diameter Luar *Impeller*

Dengan mengambil referensi dari Khertagurov, jika (*ns* = 10-60) maka perbandingan antara *d2/d1* = 2,5 sampai 3,5 sehingga dalam perencanaan digunakan rumus:

$$\frac{d_2}{d_1} = (2.5 - 3.5) \qquad mm \qquad (2.10)$$

2.2.6.5 Perencanaan *Blade Impeller*

Pada perencanaan *blade impeller*, pemilihan bentuk *blade* adalah sangat penting karena jumlah *blade* dan bentuk *blade* mempengaruhi dari *head* yang dihasilkan pompa. *blade* tidak boleh dibuat terlalu panjang karena akan menambah kerugian gesekan dan juga kontraksi dari ruang penampang. Faktor utama yang mempengaruhi pembentukan *blade* adalah besarnya sudut pada perencanaan *blade impeller*, pemilihan bentuk *blade* adalah sangat penting karena jumlah *blade* dan bentuk *blade* mempengaruhi dari *head* yang dihasilkan pompa. *Blade* tidak boleh dibuat terlalu panjang karena akan menambah kerugian gesekan dan juga kontraksi dari ruang penampang. Faktor utama yang mempengaruhi pembentukan *blade* adalah besarnya sudut θ_2.

1. Jumlah *Blade Impeller.*

   Jumlah *blade impeller* dapat memberikan pengarahan yang baik kepada fluida yang dipompakan. Jumlah *blade impeller* yang terlalu banyak akan menyebabkan semakin besarnya kerugian gesekan. Untuk menghitung jumlah *blade impeller* dapat menggunakan persamaan:

$$Z = 6.5 \frac{d_2+d_1}{d_2+d_1} sin\left[\frac{\beta_2+\beta_1}{2}\right] \qquad (2.11)$$

2. Pelukisan Bentuk *Blade.*

   Untuk menggambarkan *blade* ada dua macam cara umum yang digunakan yaitu:

a. Metode Arcus Tangen

b. Metode Koordinat polar

Pada perencanaan ini dipakai metode arcus tangen dengan pertimbangan bahwa cara tersebut lebih akurat dan efisien dibandingkan dengan cara koordinat polar. Pada metode ini *impeller* dibagi menjadi beberapa lingkaran yang konsentris diantara jari-jari R_1 dan R_2 yaitu lingkaran a, b and c. Dan jarak antara masing-masing lingkaran (ΔR) yaitu:

$$\Delta R = \frac{R_2-R_1}{i} \qquad (mm) \qquad (2.12)$$

Dimana: R_1 = Jari-jari *Impeller* Dalam

R_2 = Jari-jari *Impeller* Luar

i = Jumlah Lingkaran

Perubahan besaran sudut kelengkungan ($\Delta\beta$) yaitu:

$$\Delta\beta = \frac{\beta_2 - \beta_1}{i} \quad (^o) \qquad (2.13)$$

Dimana: β_1 = Sudut Sisi Masuk *Impeller*

β_2 = Sudut Sisi Keluar *Impeller*

i = Jumlah Lingkaran

Jari-jari busur pada setiap lingkaran dapat dihitung dengan persamaan:

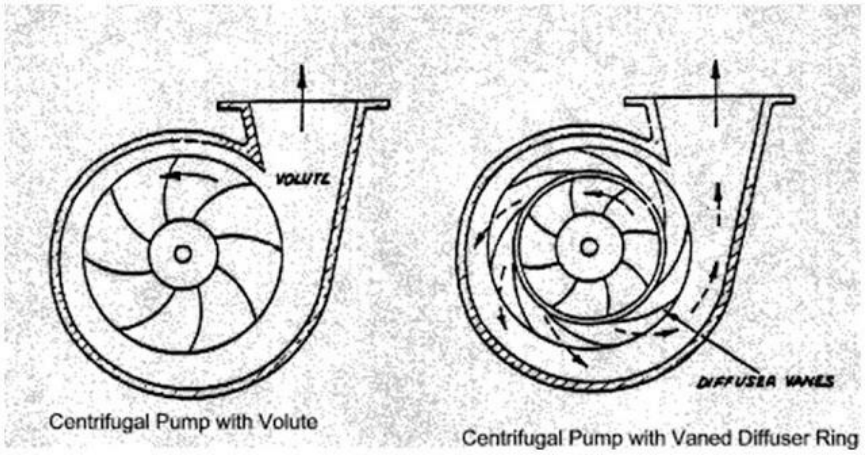
$$\rho = \frac{{R_2}^2 - {R_1}^2}{2\left((R_2 \cos\beta_2) - (R_1 \cos\beta_1)\right)} \qquad (2.14)$$

2.2.6.6 Rumah Pompa

Rumah pompa berfungsi untuk menampung dan mengarahkan fluida yang dikeluarkan *outlet impeller* ke *discharge nozzle* sekaligus merubah *head* kecepatan menjadi tekanan. Pada umumnya rumah pompa dapat digolongkan menjadi tiga macam:

1. *Diffuser Casing*

Rumah pompa mempunyai ruangan berbentuk cincin dengan *diffuser* disekeliling *impeller* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7. Karena *blade diffuser* disamping memperbaiki efisiensi pompa, juga menambah kokoh rusuk pompa, maka konstruksi ini sering dipakai pada pompa dengan *head* tinggi dan untuk pompa bertingkat.

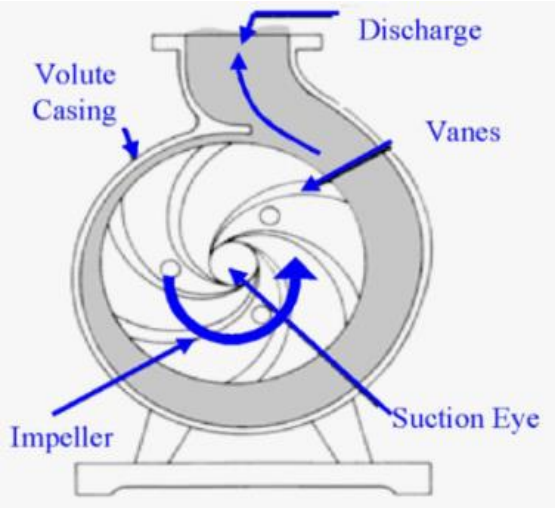


Gambar 2.7 Pompa Sentrifugal Menggunakan *Diffuser Casing*.

Sumber: (Beardmore, 2013)

2. *Volute Casing*

Sebuah pompa sentrifugal dimana fluida dari *impeller* langsung dibawa ke rumah *volute*. Jenis ini mempunya laluan yang berbentuk spiral dengan penampang berangsur-angsur meluas kearah sisi keluar seperti pada Gambar 2.8, bentuk ini banyak dipakai pada pompa jenis satu tingkat.

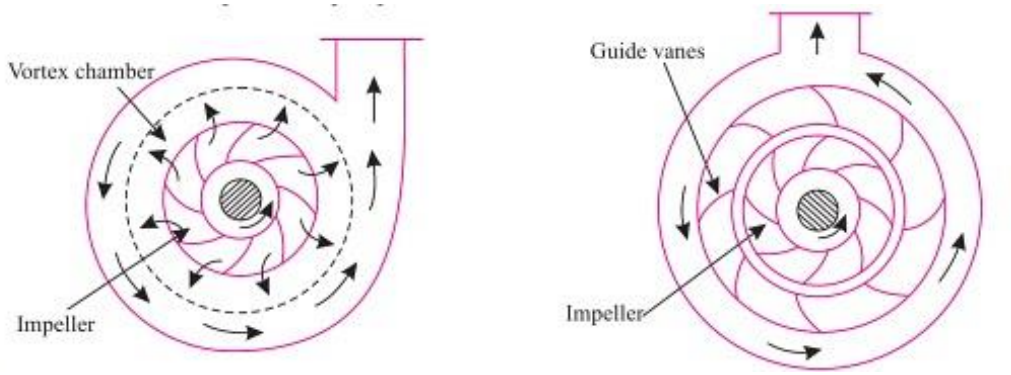


Gambar 2.8 Pompa Sentrifugal Menggunakan *Volute Casing.*

Sumber: (Okarof, 2015)

3. *Vortex Casing*

Rumah pompa ini mirip dengan rumah keong tetapi pada *vortex casing* terdapat ruang antara *impeller* dengan *casing* yang disebut *vortex* seperti pada Gambar 2.9. Jenis ini tidak mudah tersumbat sehingga sesuai untuk pompa air limbah.



Gambar 2.9 Pompa Sentrifugal Menggunakan *Vortex Casing.*

Sumber: (Atta, 2014)

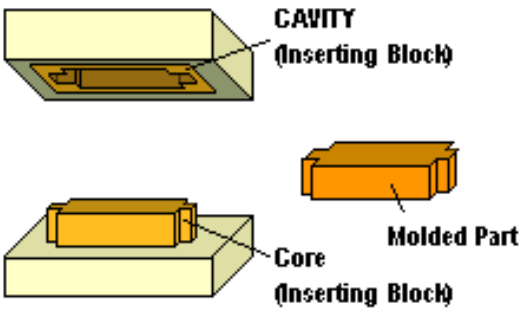
2.3 *Molding*

Molding atau pencetakan adalah sebuah proses produksi dengan membentuk bahan mentah menggunakan sebuah rangka kaku atau model yang disebut sebuah *mold*.

Sebuah *mold* adalah sebuah cetakan yang memiliki rongga di dalamnya yang akan diisi dengan material cair seperti plastik, gelas, atau logam. Cairan tersebut akan mengeras dan membentuk *part* sesuai dengan desain yang diinginkan.

2.3.1 *Cavity* dan *Core*

Cetakan terbentuk dari 2 bagian yaitu *cavity* dan *core*. Dalam *molding*, keduanya merupakan satu kesatuan yang tidak dapat dipisahkan, karena gabungan antara *cavity* dan *core* inilah yang akan membentuk desain dari sebuah komponen seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 *Cavity* dan *Core*.

Sumber: (Sagitta, 2009)

Dalam proses manufakturnya, *cavity* dan *core* dapat berupa satu kesatuan atau berupa bagian terpisah (ditanamkan / *inserting block*) seperti pada Gambar 2.10. Pemilihan proses manufakturnya tergantung dari faktor ekonomi dan desain dari benda yang akan dibuat.

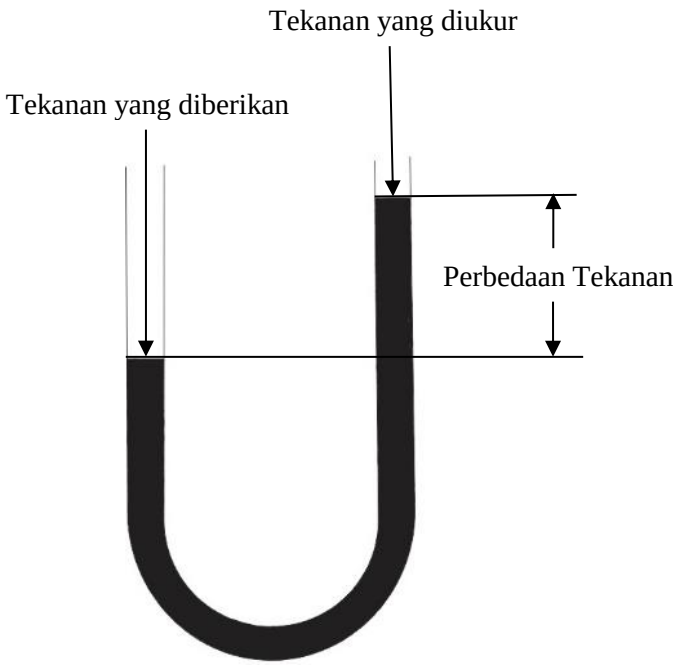
2.4 Manometer Air Raksa Pipa U

2.4.1 Manometer

Manometer adalah alat ukur tekanan udara didalam ruangan tertutup, menurut Setys Mufty (2016) Manometer air raksa terbuka digunakan untuk mengukur tekanan dalam ruang tertutup dengan tekanan sekitar 1 atmosfer. Pada pipa U berisi raksa, pada salah satu ujungnya dihubungkan dengan ruangan yang akan diukur tekanannya, sedangkan ujung lain berhubungan dengan udara luar(atmosfer).

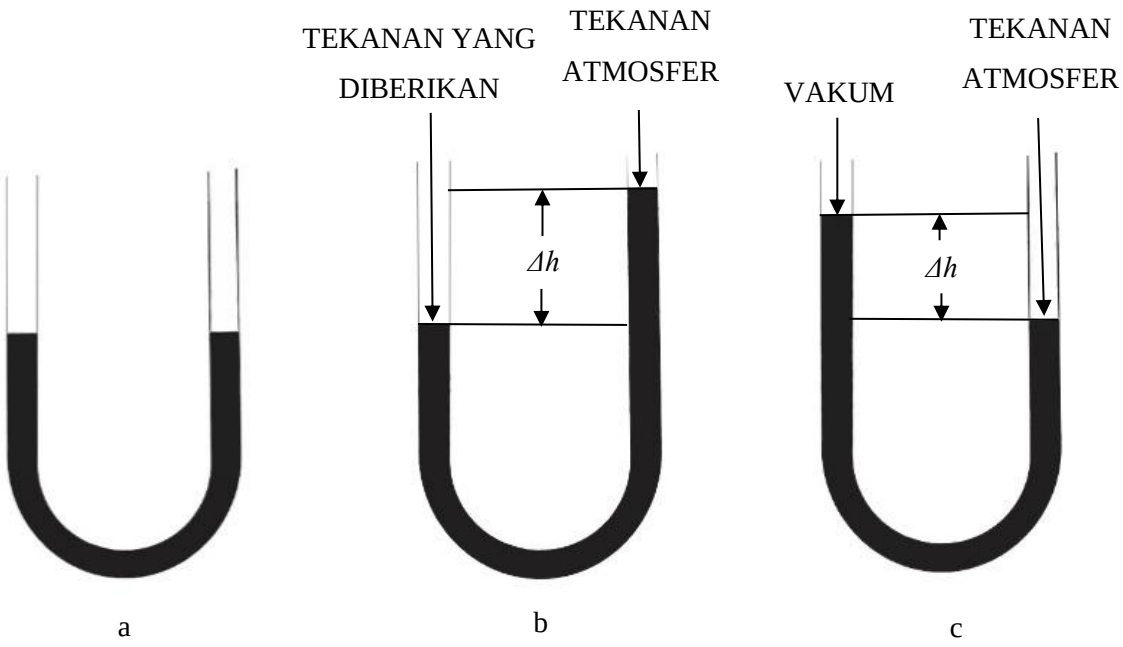
2.4.2 Fungsi Manometer

Manometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur perbedaan tekanan di dua titik yang berlawanan. Versi manometer sederhana kolom cairan adalah bentuk pipa U (lihat Gambar 2.11) yang diisi cairan setengahnya (biasanya berisi minyak, air atau air raksa) dimana pengukuran dilakukan pada satu sisi pipa, sementara tekanan (yang mungkin terjadi karena atmosfir) diterapkan pada tabung yang lainnya. Perbedaan ketinggian cairan memperlihatkan tekanan yang diterapkan (Al-Mukarrom Rajab, 2013).



Gambar 2.11 Manometer Pipa U

2.4.3 Prinsip Kerja Manometer Air Raksa Pipa U



Gambar 2.12 Ilustrasi Skema Manometer U

2.4.3.1 Manometer a

Dari Gambar 2.12, manometer a merupakan gambar sederhana manometer tabung U yang diisi dengan kedua ujung tabung terbuka berisi cairan yang sama tinggi. Merupakan gambaran sederhana manometer tabung U yang diisi cairan setengahnya, dengan kedua ujung tabung terbuka berisi cairan sama tinggi.

2.4.3.2 Manometer b

Untuk manometer b (lihat Gambar 2.12), bila tekanan positif diterapkan pada salah satu sisi tabung, cairan yang ditekan kebawah pada sisi tabung tersebut akan naik pada sisi tabung yang lainnya. Perbedaan pada ketinggian Δh merupakan penjumlahan hasil pembacaan dari perbedaan tekanan yang diberikan dan tekanan atmosfer.

