

TEKNIK DASAR REKONSTRUKSI 3D IMPELLER POMPA

TESIS

Disusun oleh :

BAMBANG SETIADI

NIM : 16510602

MAGISTER TEKNIK MESIN

Konsentrasi : Enjiniring Produk dan Manufaktur



Tesis ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

Magister Bidang Ilmu Teknik Mesin

PROGRAM PASCASARJANA

INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL

JAKARTA

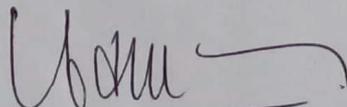
2017

TEKNIK DASAR REKONSTRUKSI 3D IMPELLER POMPA

Oleh :
BAMBANG SETIADI
NIM : 16510602

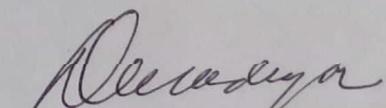
**Tesis ini diajukan kepada Program Pascasarjana
Institut Sains dan Teknologi Nasional
sebagai pelengkap persyaratan untuk gelar
Magister Teknik Mesin
Konsentrasi Enjinering Produk dan Manufaktur**

Jakarta, April 2017



Prof.Dr.Dipl.-Ing Bambang Teguh Prasetyo, DEA

PEMBIMBING I



Prof. Dr.Ir. DN Adyana, APU

PEMBIMBING II

LEMBAR PERSETUJUAN

TEKNIK DASAR REKONSTRUKSI 3D IMPELLER POMPA

Tesis ini di susun Oleh :

BAMBANG SETIADI

NIM : 16510602

Telah dipertahankan didepan Dewan Penguji

Pada Hari Sabtu, 6 Mei 2017

Susunan Dewan Penguji

Ketua : Prof.Dr.Dipl.-Ing Bambang Teguh Prasetyo, DEA

Anggota : Prof. Dr. Ir. DN. Adyana, APU

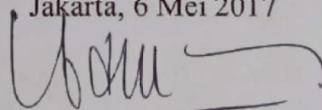
Prof. Dr. Ir. Dahmir Dahlan, MSc

Dr. Ir. Tri Wibowo



Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Magister Teknik Mesin

Jakarta, 6 Mei 2017



Prof.Dr.Dipl.-Ing Bambang Teguh Prasetyo, DEA

Kepala Program Studi Magister Teknik Mesin

PROGRAM PASCASARJANA

INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL

JAKARTA

2017

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena akhirnya tesis ini dapat diselesaikan guna memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi pada sekolah Pascasarjana, Program Studi Magister Teknik Mesin Program Pasca Sarjana Institut Sains dan Teknologi Nasional (ISTN), Jakarta. Dalam Proses penyelesaian tesis ini, penulis selalu berusaha dengan sekuat kemampuan yang ada agar tidak menyimpang dari syarat-syarat yang diperlukan untuk memenuhi tuntutan ilmiahnya. Namun demikian sebagai manusia yang penuh dengan keterbatasan, penulis tidak luput dari khilaf dan kekurangan, maka apa yang diharapkan ada ketidaksempurnaan dalam penulisan.

Sehubungan dengan hal tersebut diatas, maka penulis dengan senang hati dan tangan terbuka menerima segala saran dan kritik yang bersifat membangun untuk menuju ke arah perbaikan demi tercapainya kesempurnaan dalam tesis ini.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dari pihak lain terutama dosen pembimbing niscaya tesis ini tidak dapat terselesaikan dengan baik, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Prof.Dr.Dipl.-Ing Bambang Teguh Prasetyo, DEA, Ketua Program Studi Magister Teknik Mesin Institut Sains dan Teknologi Nasional Jakarta.
2. Prof.Dr.Dipl.-Ing Bambang Teguh Prasetyo, DEA, selaku dosen pembimbing pertama yang telah tanpa pamrih meluangkan waktu, tenaga serta pemikiran selama membimbing penulisan tesis ini.