2.4.3.3 Manometer c

Untuk manometer c (lihat Gambar 2.12), bila keadaan vakum diterapkan pada satu sisi tabung, maka cairan akan meningkat pada sisi lainnya. Perbedaan ketinggian Δh merupakan hasil penjumlahan dari vakum dari pompa dengan tekanan atmosfer yang menunjukkan jumlah tekanan vakum.

2.4.4 Perhitungan Tekanan Manometer Air Raksa Pipa U

Untuk mengetahui tekanan yang dihasilkan, pada manometer air raksa pipa pipa u dapat dicari menggunakan persamaan:

$$P = Patm - \rho gh \qquad (Kpa) \qquad (2.15)$$

Untuk Persamaan 2.15 digunakan pada saat keadaan manometer vakum, yaitu pada saat tekanan didalam lebih besar dari pada tekanan udara diluar. Dan jika tekanan diluar lebih besar dari pada tekanan didalam, dapat menggunakan persamaan berikut:

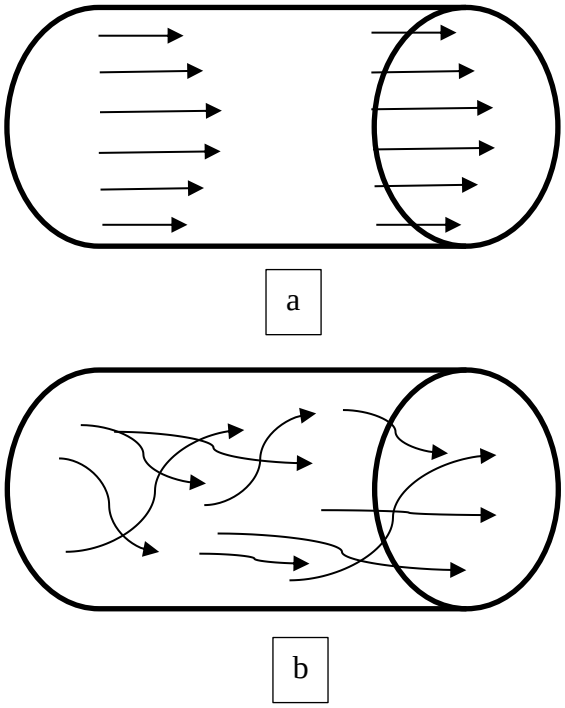
$$P = Patm + \rho gh \qquad (Kpa) \qquad (2.16)$$

2.5 Aliran Dalam Pipa

Yunus A. Cengel dan John M. Cimbala (2006) menyatakan fluida mengalir didalam pipa terdapat pada kehidupan sehari-hari, seperti air yang dialirkan ke rumah-rumah, gas dan minyak bumi yang disalurkan dengan jarak yang sangat jauh menggunakan pipa yang besar. Aliran dalam pipa tergantung dari jenis fluida apa yang mengalir dan bentuk penampangnya.

Pada aliran dalam pipa terdapat dua aliran yaitu yang pertama adalah aliran laminer yaitu aliran fluida yang bergerak dengan kondisi membentuk garis-garis alir dan tidak berpotongan satu sama lain. Aliran laminer relatif mempunyai kecepatan rendah yang tidak terdapat arus turbulen (pusaran air), yang kedua adalah aliran turbulen yaitu aliran fluida yang partikel-partikelnya bergerak secara acak dan tidak stabil dengan kecepatan yang berubah-ubah. Akibat dari hal

ini garis alir antara partikel fluidanya saling berpotongan. Aliran turbulen terjadi akibat permukaan yang tidak halus, itu menyebabkan terdapat gesekan antara fluida, aliran yang dihasilkan oleh laminer dan turbulen bias dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 a) Aliran Laminer, b) Aliran Turbulen

Dari aliran dalam pompa dapat ditentukan berapa daya yang dihasilkan pompa dengan menggunakan rumus:

$$P_{pompa} = \rho \times g \times Q \times (H + \frac{V^2}{2.g}) \quad (watt) \qquad (2.17)$$

ρ pada rumus ini menggunakan massa jenis air yaitu 1000 kg/m^3. Untuk H dapat dicari dengan $H_{elevasi}$ yaitu tinggi dari sisi masuk pipa sampai sisi keluar pipa ditambah dengan H_{losses} yaitu rugi-rugi total pada *head* yang dihasilkan. Secara umum rugi-rugi aliran dalam pipa dapat dibagi 2 yaitu:

1. *Major Losses* (*hf*): Rugi-rugi akibat gesekan pada dinding pipa.
2. *Minor Losses* (*hm*): Rugi-rugi akibat gangguan dalam aliran pipa, akibat adanya katup, perubahan penampang dan arah aliran.

Untuk rugi-rugi total pada *head* dicari dengan rumus:

$$H_{losses} = hf + hm \qquad (m) \qquad (2.18)$$

Rugi-rugi akibat gesekan dalam pipa dinyatakan dengan persamaan Darcy Weisbach:

$$hf = f\frac{L}{D}\frac{V^2}{2g} \qquad (m) \qquad (2.19)$$

f adalah faktor gesek Darcy yang didapatkan tergantung dari sifat aliran fluida yaitu laminer atau turbulen. Untuk mencari faktor gesek Darcy digunakan persamaan Colebrook. Kemudian untuk kecepatan dalam pipa berlaku rumus:

$$V = \frac{Q}{A} \qquad (m/s) \qquad (2.20)$$

Selain rugi-rugi yang dihasilkan oleh gesekan, ada juga rugi-rugi yang disebabkan oleh beberapa komponen dalam sistem perpipaan, yaitu: katup, belokan dan sebagainya yang disebut rugi-rugi *minor*. Walaupun begitu dalam beberapa kasus rugi-rugi *minor* bisa lebih besar daripada rugi-rugi gesekan. Untuk rugi-rugi *minor* berlaku persamaan:

$$hm = K\frac{V^2}{2g} \qquad (m) \qquad (2.21)$$

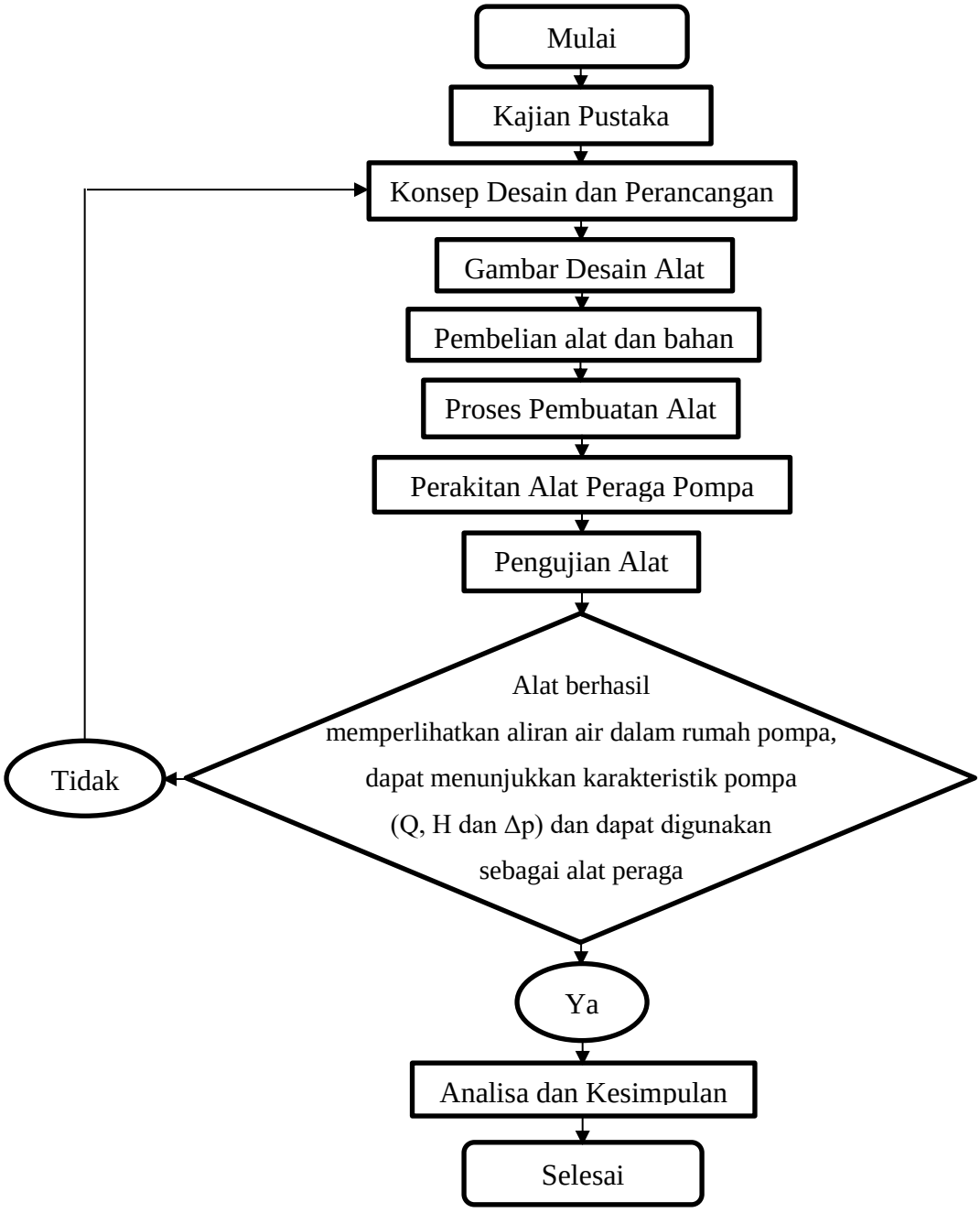
dengan K adalah koefisien hambatan tergantung dari jenis hambatan. Beberapa komponen penyebab terjadi *minor losses*:

1. Lubang Masuk
2. Lubang Keluar
3. Kontraksi dan Ekspansi
4. Belokan
5. Katup

BAB 3
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Adapun beberapa tahapan proses yang akan dilakukan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.

3.2 Menentukan Konsep Desain Perancangan Alat

Sebelum menentukan seperti apa desain yang akan dibuat, hal pertama yang dilakukan adalah menentukan konsep desain yang akan dibuat. Dalam menentukan konsep terdapat dua langkah yang dapat membantuk terbentuknya sebuah konsep desain yaitu:

1. Identifikasi

Identifikasi yang dilakukan dalam penelitian ini dilakukan dengan cara melakukan observasi langsung terhadap hal-hal yang berkaitan dengan penelitian ini. Identifikasi dilakukan dengan melihat jurnal yang sudah ada.

2. Deskripsi

Setelah mendapatkan hasil dari identifikasi, maka hal yang dilakukan selanjutnya adalah mendeskripsikan hal yang terkait dengan konsep alat yang dibuat dengan memperhatikan fungsi dan kegunaan dalam perancangan konsep alat. Kriteria alat yang akan dibuat, yaitu:

a. Alat dapat memperlihatkan aliran air dalam rumah pompa.
b. Alat dapat menunjukkan karakteristik pompa yaitu menghasilkan Q(debit air), H(*head* pompa) dan Δp(tekanan) pada *suction* dan *discharge*.
c. Alat dapat digunakan sebagai alat peraga.

3.3 Membuat Desain Alat

Pembuatan desain alat pada penelitian ini menggunakan *software* CAD. Alat yang akan didesain adalah *impeller* dan rumah pompa (*volute casing*).

3.3.1 *Impeller*

Bagian ini berfungsi untuk melempar air yang masuk ke dalam *volute casing* pada saat berputar, bagian ini memiliki *blade* yang berfungsi untuk melempar air pada putaran yang tinggi. Untuk *impeller* digunakan semi *open impeller*, dimana keunggulan dari semi *open impeller* adalah *blade* dari *impeller* dapat terlihat jelas dan mudah diamati dan kemungkinan terjadi sumbatan lebih berkurang.

3.3.2 *Volute Casing* (Rumah *Impeller*)

Pada bagian ini, *volute casing* berfungsi sebagai rumah bagi *impeller* dan sebagai jalur dari air yang dilempar oleh *impeller*, karena di dalamnya terdapat lekukan seperti rumah siput yang mempermudah aliran air keluar. *Volute casing* dibagi menjadi 2 bagian yaitu depan dan belakang, bertujuan agar *volute casing* dapat dirakit dan dipasang kembali dengan mudah.

3.4 Alat dan Bahan

3.4.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini beserta fungsinya ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Alat yang Digunakan.

No.	Alat	Fungsi
1	Gerinda tangan	Memotong bahan
2	Bor Listrik	Membuat lubang pada alat
3	Kunci Pas	Mengencangkan dan melepas baut
4	Mesin CNC Roland Egx 600	Membuat cetakan dari *volute casing*
5	Mesin *Laser Cutting*	Memotong *acrylic*
6	Jangka Sorong	Mengukur ketebalan dari cetakan

3.4.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini dibagi menjadi 2 bagian yaitu bahan yang digunakan untuk pembuatan alat yang ditunjukkan pada Tabel 3.2 dan bahan untuk pembuatan cetakan *volute casing* yang ditunjukkan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.2 Bahan yang Digunakan Untuk Pembuatan dan Pengujian Alat.

No.	Bahan	No.	Bahan
1	Pipa *Acrylic* 1 *inch*	9	*Shaft 12 mm*
2	*Elbow* pipa 1 *inch*	10	Alimunium ukuran 10cmx10cmx2cm
3	Resin dan Katalis	11	Motor Listrik
4	Keran Air	12	*Acrylic* 3 mm
5	Wadah Air Transparan	13	Mur dan Baut
6	*Stopwatch*	14	Selang Transparan
7	*Silicon Rubber*	15	*Silicon Seal*
8	*Block Bearing 12 mm*		

Tabel 3.3 Bahan yang Digunakan Untuk Pembuatan Cetakan *Volute Casing*.

No.	Bahan	No.	Bahan
1	Kayu ukuran 20cmx20cmx3cm	3	Pelapis Kayu
2	Pahat *Endmill* 3mm	4	Mur dan Baut

3.5 Proses Pembuatan Alat

Langkah selanjutnya dalam penelitian ini adalah langkah pembuatan alat. Dalam langkah pembuatan alat ini terbagi menjadi 2 bagian pembuatan yaitu:

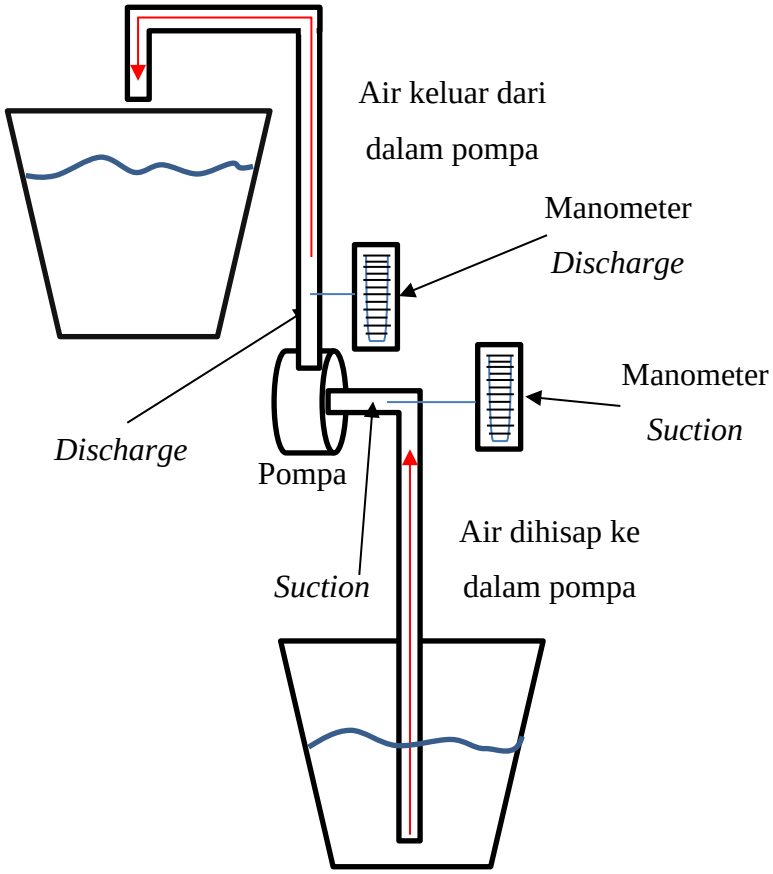
1. Pembuatan cetakan untuk *volute casing*.
2. Pembuatan *couple* dan meja penopang.

Pembuatan alat ini meliputi pembuatan pada setiap bagian yang ada, kecuali motor penggerak yang bisa langsung didapatkan di pasaran. Proses yang paling banyak dilakukan adalah membuat cetakan menggunakan mesin CNC Roland Egx 600. Tidak semua komponen pada setiap bagian dibuat sendiri, namun terdapat juga beberapa komponen yang ada di pasaran.

Penyambungan komponen banyak menggunakan pengeleman dan sambungan baut. Setelah semua bagian sudah terbentuk, maka dilakukan proses perakitan hingga menjadi alat peraga pompa sentrifugal.

3.6 Sistem Kerja Alat

Alat peraga pompa sentrifugal ini bekerja dengan sistem air yang masuk ke *volute casing* dari tempat yang rendah dan air akan dilempar oleh *impeller* melalui *blade* yang ada dan air memutar sesuai dengan jalur yang seperti rumah siput pada *volute casing*, kemudian air di keluarkan dari *volute casing* dan melalui pipa ke wadah yg lebih tinggi. Sistem kerja alat ditunjukkan pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Sistem Kerja Alat Pompa Sentrifugal.

3.7 Melakukan Uji Coba Alat

Untuk melakukan pengujian alat peraga pompa sentrifugal, maka ada 2 tahap yang perlu dilakukan yaitu:

1. Prosedur pengujian alat.
2. Metode analisis hasil pengujian.

3.7.1 Prosedur Pengujian Alat

Dalam pengujian alat peraga pompa sentrifugal perlu memperhatikan beberapa prosedur yang harus dilakukan. Adapun prosedur pengujian alat sebagai berikut:

1. Pada awal pemakaian, pompa terlebih dahulu dipancing dengan cara di masukkan air ke dalam rumah pompa(*volute casing*) hingga penuh.
2. Air di masukkan ke dalam wadah bagian bawah dan ukur berapa liter air yang telah di masukkan.
3. Pada alat pengukur tekanan manometer air raksa pipa dipastikan bahwa tinggi air raksa dalam keadaan sama pada tiap sisi tabung.
4. Tekan tombol *ON* untuk menyalakan motor penggerak pada pompa sentrifugal.
5. Keran air yang terdapat di dekat wadah penampung bawah dibuka agar air masuk ke dalam *volute casing* dan lihat debit air yang dihasilkan pada wadah bagian atas.
6. Keran manometer untuk *suction* dibuka, kemudian dilihat perbedaan tinggi air raksa dikedua sisi tabung dan kemudian catat berapa selisih ketinggian air raksa yang dihasilkan.
7. Keran manometer untuk *discharge* dibuka, kemudian dilihat perbedaan tinggi air raksa dikedua sisi tabung dan kemudian catat berapa selisih ketinggian air raksa yang dihasilkan.

3.8 Hasil Perhitungan *Impeller*

Berikut adalah hasil dari perhitungan *impeller*.

3.8.1 Daya Penggerak Motor

Untuk perhitungan daya untuk penggerak motor menggunakan data motor penggerak yang sudah ada di pasaran sebagai referensi dengan spesifikasi kecepatan motor 2900 *rpm*, debit yang dihasilkan 0.00367 m^3/s dan ketinggian pompa mencapai 38 *m*.

1. Kecepatan Spesifik

   Untuk menghitung kecepatan spesifik dapat dilihat dari spesifikasi motor listrik dan Persamaan 2.1.

$$ns = \frac{2900\ Rpm\sqrt{0.00367\ m^3/s}}{38\ m^{\ 0.75}}$$

$$= 11.47\ mm$$

Efisiensi operasional pompa, diasumsikan:

- Efisiensi hidrolis (ηh) = 0.85
- Efisiensi mekanis (ηm) = 0.95
- Efisiensi volume (ηv) = 0.98

Dari efisiensi yg ada didapatkan efisiensi *overall* (ηop):

$$\eta op = 0.85\ x\ 0.95\ x\ 0.98$$

$$= 0.79$$

2. Daya Proses

   Untuk menghitung daya proses dapat dilihat dari Persamaan 2.2.

$$Psh = \frac{1000\ x\ 9.81\frac{m}{s^2}\ x\ 0.00367\frac{m^3}{s}\ x\ 38m}{1000\ x\ 0.79}$$

$$= 1.73\ Hp$$

3. Daya Motor Penggerak

   Daya motor penggerak dapat dicari menggunakan Persamaan 2.3.

$$Pm = 1.15\ x\ 1.73\ Hp$$

$$= 1.99\ Hp \approx 2Hp$$

Jadi, daya motor penggerak yang digunakan adalah 2 *HP*.

3.8.2 Diameter Poros (*dp*)

Untuk diameter poros yang digunakan pada *impeller* disamakan dengan diameter poros dari motor listrik yang digunakan yaitu *dp* = 12 *mm*.

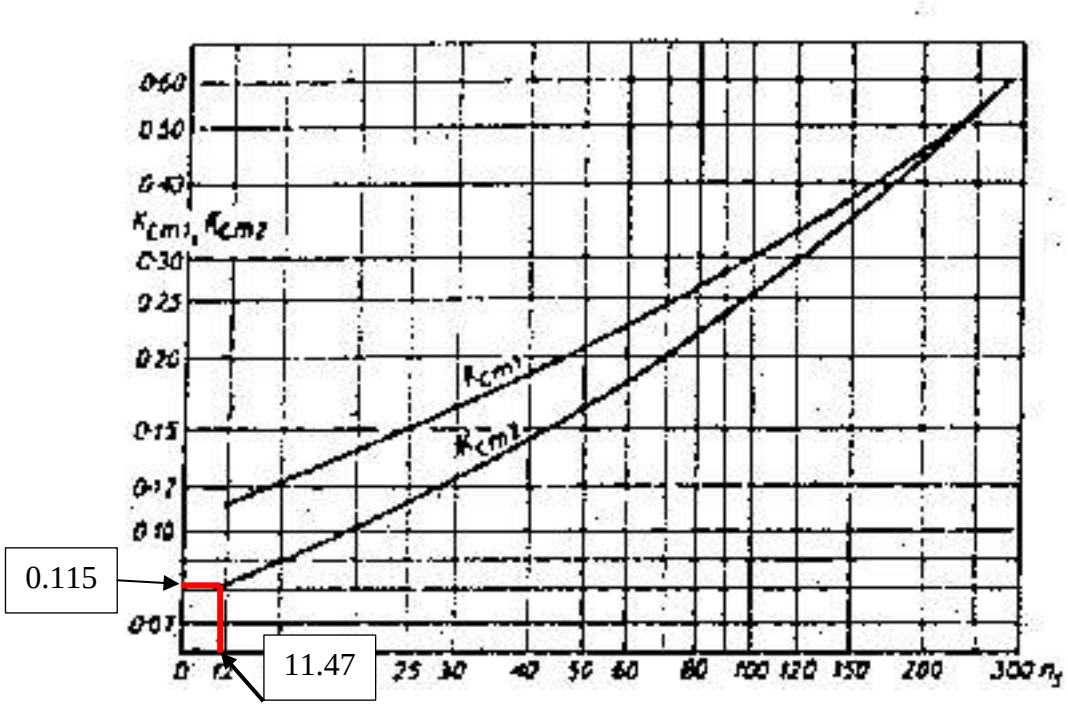
3.8.3 Dimensi *Blade* Pada Sisi Masuk

1. Diameter Dalam *Impeller*

   Untuk mendapatkan diameter dalam *impeller* ada beberapa hal yang harus dicari yaitu:

   a. Kecepatan Radial Sisi Masuk *Blade*

      Untuk mencari kecepatan radial sisi masuk *blade* dapat dilihat dari Persamaan 2.4. Untuk *ns* = 11.47 *rpm*, maka Kcm_1 = 0.115 dapat dilihat dari pembacaan grafik koefisien kecepatan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Pembacaan Grafik Koefisien Kecepatan

Sumber: (Dietzel, 1988)

$$C_{m1} = 0.115\sqrt{2\ x\ 9.8\ m/s^2\ x\ 38\ m}$$

$$= 3.14\ m/s$$

b. Kecepatan Absolut Air Masuk *Impeller*

Untuk mencari kecepatan absolut air masuk *impeller* dapat dilihat dari Persamaan 2.5.

$$Vo = 0.8\ x\ 3.14\frac{m}{s}$$

$$= 2.51\ m/s$$

c. Diameter Hisap *Impeller*

Untuk mencari diameter hisap *impeller* dapat dilihat dari Persamaan 2.6.

$$do = \sqrt{\frac{4\ x\ 0.0038\ m^3/s}{3.14\ x\ 2.51\ m/s} + (0.012\ m)^2}$$

$$= 0.047\ m$$

$$= 47\ mm$$

d. Diameter Dalam *Impeller*

Jadi setelah didapatkan diameter hisap *impeller* maka bisa didapatkan juga diameter dalam *impeller* seperti yg ditunjukkan pada Persamaan 2.7.

$$d_1 = do$$

$$d_1 = 47\ mm$$

Jadi, diameter dalam *impeller* yang digunakan adalah 47 *mm.*

2. Sudut Masuk *Impeller*

Untuk menghitung sudut masuk *impeller*, diameter dalam dari *impeller* diubah karena ukurannya terlalu besar. Diameter dalam diubah menjadi skala 1:2 yaitu dari d_1 = 47 *mm* menjadi d_1 = 23.5 *mm*. kemudian untuk *head* pada C_{m1} diubah dari *H* = 38 *m* menjadi *H*=10 *m.*

a. Kecepatan Keliling Pada Sisi Masuk

Untuk mencari kecepatan keliling pada sisi masuk dapat dilihat dari Persamaan 2.8.

$$U_1 = \frac{3.14\ x\ 0.023\ m\ x\ 2900\ Rpm}{60}$$

$$= 3.49\frac{m}{s}$$

b. Sudut Sisi Masuk

Untuk mencari kecepatan keliling pada sisi masuk dapat dilihat dari Persamaan 2.9.

$$\tan\beta_1 = \frac{1.61 m/s}{3.49 m/s}$$

$$= 0.46^o$$

$$arc\ \tan\beta_1 = 0.46^o$$

$$\beta_1 = 24.7^o \approx 25^o$$

Jadi sudut untuk sisi masuk yang digunakan adalah 25^o. Untuk sudut yang dihasilkan masih dalam batas yang diizinkan yaitu dari 15^o sampai dengan 30^o.

3.8.4 Dimensi *Blade* Pada Sisi Keluar

1. Sudut Keluar *Impeller*

Sudut β_2 yang umum dipakai adalah antara 17^o-30^0 di mana didapatkan efisiensi *overall* terbaik. Jadi, untuk sudut β_2 yang dipakai adalah 30^o.

2. Diameter Luar *Impeller*

Diameter luar *impeller* dapat dicari menggunakan Persamaan 2.10.

$$\frac{d_2}{23.5\ mm} = 3$$

$$d_2 = 70.5\ mm$$

Jadi, untuk diameter luar *impeller* adalah 70.5 *mm.*

3.8.5 Perencanaan *Blade Impeller*

1. Jumlah *Blade Impeller*

Jumlah *blade impeller* sangat berpengaruh dalam besarnya gesekan yang dihasilkan, jumlah *blade impeller* yang terlalu banyak akan menyebabkan semakin besarnya kerugian gesekan. Untuk mencari jumlah *blade impeller* dapat dilihat dari Persamaan 2.11.

$$Z = 6.5\,x\,\frac{70.5 + 23.5}{70.5 - 23.5}\,\sin\frac{25 + 30}{2}$$

$$Z = 5.85 \approx 5\ blade$$

Jadi, untuk *impeller* yang akan dibuat memiliki 5 *blade*.

2. Pelukisan Bentuk *Blade*

Pada perencanaan ini dipakai metode arcus tangen dengan pertimbangan bahwa cara tersebut lebih akurat dan efesien dibandingkan dengan cara koordinat polar. Pada metode ini *impeller* dibagi menjadi beberapa lingkaran yang konsentris diantara jari-jari R_1 dan R_2 yaitu lingkaran a, b and c. Dan jarak antara masing-masing lingkaran (ΔR) dapat dicari menggunakan Persamaan 2.12. Untuk R_1 = 11.75 *mm*, R_2 = 35.25 *mm* dan i = 4 bagian lingkaran.

$$\Delta R = \frac{35.25\ mm\ - 11.75\ mm}{4}$$

$$= 5.87\ mm$$

Jadi, jarak antara masing-masing lingkaran adalah 5.87 *mm*. Untuk perubahan besar sudut kelengkungan dapat dicari menggunakan persamaan 2.13.

$$\Delta\beta = \frac{30^o - 25^o}{4}$$

$$= 1.25^o$$

Jadi, untuk perubahan besar sudut kelengkungan adalah 1.25^o.

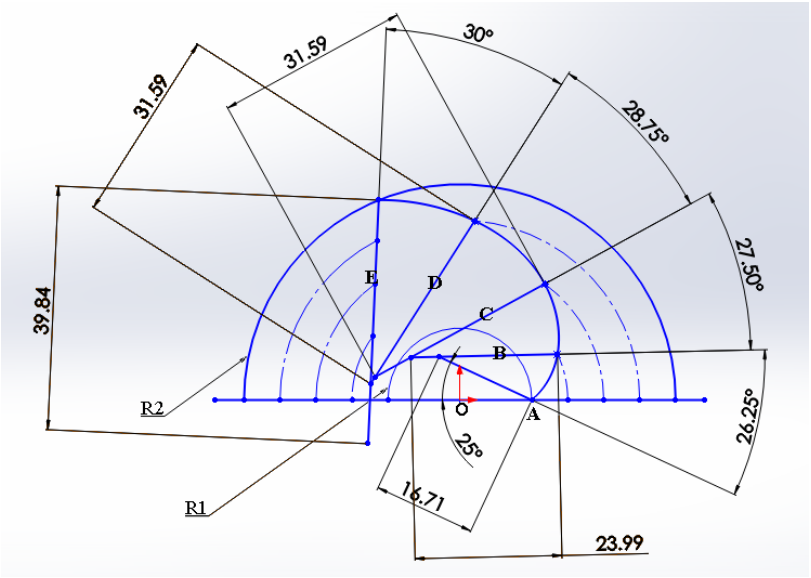
Kemudian setelah jarak antara masing-masing lingkaran dan perubahan besar sudut kelengkungan, maka dapat dicari jari-jari busur pada setiap lingkaran menggunakan Persamaan 2.14. selanjutnya dari semua persamaan diatas dihitung setiap perubahan kelengkungan *blade* seperti pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Perhitungan Perubahan Jari-jari Kelengkungan.

Lingkaran	R (mm)	R^2 (mm)	β (^{o})	$R\cos\beta$	$R_b\cos\beta_b - R_a\cos\beta_a$	$R_b^2-R_a^2$	ρ
1	11.75	138.063	25	10.65			
A	17.625	310.641	26.25	15.81	5.164125	172.58	16.71
B	23.5	552.25	27.5	20.84	5.034875	241.61	23.99
C	29.375	862.891	28.75	25.76	4.917375	310.64	31.59
2	35.25	1242.56	30	30.53	4.764625	379.67	39.84

Nilai-nilai ρ pada kolom terakhir menunjukkan jari jari busur lingkaran yang berada diantara lingkaran-lingkaran konsentris. Busur-busur lingkaran ini adalah merupakan garis singgung terhadap masing-masing lingkaran, pusat lingkaran busur-busur yang bersebelahan adalah letak garis dengan masing-masing titik sesungguhnya. Untuk memulai pelukisan, lukis lingkaran dengan jari-jari R_1 dan R_2 lalu lingkaran R_A, R_B, R_C dengan harga-harga yang terdapat ditabel.