3. Prof. Dr. Ir. DN. Adyana, APU, selaku dosen pembimbing kedua yang telah tanpa pamrih meluangkan waktu, tenaga serta pemikiran selama membimbing penulisan tesis ini.
4. Bapak Dosen Staf Pengajar Program Pascasarjana, Program Studi Magister Teknik Mesin Institut Sains dan Teknologi Nasional, Jakarta.
5. Kedua Orangtua dan Mertua yang telah memberikan bantuan baik secara moril maupun secara material sehingga tesis ini dapat terselesaikan.
6. Riski Tri Indriyani, Istri tercinta yang selalu memberikan semangat agar tesis ini dapat selesai.
7. Hamzah, Hasna, Hisyam dan Hudzaifah, keempat anakku yang memberikan semangat dan doa agar tugas tesis ini selesai.
8. Dan pihak lain yang penulis tidak dapat sebutkan satu persatu.

Semoga dengan tersusunnya tesis ini, akan dapat membawa manfaat dan berguna di kemudian hari

Jakarta, April 2017

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR ASISTENSI	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
ABSTRAK_	v
KATA PENGANTAR_	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR NOTASI	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Penelitian.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	4
1.3. Hipotesa	5
1.4. Batasan Masalah	6
1.5. Maksud dan tujuan Penelitian.....	6
1.5.1. Maksud Penelitian	6
1.5.2. Tujuan Penelitian.....	6
1.6. Manfaat Penelitian	7
1.7. Jadwal dan Tempat Pelaksanaan	7
1.8. Sistematika Penulisan	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1. Peraturan pemerintah	9
2.2. Penelitian sebelumnya	11

2.3.	Perancangan Produk	12
2.3.1.	Perancangan dan gambar teknik.....	13
2.3.2.	Siklus kehidupan produk dan jalur perancangan produk	14
2.3.3.	Bantuan Komputer pada proses perancangan.....	15
2.3.4.	Metode QFD (<i>Quality Function Deployment</i>)	17
2.4.	Teknik rekonstruksi 3D.....	19
2.5.	Karet Silikon.....	21
2.6.	Viskositas.....	27
2.6.1.	Hukum yang terkait dengan viskositas.....	28
2.6.2.	Hubungan antara hukum stokes, berat dan dari prinsip archimedes untuk mendapatkan koefisien viskositas.....	29
2.7.	Pompa.....	30
2.7.1.	Pompa sentrifugal.....	30
2.7.2.	Kerja Pompa Sentrifugal	32
2.7.3.	Klasifikasi Pompa Sentrifugal.....	33
2.7.4.	Perhitungan Pompa	35
2.7.5.	Karakteristik Pompa.....	41
2.7.6.	Perencanaan Impeller	44
2.7.7.	Head Teoritis (<i>H_{th}</i>).....	45
2.7.8.	Kecepatan spesifik.....	48
2.7.9.	Segitiga Kecepatan	49
2.7.10.	Sudut Keluar Impeller	50
2.7.11.	Penentuan Bentuk Impeller	52
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		56
3.1.	Sumber data, Subjek dan Objek penelitian.....	56

3.2.	Metode Penelitian	57
3.3.	Pengujian Karet Silikon.....	59
3.4.	Data teknik Impeller	64
BAB IV ANALISIS DATA DAN HASIL PENELITIAN		67
4.1.	Gambaran subjek penelitian	67
4.2.	Teknik pengumpulan data	67
4.2.1.	Data teknik impeller	67
4.3.	Analisis data dan Hasil penelitian	72
4.4.	Perhitungan validasi impeller	72
4.4.1.	Kecepatan keliling Impeller (u).....	72
4.5.	Pembahasan	78
BAB V KESIMPULAN		79
5.1.	Kesimpulan.....	79
5.2.	Saran	80
DAFTAR PUSTAKA		

DAFTAR GAMBAR

1. Gambar 1.1. Diagram <i>Fishbone</i> metode yang dapat dilakukan untuk merekonstruksi Impeler pompa	5
2. Gambar 2.1. Siklus kehidupan produk	14
3. Gambar 2.2. Siklus kehidupan Produk	15
4. Gambar 2.3. Pengetahuan yang dipakai pada proses perancangan	15
5. Gambar 2.4. Rumah kualitas atau yang dikenal dengan nama diagram QFD	18
6. Gambar 2.5. Computed Axcial tomography (CAT- Scan)/Computed Tomography (CT- Scan).....	19
7. Gambar 2.6. Coordinate Measurement Machine (CMM)	20
8. Gambar 2.7. Proses penuangan pencetakan sisi tunggal	27
9. Gambar 2.8. Gaya yang bekerja pada benda yang bergerak di dalam fluida	29
10. Gambar 2.9. bagian utama pompa sentrifugal	30
11. Gambar 2.10 Impeller tertutup	33
12. Gambar 2.11. Impeller setengah terbuka.....	34
13. Gambar 2.12 Impeller terbuka	34
14. Gambar 2.13 Head Pompa	36
15. Gambar 2.14 NPSH bila tekanan atmosfer bekerja pada permukaan air yang di isap	38
16. Gambar 2.15 Performansi kavitasi pada kapasitas tetap	39
17. Gambar 2.16 Performansi kavitasi dari pompa volut isapan tunggal	39
18. Gambar 2.17 Performansi kavitasi dari pompa aliran aksial dan pompa aliran campur	40
19. Gambar 2.18 Kurva Head-kapasitas dari pompa (P) dan Sistem (S)	41