Garis OA ditarik dari pusat lingkaran O sehingga memotong jari-jari R1 lukis sebuah garis yang membuat sudut β_1 dengan garis OA. Titik pusat busur yang pertama (A) harus terletak pada sepanjang AB yang panjang ρ pada tabel. Kemudian lukis busur pertama dengan pusat B hingga memotong lingkaran R1 dan B titik potong busur lingkaran dengan lingkaran B adalah titik 2. Dari titik 2 tarik garis hingga memotong titik AB sejauh ρB. Titik garis ini adalah C yang merupakan pusat busur ke dua. Proses ini diulang hingga dicapai lingkaran yang paling luar (R2). Hasil penggambaran *blade* dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Gambar *Blade Impeller*.

BAB 4
HASIL DAN PEMBAHASAN

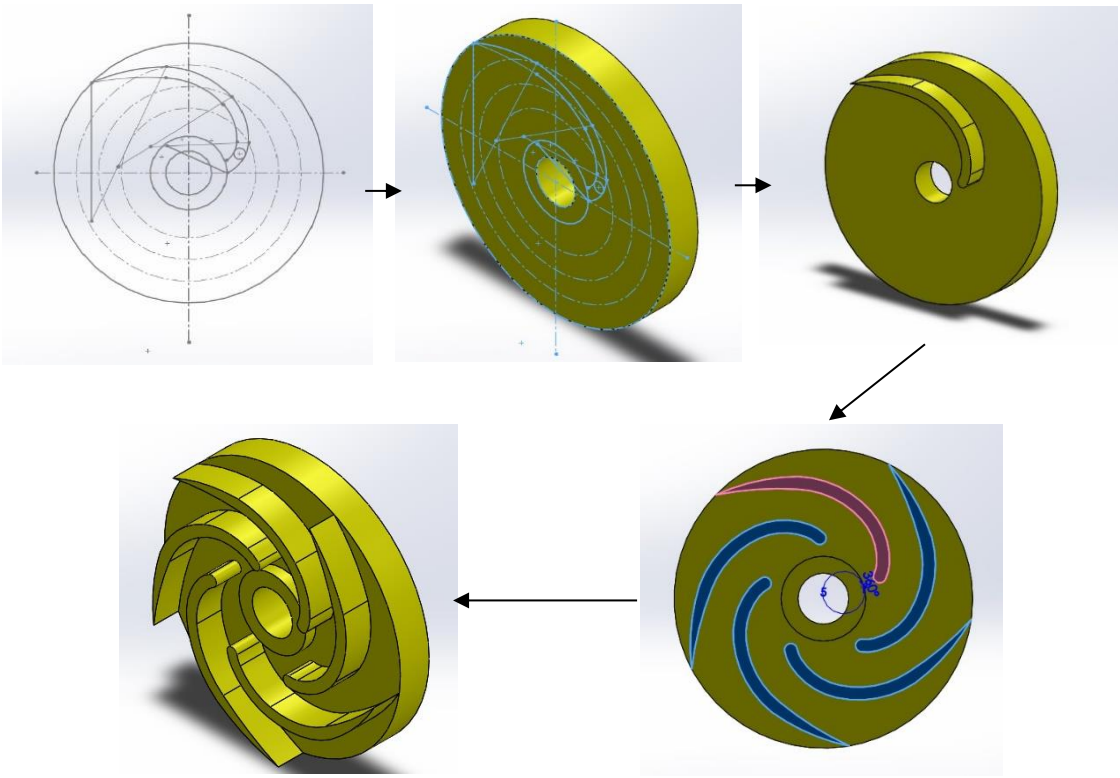
4.1 Hasil Perancangan Alat

Berikut adalah hasil dari alat-alat yang telah dirancang dari perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya.

4.1.1 *Impeller*

Sesuai dengan perhitungan *blade* pada sebelumnya, didapatkan bentuk *blade* untuk *impeller* yang ditunjukkan pada Gambar 3.4, setelah semua data didapatkan kemudian *impeller* didesain kedalam bentuk 3D.

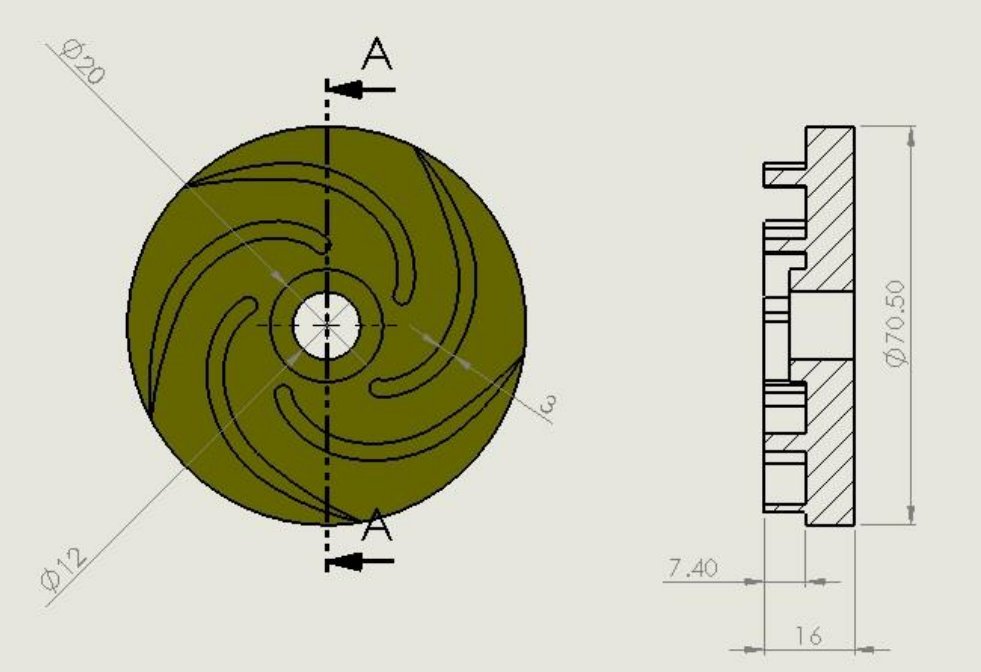
4.1.1.1 Proses Desain *Impeller*



Gambar 4.1 Proses Desain *Impeller* 3D

Berikut adalah penjelasan dari Gambar 4.1 yaitu proses desain *impeller*:

1. Untuk proses desain *impeller* dimulai dengan membuat lengkungan *blade* seperti pada Gambar 3.3, sesuai dengan perhitungan, diameter luar dari *impeller* adalah 70.5 *mm*, diameter dalam *impeller* 30 *mm*, diameter *shaft* 12 *mm* dan untuk ketebalan dari *blade* sebesar 3 *mm*. (Untuk ukuran utama dapat dilihat pada Gambar 4.2).
2. Kemudian dibuat tinggi dari badan *impeller* dibuat dengan ukuran 8.6 *mm* dibentuk ke dalam 3D menggunakan *tool Extruded Boss*.
3. Sketsa dari *blade* dibentuk 3D dengan menggunakan *tool Extruded Boss* dengan tinggi *blade* 7.4 *mm*.
4. Setelah itu *blade* dibuat menjadi 5 buah menggunakan *tool Circular Sketch Pattern*.
5. *Impeller* telah selesai didesain.



Gambar 4.2 Ukuran utama *Impeller*

Setelah itu, kemudian *impeller* masuk pada proses CNC, berikut adalah hasil dari proses CNC *impeller* yang ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Hasil CNC *Impeller*

4.1.2 *Volute Casing* (Rumah *Impeller*)

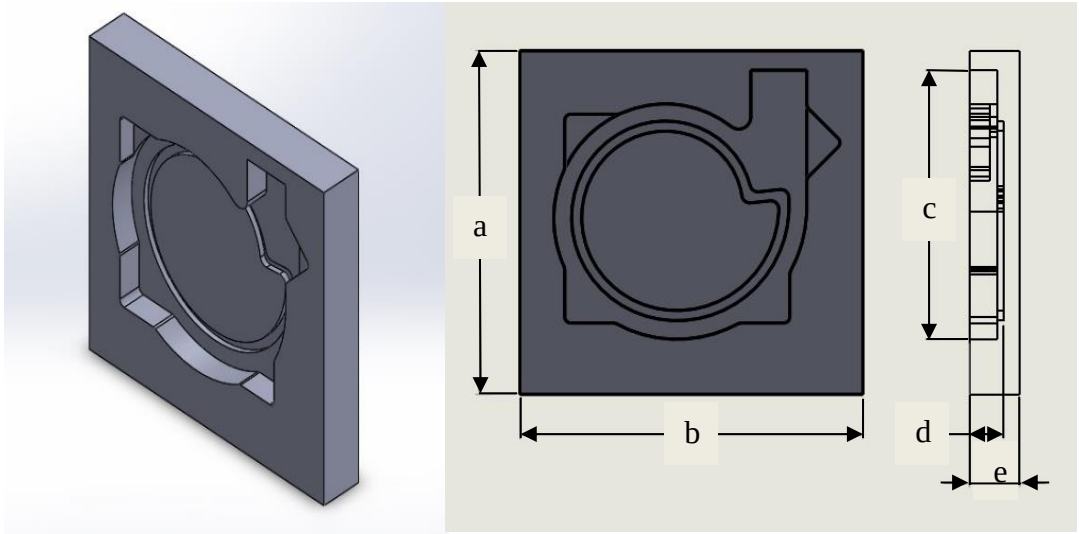
Pada pembuatan *volute casing* atau rumah *impeller* ada beberapa langkah yang dilakukan untuk membuatnya.

4.1.2.1 Pembuatan Desain Cetakan

Untuk pembuatan *volute casing* dimulai dari pembuatan cetakan terlebih dahulu, untuk desain dari cetakan dibuat menjadi 4 bagian yaitu:

1. Desain *Cavity* Untuk *Casing* Bagian Depan

Berikut adalah desain *cavity* untuk *casing* bagian depan (lihat pada Gambar 4.4).



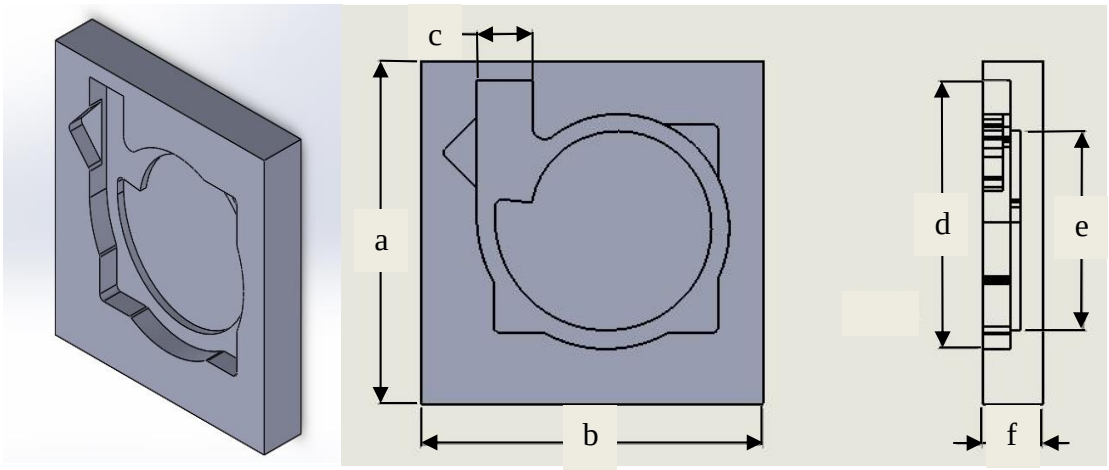
Gambar 4.4 Desain *Cavity* Untuk *Casing* Bagian Depan

Keterangan ukuran pada Gambar 4.4:

a. 170 *mm*
b. 170 *mm*
c. 133.14 *mm*
d. 13.88 *mm*
e. 25 *mm*

2. Desain *Cavity* Untuk *Casing* Bagian Belakang

Berikut adalah desain *cavity* untuk *casing* bagian belakang (lihat pada Gambar 4.5).



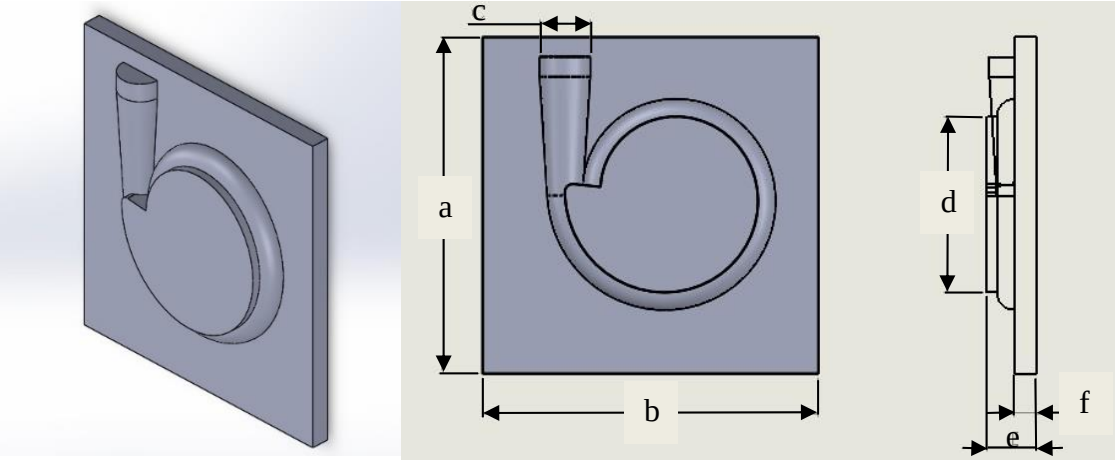
Gambar 4.5 Desain *Cavity* Untuk *Casing* Bagian Belakang

Keterangan ukuran pada Gambar 4.5:

a. 170 *mm*
b. 170 *mm*
c. 27.76 *mm*
d. 133.14 *mm*
e. 98.79 *mm*
f. 30 *mm*

3. Desain *Core* Untuk *Casing* Bagian Depan

Berikut adalah desain *core* untuk *casing* bagian depan (lihat pada Gambar 4.6).



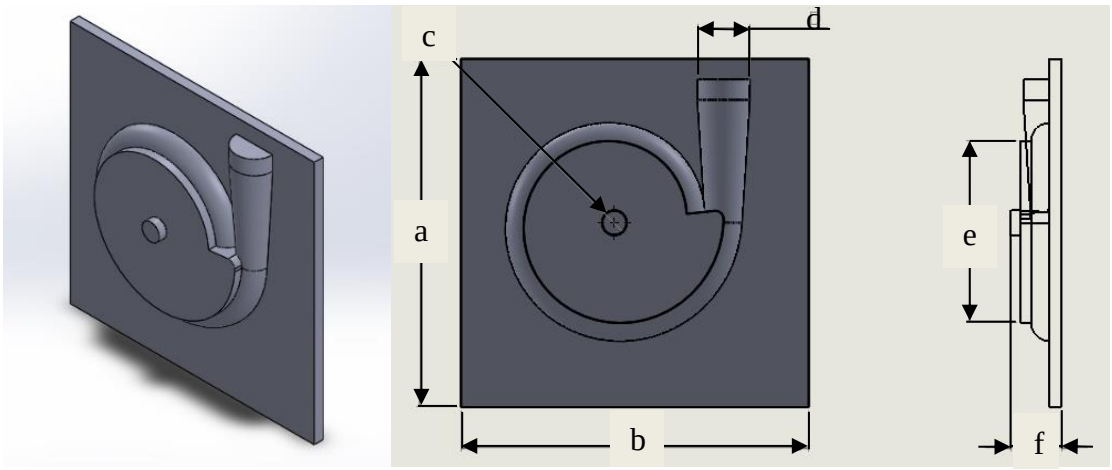
Gambar 4.6 Desain *Core* Untuk *Casing* Bagian Depan

Keterangan ukuran pada Gambar 4.6:

a. 170 *mm*
b. 170 *mm*
c. 25.4 *mm*
d. 88.79 *mm*
e. 25 *mm*
f. 11.12 *mm*

4. Desain *Core* Untuk *Casing* Bagian Belakang

Berikut adalah desain *core* untuk *casing* bagian belakang (lihat pada Gambar 4.7).



Gambar 4.7 Desain *Core* Untuk *Casing* Bagian Belakang

Keterangan ukuran pada Gambar 4.7:

a. 170 *mm*
b. 170 *mm*
c. 12 *mm*
d. 25.4 *mm*
e. 88.79 *mm*
f. 25 *mm*

4.1.2.2 Pembuatan Cetakan Kayu Menggunakan Mesin CNC

Dari desain yang ada kemudian dibuatlah cetakan menggunakan CNC Roland EGX-600, bahan yang digunakan untuk membuat cetakan adalah menggunakan kayu. Pada awalnya terjadi banyak kegagalan dalam pembuatan cetakan, penyebab dari kegagalan tersebut adalah dalam masalah mesin CNC sudah tidak dalam kondisi yang baik sehingga menyebabkan mata pahat tidak pada sumbu yang ditentukan dan kemudian dalam hal listrik padam pada saat menggunakan mesin CNC dan harus mengulang proses CNC.

Berikut adalah beberapa hasil dari proses CNC yang gagal ditunjukkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Produk Cetakan Gagal pada Proses CNC

Setelah beberapa kali mencoba, didapatkanlah hasil CNC yang sesuai, tetapi karena masih terdapat permukaan yang kasar jadi harus terlebih dahulu dihaluskan kemudian diberi pelapis untuk kayu tersebut, berikut adalah hasil akhirnya yang ditunjukkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Cetakan *Volute Casing*

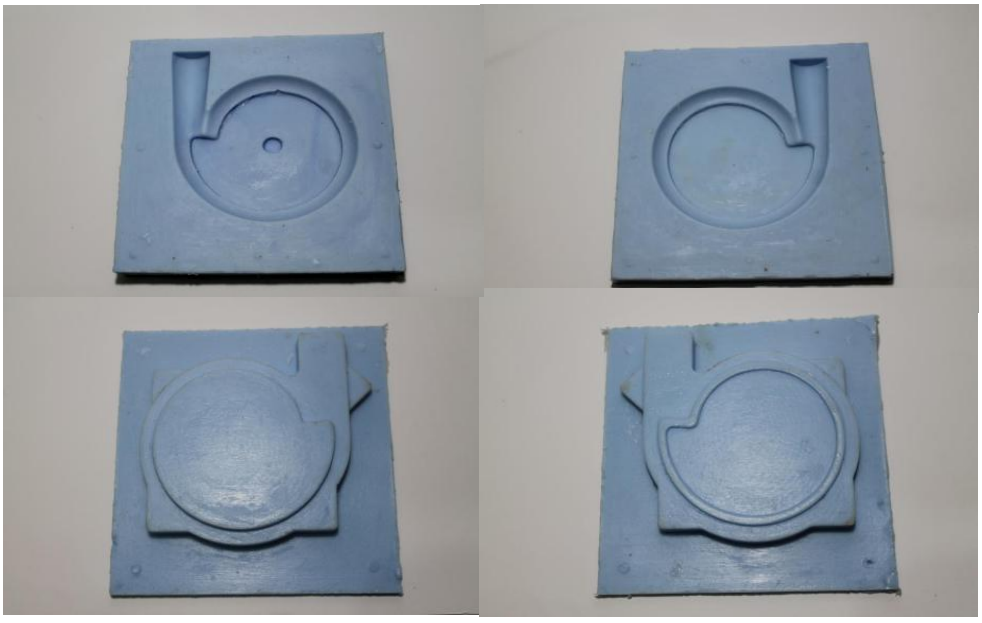
4.1.2.3 Pembuatan Cetakan Menggunakan Silikon

Pada proses ini, setelah cetakan kayu jadi, kemudian menggunakan silikon untuk membuat cetakan yang lebih fleksibel dan dapat digunakan secara berulang-ulang, proses pertama membuat cetakan silikon pertama dengan cara menuangkan silikon pada cetakan kayu seperti pada Gambar 4.10, kemudian tunggu hingga kering.



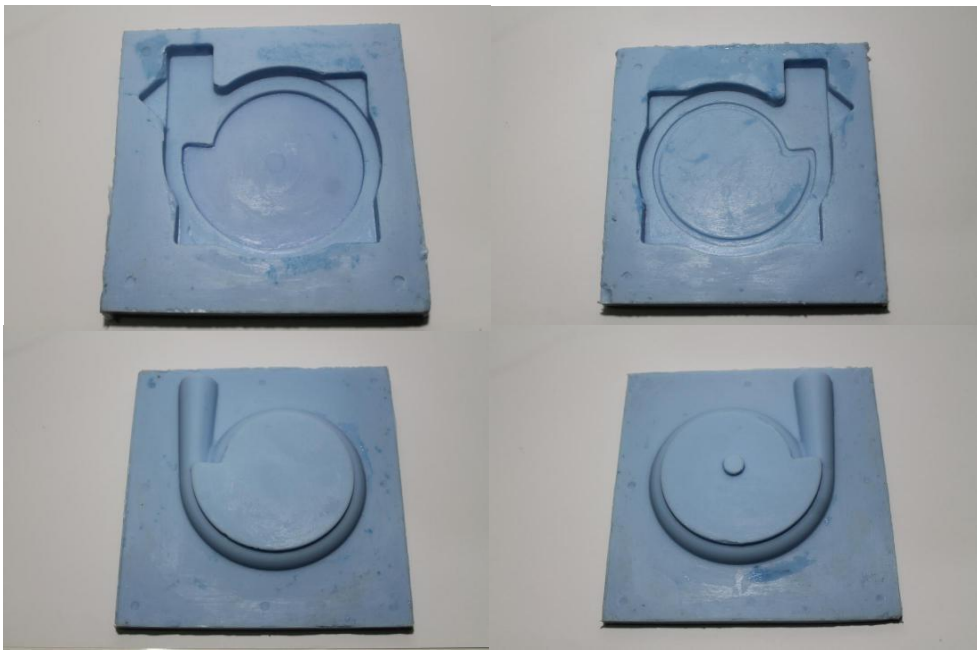
Gambar 4.10 Silikon yang Sudah Dituang Kedalam Cetakan Kayu

Setelah itu jadilah cetakan awal untuk silikon yang ditunjukkan pada Gambar 4.11.



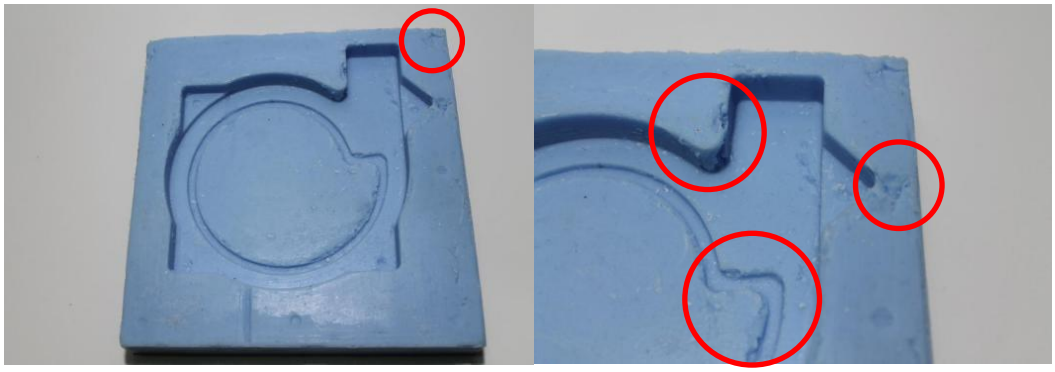
Gambar 4.11 Cetakan Awal Silikon

Kemudian, silikon kembali dituangkan pada cetakan yang telah dibuat kemudian tunggu hingga kering, setelah kering pisahkan dari cetakan sebelumnya dan jadilah cetakan silikon akhir yakan digunakan, cetakan silikon akhir dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Cetakan Akhir Silikon

Pada proses ini juga terdapat beberapa kegagalan dalam mencetaknya, yaitu pada saat mencabut cetakan silikon awal dengan cetakan akhir silikon, masih ada silikon yang menyatu dan membuat cetakan sedikit tidak rata seperti pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Beberapa Kegagalan Dalam Proses Pencetakan

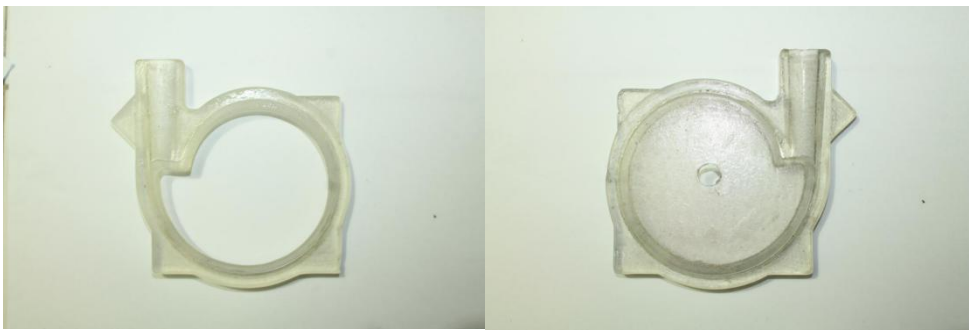
4.1.2.4 Membuat *Volute Casing* Menggunakan Resin

Volute casing menggunakan bahan resin untuk membuatnya, sebelum memasukkan resin, Agar tidak terdapat rongga pada bagian samping dan bawah cetakan, cetakan silikon di tekan menggunakan *clamp* pada tiap sisinya supaya tidak ada resin yang terbuang, kemudian masukkan resin menggunakan injeksi seperti pada Gambar 4.14, isi hingga resin memenuhi cetakan silikon tersebut dan tunggu resin kering.



Gambar 4.14 Proses Injeksi Resin Kedalam Cetakan Silikon

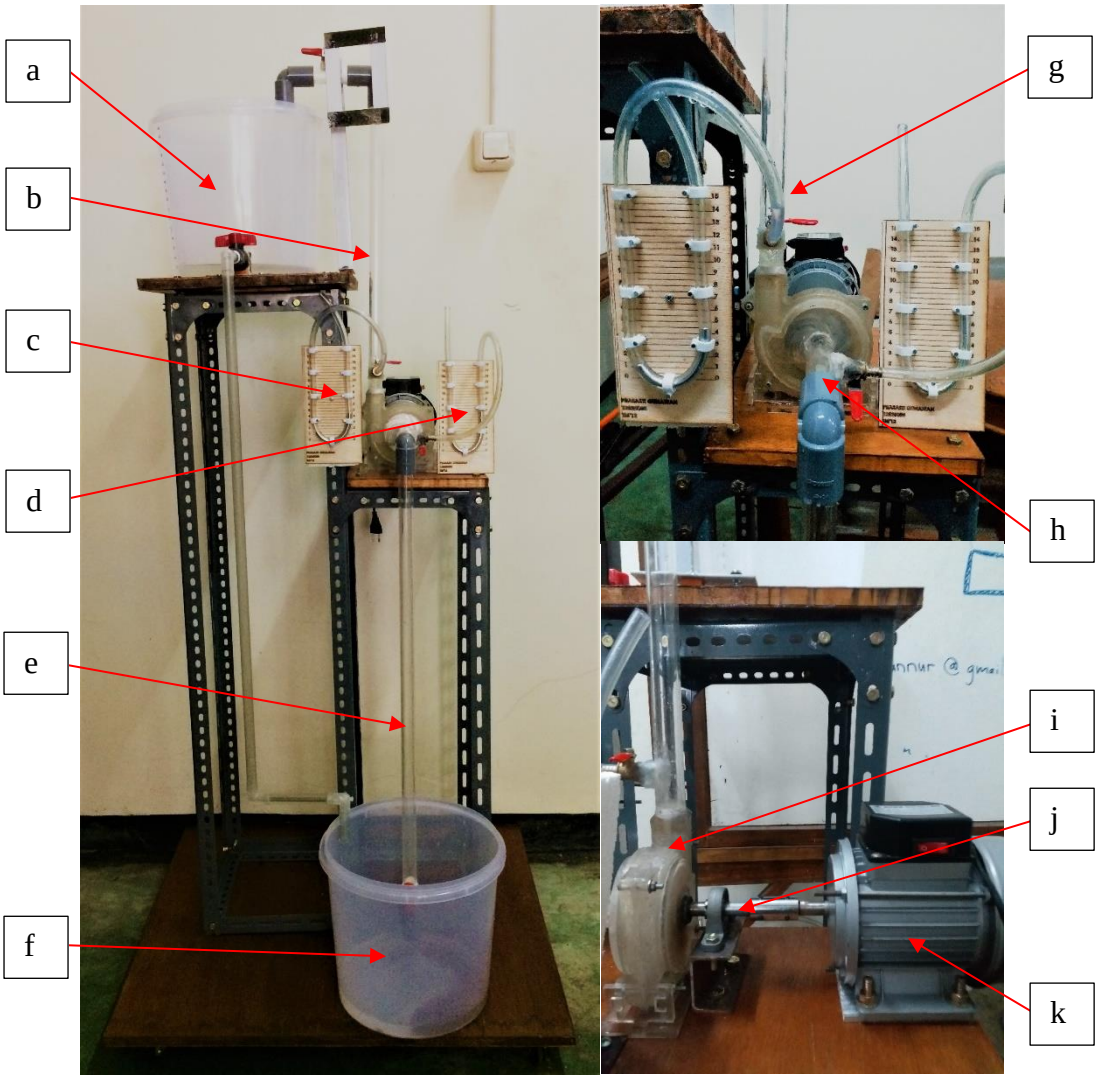
Setelah resin kering, bukalah cetakan dan kemudian keluarkan resin dari cetakan, setelah itu haluskan *volute casing* agar bagian-bagian kasar menjadi halus, hasil akhir *volute casing* dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.15 Hasil Akhir *Volute Casing*

4.1.3 Proses *Assembly* Alat Peraga Pompa Sentrifugal

Setelah semua alat telah dibuat dan didapatkan, kemudian semua alat tersebut dipasang satu persatu menjadi alat peraga sistem pompa sentrifugal yang ditunjukkan pada 4.16.



Gambar 4.16 *Assembly* Alat Peraga Pompa Sentrifugal

Keterangan untuk Gambar 4.16:

a. Wadah penampung atas.
b. Pipa keluar.
c. Manometer *discharge*.
d. Manometer *suction*.

e. Pipa hisap.
f. Wadah penampung bawah
g. *Discharge*.
h. *Suction*.
i. Rumah *Impeller*(*casing Impeller*).
j. *Shaft*.
k. Motor penggerak.

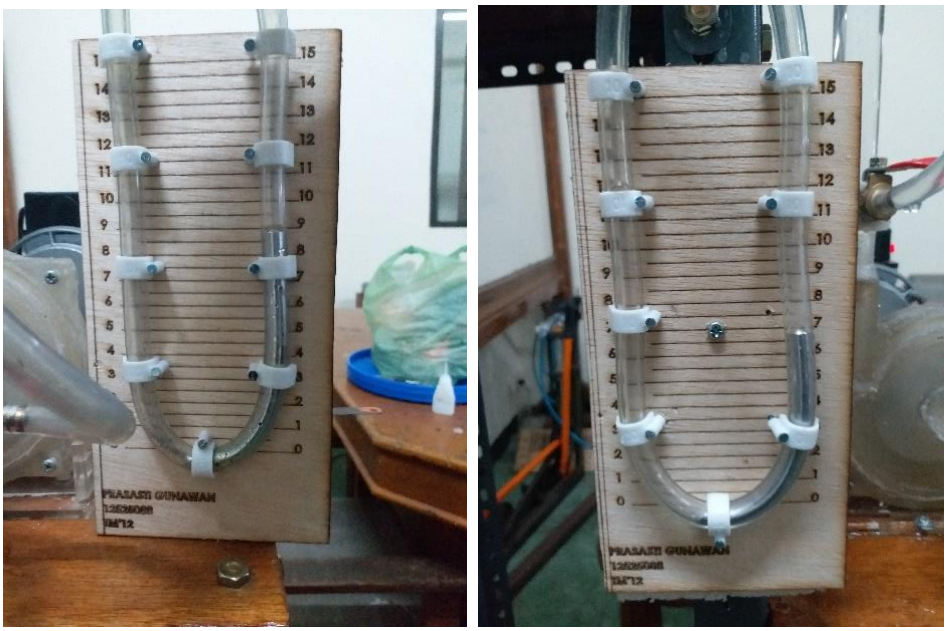
4.2 Pengujian Alat

Pengujian alat dilakukan untuk mengetahui apakah alat dapat bekerja sesuai dengan fungsinya atau tidak. Pengujian juga bertujuan untuk mengetahui performa dari alat yang dibuat dan melihat debit air dan tekanan yang dihasilkan pada saat air masuk ke pompa(*suction*) dan air keluar dari pompa(*discharge*). Pengujian alat dilakukan dengan mengikuti langkah-langkah penggunaan alat yang telah dijelaskan sebelumnya.