20. Gambar 2.19. Karakteristik dari pompa putar	42
21. Gambar 2.20. Segitiga kecepatan keluar dari pompa radial	42
22. Gambar 2.21. Kurva karakteristik teoritis $H=f(Q)$ dari impeller radial	43
23. Gambar 2.22 Ukuran-ukuran utama impeller.....	44
24. Gambar 2.23 Aliran fluida dalam impeller pompa sentrifugal	47
25. Gambar 2.24 Kecepatan-kecepatan pada impeller	49
26. Gambar 2.25 Segitiga kecepatan (a) inlet (b) outlet.....	49
27. Gambar 2.26 Ujung sudu masuk impeller.....	50
28. Gambar 2.27 Ujung sudu keluar impeller	51
29. Gambar 2.28 Metode busur lingkaran	52
30. Gambar 2.29 Metode dua busur lingkaran	53
31. Gambar 2.30 Metode titik per titik.....	54
32. Gambar 3.1. Impeller pompa	56
33. Gambar 3.2. Karet silikon dan hardener.....	57
34. Gambar 3.3. Diagram alir proses penelitian.....	59
35. Gambar 3.4 Pengujian viskositas metode bola jatuh	60
36. Gambar 3.5. Pengujian pencampuran karet silikon dengan hardener serta melihat apakah ada penyusutan pada hasil cetakan	61
37. Gambar 3.6. Proses pencetakan profil impeller menggunakan karet silikon	62
38. Gambar 3.7. Spesimen uji tarik karet silikon	62
39. Gambar 3.8. Spesimen uji tarik karet silikon	63
40. Gambar 3.9. Spesimen karet silikon yang cacat	63
41. Gambar 3.10. Pengukuran bagian diameter impeller	64
42. Gambar 3.11. Pengukuran dan penggambaran hasil cetakan	65

43. Gambar 3.12. Mengukur dan Menggambar profil sudu impeller	65
44. Gambar 3.13. Sudut masuk dan sudut keluar impeller	66
45. Gambar 3.14 Impeller pompa 3D.....	66
46. Gambar 4.1 pengukuran diameter dalam (D_1) dan diameter luar (D_2) Impeller	67
47. gambar 4.2. Pengujian viskositas karet silikon	69
48. gambar 4.3 Pengujian hasil-hasil cetakan karet silikon menggunakan benda yang sederhana.	70
49. gambar 4.4. Bentuk profil sudu impeller dan pengukuran lebar sisi masuk dan lebar sisi keluar impeller	70
50. Gambar 4.5 pelukisan bentuk profil sudu impeller	71
51. Gambar 4.6. Sudut masuk dan sudut keluar impeller	71
52. Gambar 4.7. Segitiga kecepatan impeller pompa	73
53. Gambar 4.8. Segitiga kecepatan sudu masuk.	74
54. Gambar 4.9. Segitiga kecepatan sudu keluar	74
55. Gambar 4.10 Kurva karakteristik pompa $\beta_2 > 90^\circ$	77

DAFTAR TABEL

1. Tabel 4.1. Data hasil rekonstruksi impeller pompa 72
2. Tabel 4.2. data yang didapat dari segitiga kecepatan sudu masuk dan sudu keluar untuk kapasitas 85 liter/menit 75
3. Tabel 4.3. Validasi impeller pompa $\beta_2 > 90^\circ$ 77

DAFTAR NOTASI

- ρ = massa jenis (kg/m^3)
 g = gravitasi (m/s^2)
 μ = koefisien viskositas ($kg/m.s$)
 t = waktu
 Q = kapasitas pompa (liter/ menit)
 H = head pompa (m)
 $H_{th\infty}$ = head teoritis pompa (m)
 β_1 = sudut sudu masuk ($^\circ$)
 β_2 = sudut sudu keluar ($^\circ$)
 D_H = Diameter hub impeller (mm)
 D_1 = Diameter dalam impeller (mm)
 b_1 = Lebar sisi masuk impeller, (mm)
 D_2 = Diameter luar impeller, (mm)
 b_2 = Lebar sisi keluar impeller, (mm)
 n = Kecepatan motor penggerak, (rpm)
 s = Tebal sudu impeller, (mm)
 M_{st} = momen Static pada garis lurus sumbu A1 - A2
 r_2 = jari - jari luar Impeller (mm)
 z = Jumlah sudu
 ψ = Koefisien yang tergantung tipe Impeller
 u_1 = kecepatan keliling fluida masuk impeller (m/s)
 u_2 = kecepatan keliling fluida keluar impeller (m/s)
 c_{m1} = Kecepatan meredian sisi masuk Impeller (m/s)
 c_{m2} = Kecepatan meredian sisi keluar Impeller (m/s)
 c_1 = Kecepatan absolut sudu masuk (m/s)
 c_2 = Kecepatan absolut sudu keluar (m/s)
 w_1 = Kecepatan relatif sudu masuk (m/s)
 w_2 = Kecepatan relatif sudu keluar (m/s)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Penelitian

Teknik rekonstruksi tiga dimensi (3D) merupakan suatu proses pembuatan kembali model 3D suatu objek berdasarkan data fisik serta geometri dari objek tersebut (Lkeuchi, 2001). Proses ini umumnya dilakukan dalam lingkungan spasial virtual dengan bantuan komputer, sehingga model yang dihasilkan akan berupa model 3D digital.

Data-data fisik serta geometri objek yang akan direkonstruksi diperoleh melalui serangkaian pengukuran yang dilakukan baik secara aktif maupun secara pasif (Brian Curless, 1999). Rekonstruksi 3D aktif ditandai dengan adanya interaksi antara objek yang akan direkonstruksi dengan sistem pengukuran yang mengumpulkan data-data masukan untuk proses rekonstruksi. *Coordinate Measurement Machine (CMM)* dan *Computer Tomography (CT Scan)* merupakan contoh peralatan rekonstruksi 3D menggunakan metoda aktif. Sedangkan rekonstruksi 3D pasif dilakukan menggunakan sistem pengukuran yang tidak berinteraksi langsung dengan objek yang akan di rekonstruksi. Salah satu contoh rekonstruksi 3D dengan metoda ini yaitu *Photogrametry*, dimana pada teknik rekonstruksi ini digunakan kamera yang secara pasif menangkap pantulan cahaya dari objek yang akan di rekonstruksi.

Dalam bidang medis, rekonstruksi 3D secara luas digunakan untuk keperluan diagnosa (Macovski, 1983). Hal yang sebelumnya sulit untuk dilakukan dalam mengidentifikasi suatu penyakit/gangguan pada tubuh, kini dengan bantuan

rekonstruksi 3D dapat dilakukan dengan mudah dan cepat serta meningkatkan akurasi diagnosa yang dilakukan oleh para tenaga medis. Model 3D suatu jaringan tubuh, otak misalnya dapat di buat tanpa harus melakukan prosedur pembedahan, dengan demikian kemungkinan rusaknya jaringan tubuh akibat prosedur-prosedur dalam tahap diagnosa dapat diminimalisir.

Rekonstruksi 3D juga umum dilakukan dalam bidang rekayasa dan industri. Salah satu aplikasi rekonstruksi 3D dalam bidang rekayasa dan industri yaitu untuk mendeteksi kesalahan geometri ataupun cacat dalam suatu produk sebagai bagian dari *Quality Assurance (QA)* (Oster 1999). Suatu produk diukur data-data geometrinya, kemudian dibuat model 3D dari produk tersebut. Selanjutnya model 3D produk dibandingkan dengan desain awal dari produk tersebut. Perbedaan-perbedaan yang mungkin terjadi antara produk dengan desain aslinya inilah yang kemudian dianalisa dan diantisipasi, sehingga dapat diperoleh produk dengan kualitas yang baik.