Untuk pengujian awal. Pompa terlebih dahulu diisi penuh dengan air untuk memancing pompa, kemudian pompa dinyalakan dan buka katup yang terdapat pada bagian pipa paling bawah. Setelah pompa jalan, keran manometer pada *suction* dan *discharge* dibuka untuk mengoperasikan manometer, kemudian liat debit air yang dihasilkan pada penampung bagian atas. Setelah penampang bagian atas penuh, keran dibuka pada penampung atas untuk menurunkan air kebagian penampung bawah.

4.3 Hasil Pengujian

Untuk hasil pengujian yang telah dilakukan didapatkan debit air yang dihasilkan adalah Q = 26 *L/min*. kemudian untuk pengukuran tekanan yang dilakukan pada manometer U, pengukuran dilakukan pada posisi *suction* dan posisi *discharge*. Berikut adalah hasil dari manometer U (lihat pada gambar 4.17).



(a) (b)

Gambar 4.17 a) *Suction*, b) *Discharge*

Dari gambar di atas didapatkan Δh(selisih air raksa dan air dalam pompa) untuk *suction* adalah 0.09 m dan Δh untuk *discharge* adalah 0.07 m. Setelah didapatkan Δh kemudian dapat dihitung tekanan pada *suction* menggunakan Persamaan 2.15 . untuk massa jenis air raksa (ρ) = 13600 $kg.m^{-3}$, selisih air raksa dan air dalam pompa (Δh) = 0.09 m, tekanan atmosfer (p_{atm}) = $1.01x10^5$ Pa dan gaya gravitasi (g) = 9.8 m/s^2.

$$p_{Suction} = 1.01x10^5 - (13600\ kg.m^{-3})\left(9.8\frac{m}{s^2}\right)(0.09\ m)$$
$$= 0.89x10^5 Pa\ \cong 89\ KPa$$

Jadi, tekanan yang dihasilkan pada *suction* adalah 89 *KPa*. Kemudian, untuk melihat tekanan pada *discharge* dengan Δh = 0.07 m dapat menggunakan persamaan 2.16.

$$p_{Discharge} = 1.01x10^5 + (13600\ kg.m^{-3})\left(9.8\frac{m}{s^2}\right)(0.07\ m)$$
$$= 1.1x10^5 Pa\ \cong 110\ KPa$$

Jadi, tekanan yang dihasilkan pada *discharge* adalah 110 *KPa*. Untuk *Δp* adalah $p_{discharge}$ dikurang dengan $p_{suction}$ menjadi 21 *Kpa*, sehingga untuk ΔH dari pompa adalah 2.1 m.

4.4 Aliran Dalam Pipa

Untuk mendapatkan daya yang dihasilkan pompa, rugi-rugi akibat gesekan dalam pipa dihitung dengan menggunakan persamaan Darcy Weisbach, untuk faktor gesek Darcy didapatkan dengan menggunakan persamaan Colebrook untuk permukaan pipa yang halus (lihat Gambar 4.18).

Relative Roughness, ε/D	Friction Factor, f
0.0*	0.0119
0.00001	0.0119
0.0001	0.0134
0.0005	0.0172
0.001	0.0199
0.005	0.0305
0.01	0.0380
0.05	0.0716

* Smooth surface. All values are for Re = 10^6 and are calculated from the Colebrook equation.

Gambar 4.18 Faktor Gesek Darcy dari persamaan Colebrook

Sumber: (Cengel & Cimbala, 2006)

Dari persamaan Colebrook didapatkan faktor gesek Darcy adalah 0.0119, untuk panjang pipa(*L*) adalah 1.5 *m*, diameter pipa(D_1) adalah 0.025 *m* dan diameter dalam pipa(D_2) adalah 0.0 untuk kecepatan dalam pipa(*V*) dapat dihitung dengan persamaan 2.20.

$$V = \frac{0.000433 m^3/s}{\frac{1}{4} \times 3.14 \times (0.019m)^2}$$

$$= 1.53 \frac{m}{s}$$

setelah itu rugi-rugi akibat gesekan dapat dihitung menggunakan persamaan 2.19.

$$hf = 0.0119 \frac{1.5\ m}{0.025\ m} \frac{\left(1.53 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 9.8 \frac{m}{s^2}}$$

$$= 0.086\ m$$

Jadi, *head* untuk rugi-rugi akibat gesekan sebesar 0.086 *m*. Untuk rugi-rugi *minor* terlebih dahulu dicari koefisien hambatan, dilihat dari jenis hambatannya, untuk rugi-rugi *minor* terdapat hambatan karena adanya belokan. Untuk mencari koefisien hambatan karena belokan dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Koefisien Hambatan Belokan

Belokan	Komponen	K
Siku	90^o biasa, *flens*	0.3
	90^o biasa, ulir	1.5
	90^o radius panjang, *flens*	0.2
	90^o radius panjang, ulir	0.7
	45^o radius panjang, *flens*	0.2
	45^o reguler, ulir	0.4
Return Bend	*return* 180^o, *flens*	0.2
	return 180^o, ulir	1.5

Sumber: (Cengel & Cimbala, 2006).

Karena pada pipa alat peraga pompa sentrifugal menggunakan dua *elbow* 90^o, maka yang digunakan dari tabel koefisien hambatan belokan berupa siku dengan sudut 90^o biasa serta berbentuk *flens*, untuk koefisien hambatan(*K*) adalah 0.3 tiap satu *elbow* 90^o, setelah itu, gunakan Persamaan 2.21 untuk mencari rugi-rugi *minor*(*hm*).

$$hm = (0.3 + 0.3) \frac{(1.53 \frac{m}{s})^2}{2 \times 9.8\ m/s^2}$$

$$= 0.072\ m$$

Untuk rugi-rugi *minor* didapatkan hasil sebesar 0.072 *m*. Kemudian gunakan Persamaan 2.18 untuk mendapatkan H$_{losses}$.

$$H_{losses} = 0.086\ m + 0.072\ m$$
$$= 0.16\ m$$

Jadi, setelah didapatkan hasil H_{losses}, H_{losses} ditambahkan dengan $H_{elevasi}$ sebesar 1.50 *m*. setelah ditambah, didapatkan hasil H sebesar 1.66 *m*. untuk mendapatkan nilai dari daya yang dihasilkan pompa digunakan persamaan 2.17. untuk Q = 26 *L/min* satuan diubah menjadi Q = 0.000433 m^3/s.

$$P_{pompa} = 1000\ \frac{kg}{m^3} \times 9.8 \frac{m}{s^2} \times 0.000433 \frac{m^3}{s} \times (1.66\ m + \frac{(1.53m)^2}{2 \times 9.8 \frac{m}{s^2}})$$
$$= 7.64\ kg \frac{m^2}{s^2}$$
$$= 7.64\ watt$$

Jadi, untuk daya yang dihasilkan oleh pompa sebesar 7.64 *watt*, kemudian dari P_{pompa} dan P_{motor} didapatkan nilai efisiensi daya yaitu:

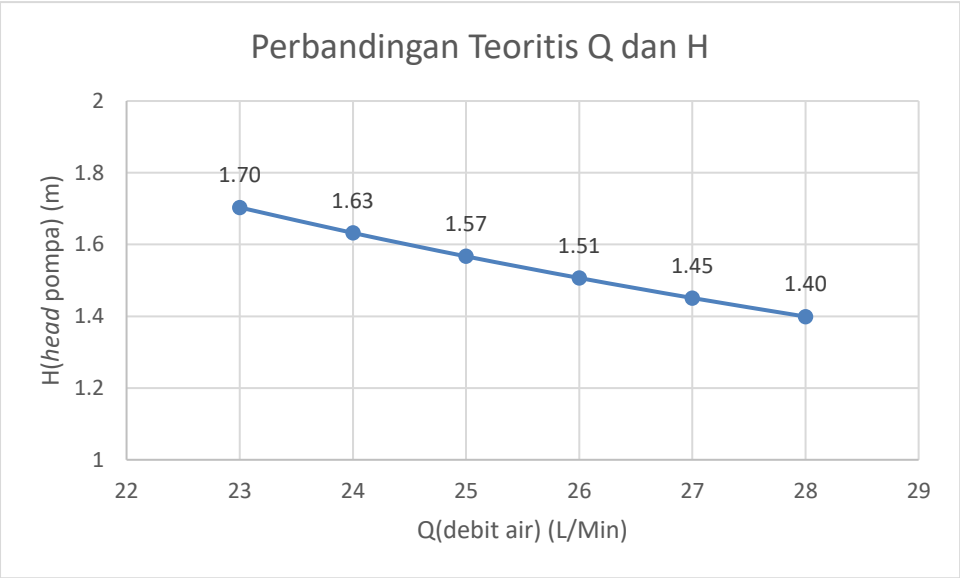
$$\eta = \frac{P_{pompa}}{P_{motor}}$$
$$= \frac{7.64\ watt}{200\ watt}$$
$$= 3.82\ \%$$

Untuk efisiensi daya pompa alat peraga pompa sentrifugal adalah 3.82 %. Kemudian dari perhitungan di atas didapatkan juga perbandingan antara ΔH dari pompa sebesar 2.1 m dan ΔH yang dihasilkan dari kinerja pompa 1.8 m. dilihat dari rumus daya pompa dapat dilihat perbandingan antara *head* dan debit air yang dihasilkan secara teoritis(lihat Tabel 4.2).

Tabel 4.2 Perbandingan *Head* dan Debit Air

Q (*L/min*)	Q(m^3/s)	H (*m*)
23	0.00038	1.7
24	0.0004	1.63
25	0.00042	1.57
26	0.00043	1.51
27	0.00045	1.45
28	0.00047	1.4

Dari Tabel 4.2 didapatkan grafik untuk perbanding *head*(H) dan debit air(Q) secara teoritis dilihat dari keadaan aktual (lihat gambar 4.20).



Gambar 4.19 Grafik Perbandingan Teoritis Q dan H

Dilihat dari grafik, semakin tinggi *head*(H) yang diberikan maka semakin kecil debit air(Q) yang dihasilkan oleh alat peraga pompa sentrifugal yang telah dibuat.

4.5 Aliran Air Dalam Rumah Pompa

Untuk memperlihatkan aliran air dalam rumah pompa dengan cara menambahkan pewarna pada air yang digunakan, pada Gambar 4.21 terlihat bagaimana aliran air pada saat air masuk ke rumah pompa kemudian dilempar oleh *impeller* dengan kecepatan yang tinggi yang kemudian dikonversi menjadi tekanan sehingga bisa mengangkat air ke tempat yang lebih tinggi.



Gambar 4.20 Aliran Air Dalam Rumah Pompa

Dilihat dari Gambar 4.20 dapat terlihat aliran air dalam rumah pompa dengan kondisi air yang memenuhi pompa sehingga tidak terdapat rongga dan gelembung air di dalamnya.

4.6 Analisis dan Pembahasan

Berdasarkan proses pengujian alat peraga pompa sentrifugal, faktor kebocoran dapat mempengaruhi performa dari pompa sentrifugal, kemampuan vakum yang baik pada pompa sentrifugal dipengaruhi tidak adanya udara yang keluar dari dalam pompa yang disebabkan oleh kebocoran.

Pada percobaan yang pertama, masih terdapat kebocoran pada bagian sambungan *shaft* dan badan pompa, dimana *shaft* dihubungkan dengan *bearing* yang dipasang pada badan pompa, air terus mengalir keluar di antara celah *shaft* dan *bearing* yang menyebabkan pompa tidak vakum, kemudian juga terdapat kebocoran pada sambungan keran manometer dan sambungan pipa dan *discharge* pompa (lihat pada Gambar 4.21).



Gambar 4.21 Bagian yang Mengalami Kebocoran

Untuk mengatasi kebocoran tersebut, pada bagian *bearing* diganti menggunakan pelindung yang terbuat dari karet agar air tidak dapat keluar dari celah-celah *shaft*, dan untuk bagian keran manometer dan bagian penghubung antara *discharge* pompa dan pipa diberi *seal* dalam bentuk lem silikon agar tidak terjadi kebocoran lagi. Untuk bagian *casing* juga mudah menjadi buram ketika bersentuhan dengan air dalam waktu yang lama.

Agar tidak terjadi banyak kebocoran lagi, direkomendasikan untuk terlebih dahulu melakukan pengecekan kebocoran pada rumah pompa dengan cara direndam dalam air dengan memberikan tekanan pada salah satu sisi dan melihat apakah masih terdapat kebocoran. Kemudian pada saat melapisi *silicon seal* pada rumah pompa lebih merata agar tidak ada bagian yang bocor dan untuk casing yang buram jika terkena air dapat dihaluskan terlebih dahulu dan kemudian diberi *compond* untuk mengkilatkan resin atau jika masih kurang diberi cat *epoxy* transparan untuk memberikan lapisan bening pada permukaan *casing*.

4.7 Penggunaan Pompa Sentrifugal Sebagai Alat Peraga

Pompa sentrifugal kemudian diuji sebagai alat peraga oleh mahasiswa dan kemudian dari pengujian langsung tersebut mahasiswa diberikan kuesioner untuk melihat apakah alat peraga sistem pompa sentrifugal yang telah dibuat telah sesuai atau tidak. Hasil kuesioner dapat dilihat pada Lampiran 1.

Dari hasil kuesioner yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa alat peraga sistem pompa sentrifugal yang dibuat telah sesuai seperti alat peraga yang sudah ada, untuk cara pengoperasian alat juga mudah dan nyaman, ada beberapa pengguna juga yang kurang nyaman karena harus memasukkan tangan kedalam air, kemudian untuk manometer U air raksa sangat membantu dan jelas untuk dibaca hasilnya, untuk rumah pompa yang transparan sangat membantu pengguna untuk dalam memperlihatkan aliran air dalam rumah pompa dan juga ilmu yang disampaikan saat menggunakan alat peraga sistem pompa sentrifugal juga jelas dalam proses penyampaiannya.

BAB 5
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis perancangan perancang alat peraga sistem pompa sentrifugal, maka dapat ditarik kesimpulan yaitu untuk pompa yang dibuat telah bekeja dengan baik dan dapat memperlihatkan aliran air dalam rumah pompa. Berdasarkan hasil pengujian, debit air = 26 *L/min* dan pada pembacaan manometer air raksa pipa U didapatkan *Δh suction* = 0.09 *m* dan *Δh discharge* = 0.07 *m*, sedangkan untuk tekanan yang dihasilkan $p_{Suction}$ menghasilkan tekanan sebesar 89 *KPa* dan untuk $p_{Discharge}$ menghasilkan tekanan sebesar 110 *KPa*. Untuk daya yang dihasilkan pompa adalah 7.64 *watt* dan memiliki efisiensi daya sebesar 3.82 %, dari perbandingan *head* dan debit air secara teoritis disimpulkan bahwa semakin tinggi *head* pompa maka semakin kecil debit air yang dihasilkan.

5.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan, sebaiknya disarankan untuk dilakukan perkembangan dan perbaikan untuk meningkatkan kehandalan alat ini , perkembangan dan perbaikan yang dilakukan seperti dibawah ini:

1. Kecepatan pada motor penggerak dapat diubah-ubah.
2. Ketinggian *head* pada pompa dapat divariasikan.
3. Dilakukan perbaikan dalam proses *seal* agar tidak terdapat banyak kebocoran lagi.

DAFTAR PUSTAKA

Al-Mukarrom Rajab, M. (2013, Juni 13). *Manometer(Mekanika Fluida).* Retrieved from Scribd.

Atta, E. T. (2014, Juni 4). *Components of Centrifugal Pump.* Retrieved from Green Mechanic.

Beardmore, R. (2013, Januari 25). *Rotodynamic Pumps.* Retrieved from RoyMech.

Cengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2006). *Fluid Mechanics : Fundamentals and Applications.* New York: McGraw-Hill,The McGraw-Hill companies, Inc., 1221 Avenue of the Americas.

Dietzel, F. (1988). *Turbi,Pompa dan Kompresor.* Jakarta: Erlangga.

Fairuzabadi, M. (2011, Mei 24). Pengertian dan Tujuan Alat Pendidikan.

Fauzi, D. (2014, September 7). Arti dan Definisi Serta Perbedaan CAD CAM dan CAE.

Mufty, S. (2016, Maret 28). Definisi Manometer. p. 1.

Musyafa, A. A., & Siregar, I. H. (2015). Pengaruh Jumlah Sudu Sentrifugal Impeller Terhadap Kapasitas dan Efesiensi Pompa Sentrifugal. *Jurnal Teknik Mesin, Vol.3, No.3,* 136-144.

Nunulasa. (2013, August 26). *Some Impeller Types in Centrifugal Pump.* Retrieved from UripGumulya.

Okarof, C. (2015, November 27). *Basic Concepts of Operation, Maintenance, and Troubleshooting of Centrifugal Pumps By Okafor Christopher Ogochukwu.* Retrieved from Linkedin.

Priyanto, E. S. (2008). Analisa Aliran Fluida Pada Pipa Acrylic Diameter 12.7 mm(0.5 Inch) dan 38.1 mm(1.5 inch). *Skripsi Program Studi Teknik Mesin*.

Sagitta, B. (2009, Juni 9). *Cetakan Mesin Injeksi Plastik (Plastic Injection Molding Mold).* Retrieved from Berkhayal, Memperluas Wawasan & Menerapkan Teknologi di Indonesia.

Sepdyanuri, I. L. (2016, Januari 23). Pompa Sentrifugal. pp. 4-5.

Sucipriadi, C. A. (2016). Optimalisasi Sistem Perawatan Pompa Sentrifugal Di Unit Utility. *Metodologi Penelitian*, 1-2.

Sudjana, n. (2008). *Penelitian Proses Hasil Belajar Mengajar*. Bandung: PT.Remaja Rosda Karya.

Sujanayogi. (2010, Maret 5). *CAM Computer Aided Manufacturing (Truemill dalam Surfcam).*

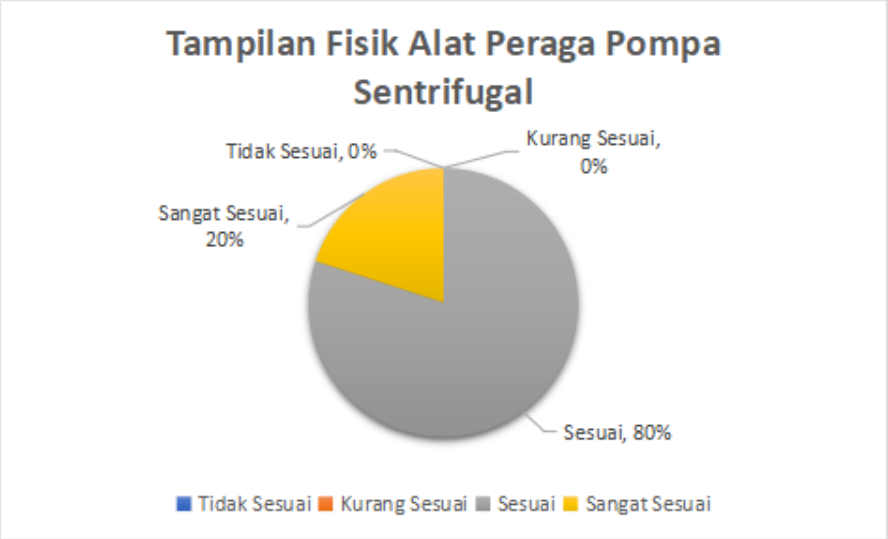
Sularso; Tahara, Haruno. (2000). *Pompa dan Kompresor*. Jakarta: Pradnya Paramita.

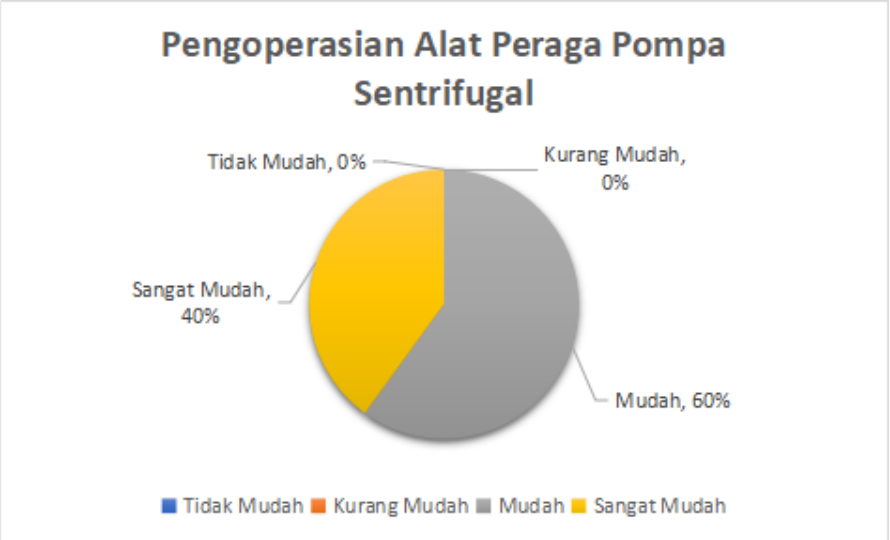
Sulistya, W. (2013). Perencanaan Perawatan dan Perbaikan Alat Peraga Perawatan Instalasi Pompa Jenis Pompa Sentrifugal - Kapasitas 30 L/min. *Jurnal Teknik Mesin, Vol.2, No.1*.

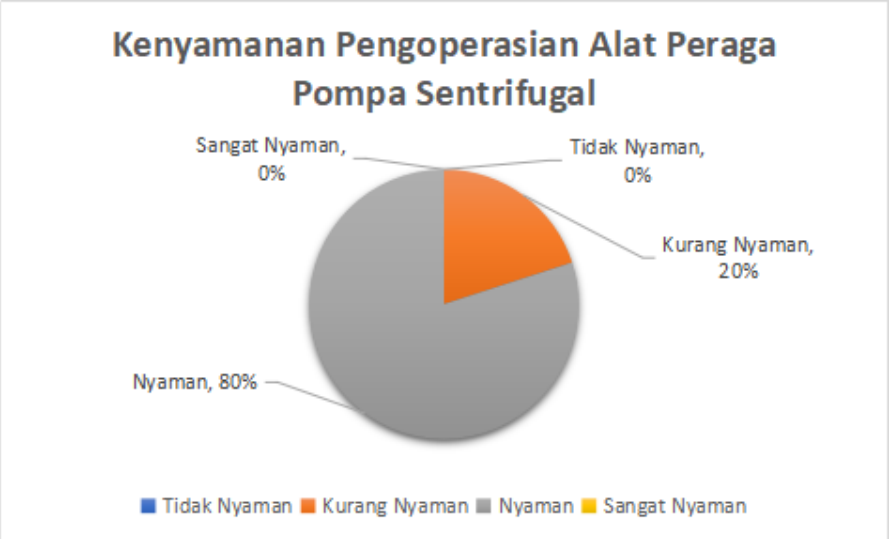
Syahriza, Firsa, T., & Ibrahim, M. (2015). Rancang Bangun Mesin CNC 4 Axis Berbasis PC(Personal Computer). *Jurnal Teknik Mesin Unsyiah Vol.3, No.*, 75-76.

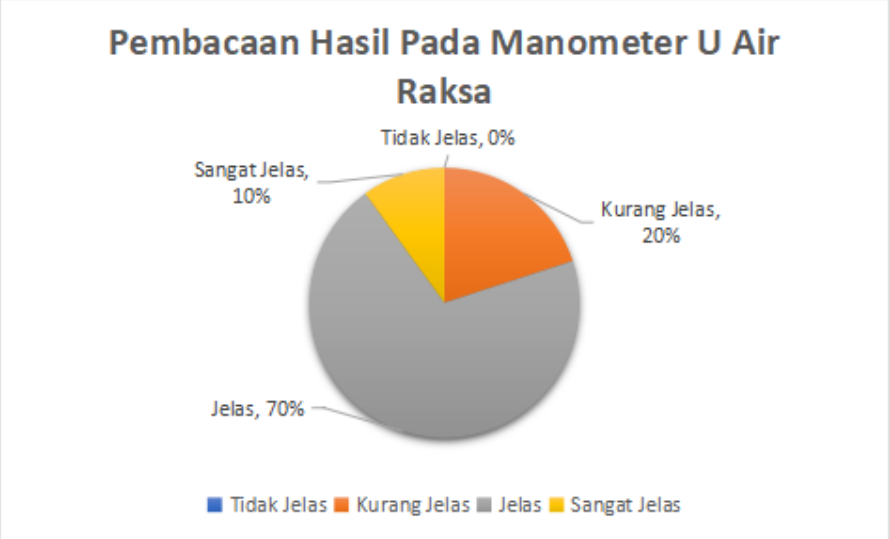
Wahyudi, I. (2013). *Analisis Perancangan Pompa Guna Pemenuhan Air Bersih PDAM Kota Probolinggo.* Jember: Universitas Jember.

LAMPIRAN 1

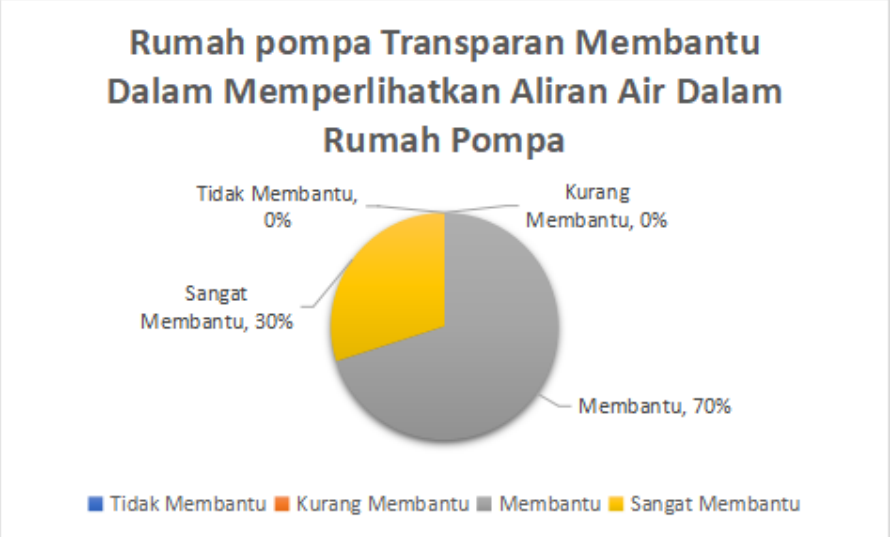

Tampilan Fisik Alat Peraga Pompa Sentrifugal
Tidak Sesuai, 0%
Kurang Sesuai, 0%
Sangat Sesuai, 20%
Sesuai, 80%
Tidak Sesuai
Kurang Sesuai
Sesuai
Sangat Sesuai

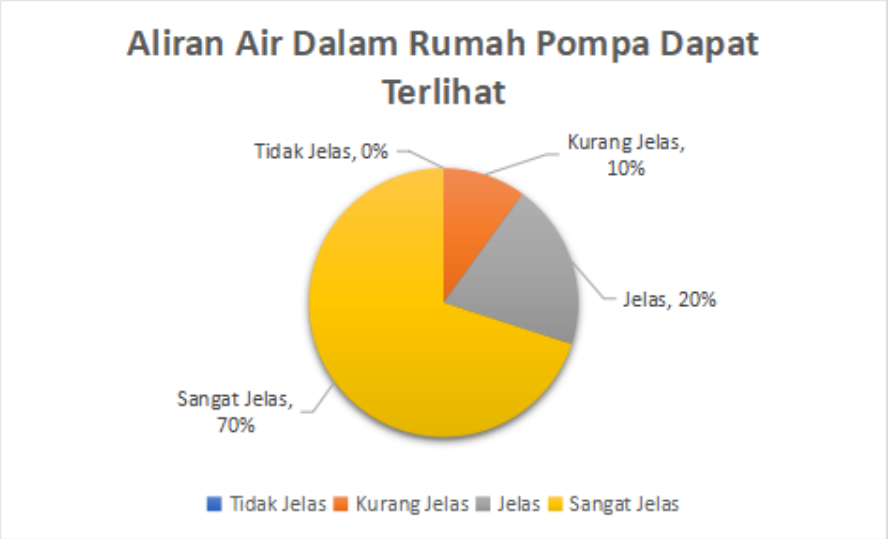

Pengoperasian Alat Peraga Pompa Sentrifugal
Tidak Mudah, 0%
Kurang Mudah, 0%
Sangat Mudah, 40%
Mudah, 60%
Tidak Mudah
Kurang Mudah
Mudah
Sangat Mudah

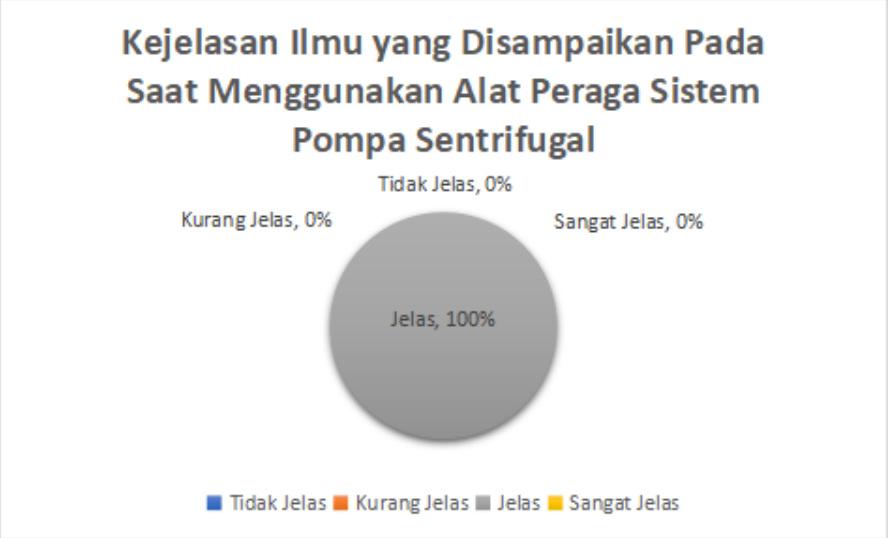

Kenyamanan Pengoperasian Alat Peraga Pompa Sentrifugal
Sangat Nyaman, 0%
Tidak Nyaman, 0%
Kurang Nyaman, 20%
Nyaman, 80%
Tidak Nyaman
Kurang Nyaman
Nyaman
Sangat Nyaman

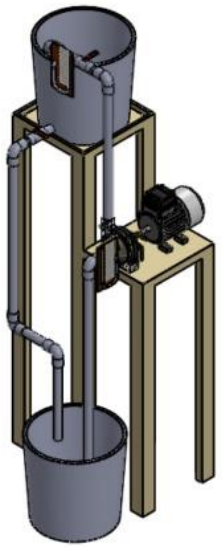

Pembacaan Hasil Pada Manometer U Air Raksa
Tidak Jelas, 0%
Sangat Jelas, 10%
Kurang Jelas, 20%
Jelas, 70%
Tidak Jelas
Kurang Jelas
Jelas
Sangat Jelas

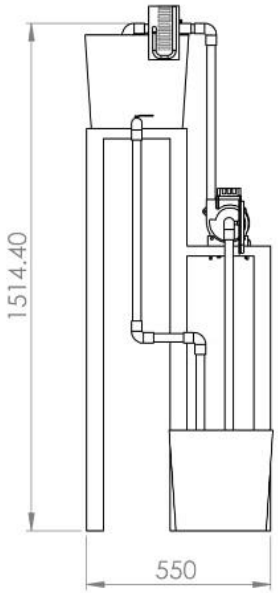

Menentukan Perbedaan Tekanan Suction dan Discharge Pada Manometer U Air Raksa
Tidak Membantu, 0%
Kurang Membantu, 0%
Sangat Membantu, 0%
Membantu, 100%
Tidak Membantu
Kurang Membantu
Membantu
Sangat Membantu