Aplikasi lain dari rekonstruksi 3D dalam bidang rekayasa yaitu untuk keperluan rekayasa balik (*reverse engineering*) (Adrian *et al.*, 1999). Suatu komponen/produk direkayasa ulang dengan merekonstruksi model 3D dari komponen tersebut. Rekayasa ulang terhadap komponen industri meliputi peningkatan kemampuan, modifikasi, dan sebagainya. Sehingga dapat diperoleh desain baru dengan kemampuan dan kualitas yang lebih baik.

Dalam kaitannya dengan rekonstruksi 3D, terdapat satu teknik rekonstruksi 3D yang menghasilkan model 3D pejal dari suatu komponen yang akan direkonstruksi yaitu *Computed Axial Tomography (CAT-Scan)* atau biasa disebut dengan *Computer Tomography (CT Scan)*. Dengan teknik ini, Rekonstruksi 3D suatu objek dapat dilakukan dengan cara membuat potongan-

potongan melintang objek yang kemudian disusun sehingga membentuk suatu model 3D pejal.

Pada umumnya, sistem CT digunakan di rumah sakit untuk keperluan diagnosa medis. Sistem CT tersebut berukuran cukup besar dengan harga yang cukup mahal. Sistem CT yang terpasang di rumah sakit tidak dirancang untuk keperluan lain selain kepentingan medis. Oleh karena itu meskipun secara prinsip dapat digunakan untuk merekonstruksi komponen industri, akan tetapi perubahan-perubahan setting yang harus dilakukan membuat pihak rumah sakit enggan menggunakan sistem CT mereka selain untuk keperluan medis. Sehingga aplikasi sistem CT untuk rekonstruksi 3D terhadap komponen industri hampir tidak ada di Indonesia.

Karet silikon *Room Temperature Vulcanized* (RTV) dengan bahan reaksi platinum katalis di dipilih untuk membantu proses rekonstruksi, Karet silikon di butuhkan untuk mendapatkan geometri bagian yang tidak terlihat, Karet silikon RTV di gunakan karena proses pembuatannya atau pencetakan untuk mendapatkan geometri sudu impeler yang tidak terlihat hanya membutuhkan temperatur rendah 25°C - 80°C penuangan tanpa tekanan dan viskositasnya rendah.

Teknik rekonstruksi 3D digunakan untuk memenuhi kebutuhan industri untuk melakukan analisa performa komponen industri yang tidak memiliki atau kehilangan dokumen teknik.

Teknik rekonstruksi 3D dapat juga di gunakan untuk kebutuhan *Remaining Life Assessment* (RLA) yang merupakan jasa pengkajian, untuk menentukan sisa masa ekonomi suatu peralatan dengan menggunakan teknologi tertentu,

pengujian, pengukuran, serta pengolahan data operasi dan pemeliharaan sehingga keputusan terbaik terkait pengelolaan aset dapat diambil lebih dini.

Teknik rekonstruksi dibutuhkan untuk membantu mengetahui kemampuan performa suatu alat industri yang hilang data tekniknya, kehilangan data teknik dapat terjadi pada komponen industri yang sudah tua atau komponen industri yang baru namun data tentang komponen industri tersebut hilang atau tidak lengkap sehingga dibutuhkan teknik rekonstruksi untuk mendapatkan data teknik tersebut sehingga komponen industri tersebut dapat diketahui kemampuan performanya.

Berdasarkan uraian diatas maka fokus penelitian ini adalah tentang teknik dasar rekonstruksi 3D untuk impeler pompa sentrifugal tipe tertutup. Teknik ini merupakan teknik dasar dalam melakukan rekonstruksi 3D tanpa harus merusak komponen yang akan di rekonstruksi 3D. Karet silikon RTV digunakan untuk membantu mendapatkan data teknik geometri impeler yang tidak terlihat. Dengan teknik ini memungkinkan kegiatan rekonstruksi 3D dapat dilakukan dengan cara yang mudah, dapat dilakukan dimana saja dan biaya yang relatif murah namun data yang didapat bisa digunakan untuk kebutuhan menganalisa Impeler pompa.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah :

1. Apakah karet silikon RTV dapat digunakan untuk melakukan rekonstruksi 3D Impeler pompa ?
2. Apakah pengaruh terhadap karet silikon setelah dicampur dengan katalis atau hardener terhadap hasil cetakan?