Rumah pompa Transparan Membantu Dalam Memperlihatkan Aliran Air Dalam Rumah Pompa
Tidak Membantu, 0%
Kurang Membantu, 0%
Sangat Membantu, 30%
Membantu, 70%
Tidak Membantu
Kurang Membantu
Membantu
Sangat Membantu

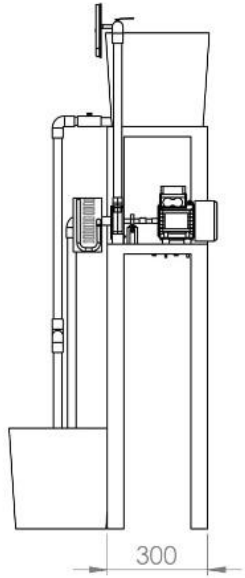

Aliran Air Dalam Rumah Pompa Dapat Terlihat
Tidak Jelas, 0%
Kurang Jelas, 10%
Jelas, 20%
Sangat Jelas, 70%
Tidak Jelas
Kurang Jelas
Jelas
Sangat Jelas


Kejelasan Ilmu yang Disampaikan Pada Saat Menggunakan Alat Peraga Sistem Pompa Sentrifugal
Tidak Jelas, 0%
Kurang Jelas, 0%
Sangat Jelas, 0%
Jelas, 100%
Tidak Jelas
Kurang Jelas
Jelas
Sangat Jelas



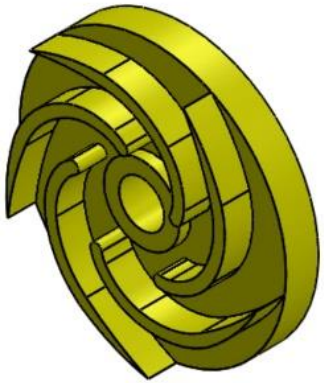


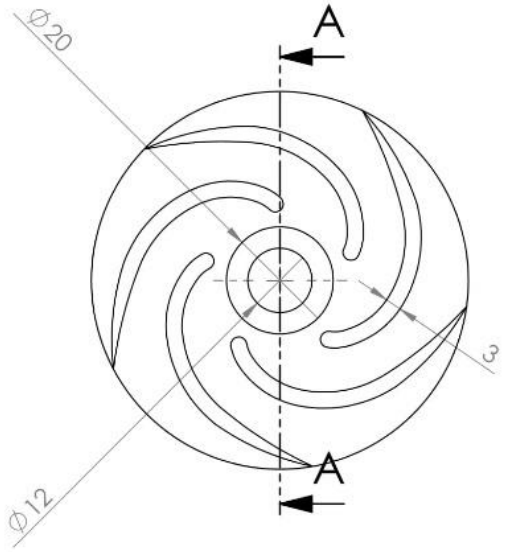
SCALE 1 : 16



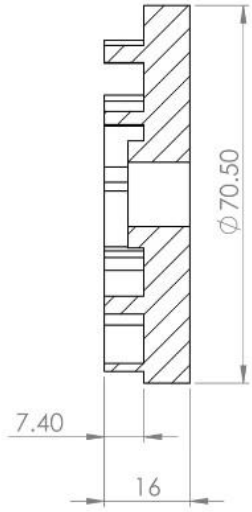
SCALE 1 : 16

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:	FINISH:				DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING / REVISION
	14 JULI 2016					
	NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE: Assembly Alat Peraga Pompa Sentrifugal
DRAWN	Prasasti Gunawan					
CHK'D						
APP'VD						
MFG						
Q.A				MATERIAL:		DWG NO. 1.0 / A4
				WEIGHT:		SCALE:1 : 16 / SHEET 1 OF 1

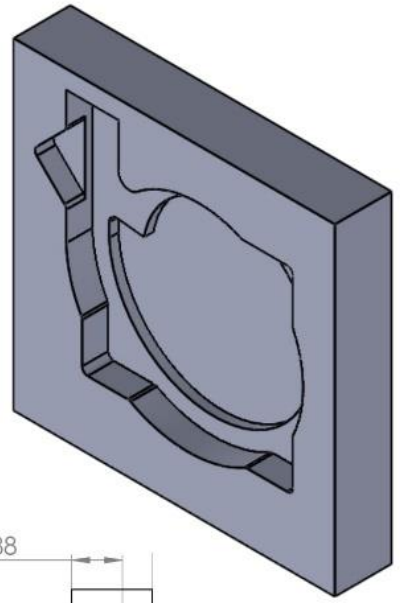


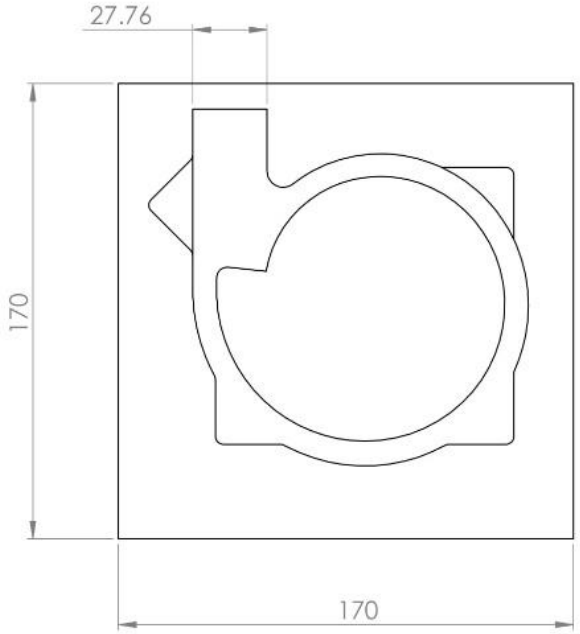


SECTION A-A

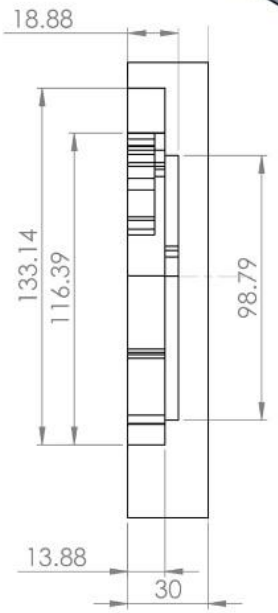


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH: 30 JUNI 2016				DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
	Name	SIGNATURE	DATE				TITLE: Impeller	
DRAWN	Prasasti Gunawan							
CHK'D								
APPV'D								
MFG								
Q.A				MATERIAL: Alumunium			DWG NO. 2.0	A4
				WEIGHT:			SCALE:1:1	SHEET 1 OF 1

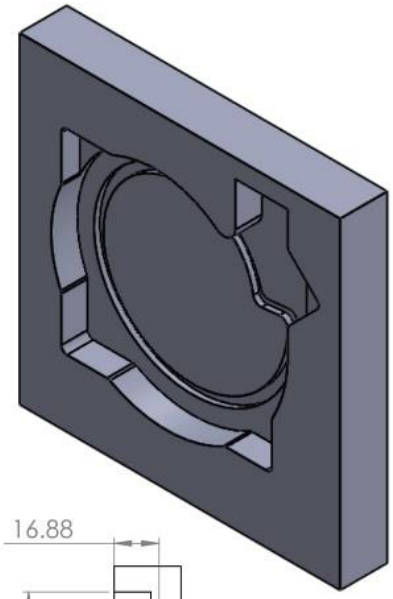


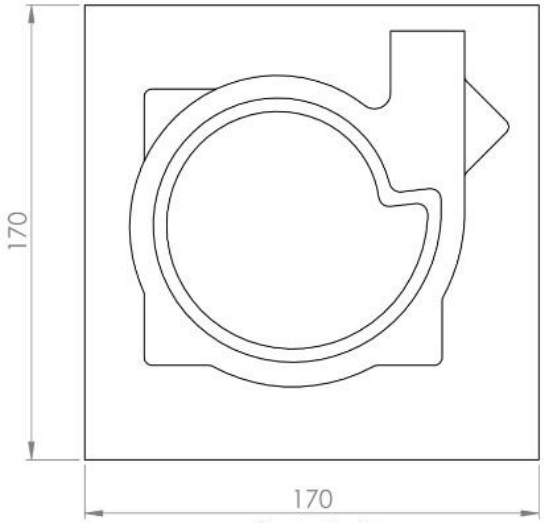


SCALE 1 : 2

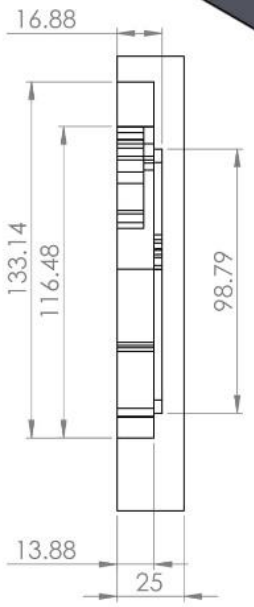


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH: 03 AGUSTUS 2016			DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
	NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE: Cavity Bodi Belakang	
DRAWN	Prasasti Gunawan						
CHK'D							
APP'D							
MFG							
Q.A				MATERIAL: Kayu Mahoni		DWG NO. 3.0	A4
				WEIGHT:		SCALE:1: 2	SHEET 1 OF 1

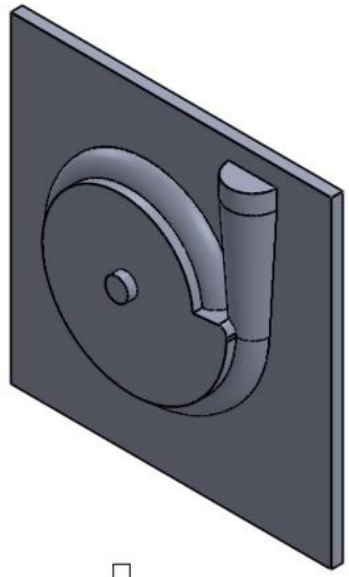


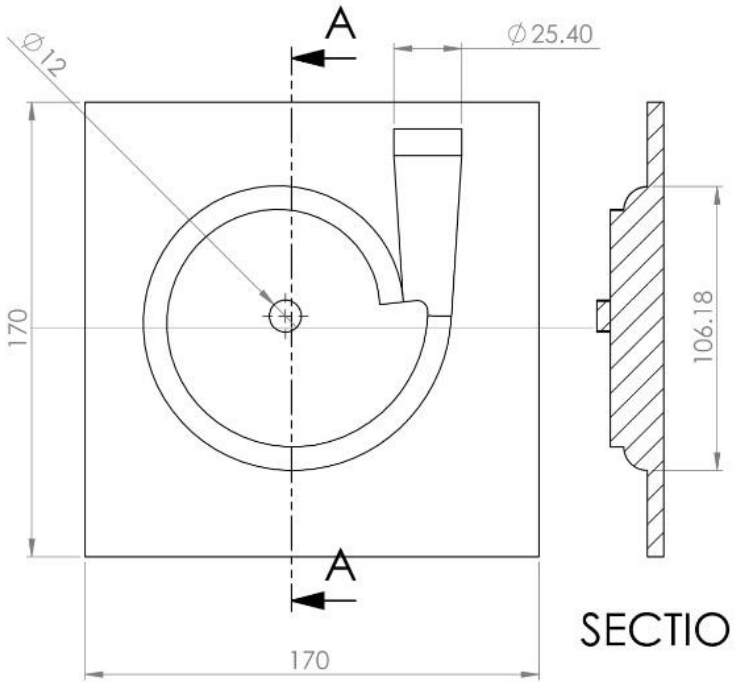


Skala 1 : 2

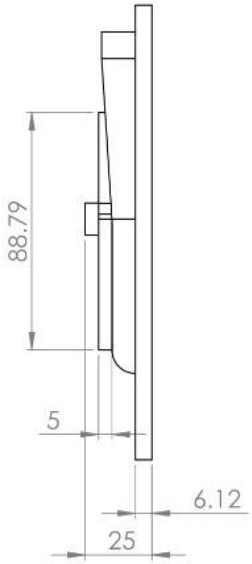


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH: 03 AGUSTUS 2016				DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING / REVISION
	NAME	SIGNATURE	DATE				TITLE: Cavity Bodi Depan
DRAWN	Prasasti Gunawan						
CHK'D							
APP'D							
MFG							
Q.A				MATERIAL: Kayu Mahoni			DWG NO. 4.0 / A4
				WEIGHT:			SCALE:1 : 2 / SHEET 1 OF 1

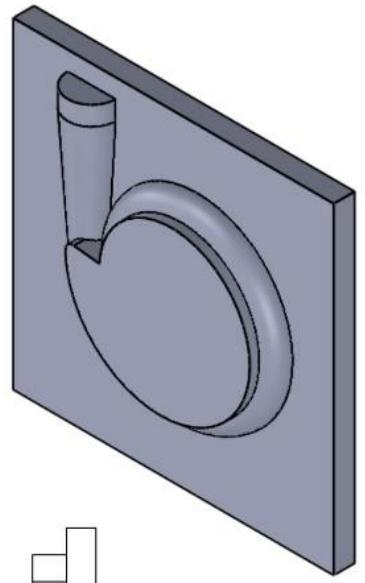


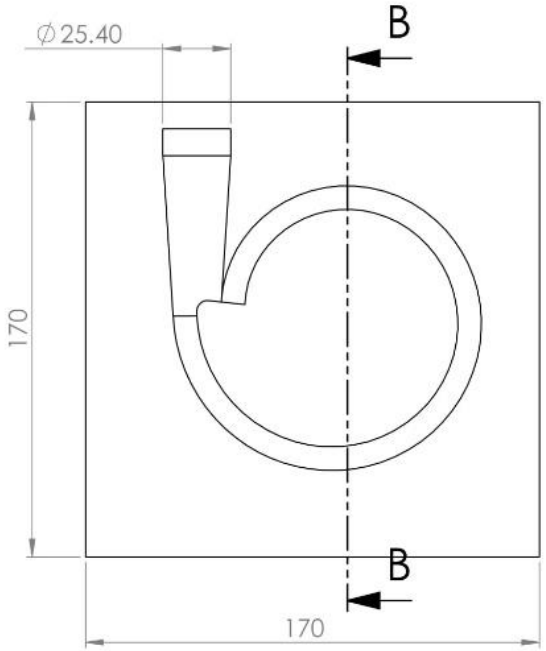


SECTION A-A

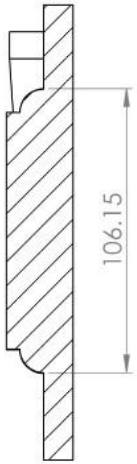


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH: 03 AGUSTUS 2016		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
	NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE: Core Bodi Belakang	
DRAWN	Prasasti Gunawan						
CHK'D							
APPV'D							
M.FG							
Q.A				MATERIAL: Kayu Mahoni		DWG NO. 5.0	A4
				WEIGHT:		SCALE:1 : 2	SHEET 1 OF 1



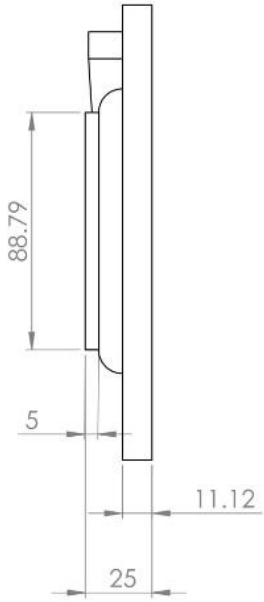


SCALE 1 : 2



SECTION B-B

SCALE 1 : 2



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH: 03 AGUSTUS 2016				DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING / REVISION
	NAME	SIGNATURE	DATE				TITLE: Core Bodi Depan
DRAWN	Prasasti Gunawan						
CHK'D							
APP'D							
MFG							
Q.A				MATERIAL: Kayu Mahoni			DWG NO. 6.0 / A4
				WEIGHT:			SCALE:1 : 2 / SHEET 1 OF 1