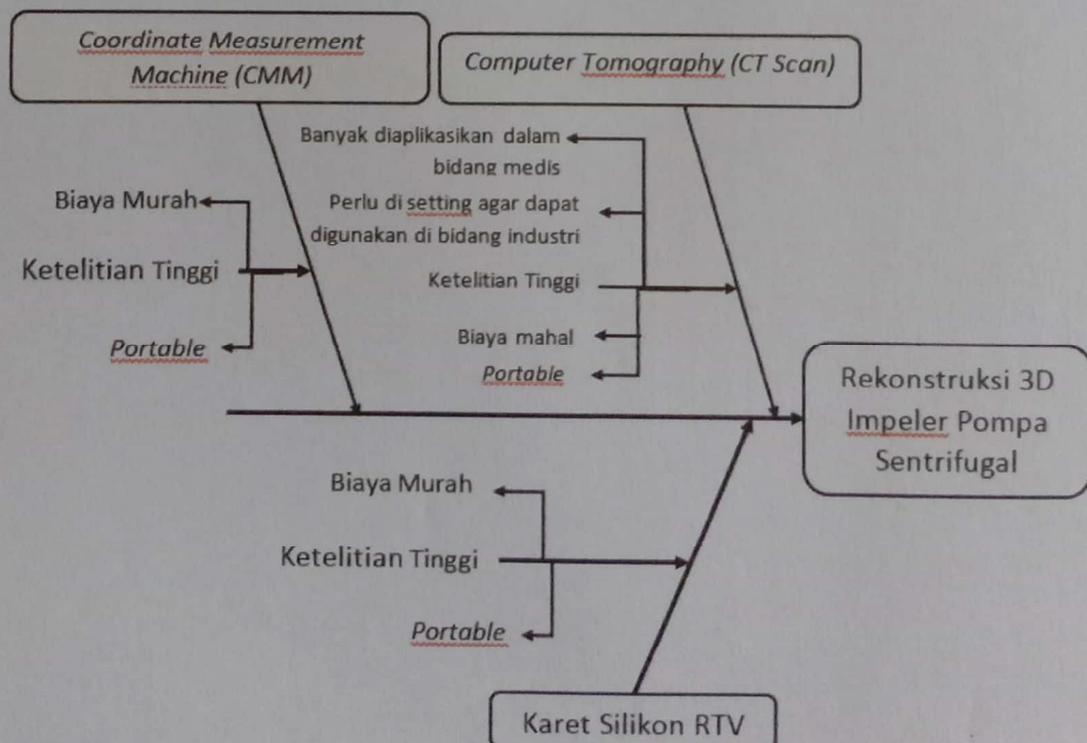
3. Apakah pada saat mengeluarkan karet silikon yang telah dicetak kedalam impeler pompa terjadi perubahan bentuk (deformasi plastis)?
4. Apakah setelah dilakukan validasi menggunakan metode ini dapat digunakan untuk melakukan rekonstruksi 3D?

1.3. Hipotesa

Berdasarkan data visual dan data pendukung, Teknik rekonstruksi 3D untuk impeler pompa tipe tertutup dapat dilakukan menggunakan beberapa metoda sebagai berikut:

- a. *Coordinate Measurement Machine (CMM)*
- b. *Computer Tomography (CT Scan)*
- c. Karet silikon *Room Temperature Vulcanized (RTV)*

Diagram *fishbone* di bawah ini adalah metode atau teknik yang dapat digunakan untuk melakukan rekonstruksi 3D .



Gambar 1.1 Diagram *fishbone* metode yang dapat dilakukan untuk merekonstruksi impeler pompa

1.4. Batasan Masalah

Kegiatan penelitian akan difokuskan pada cara dan teknik mendapatkan data teknik /dimensi/ geometri dari impeler pompa sentrifugal tipe tertutup yang hilang atau tidak lengkap. Tahapan pengujian dilakukan untuk mendapatkan campuran antara karet silikon dengan katalis atau hardener. Setelah dilakukan didapatkan campuran yang tepat dilakukan Uji tarik, untuk mengetahui apakah adanya deformasi plastis dari karet silikon tersebut. Dilakukan validasi untuk mengetahui apakah metode ini dapat di gunakan untuk melakukan rekonstruksi 3D Impeler pompa. Pada penelitian ini tidak sampai pada tahap pembuatan prototipe atau impeler pompa yang telah di rekonstruksi 3D,

1.5. Maksud dan tujuan Penelitian

1.5.1. Maksud Penelitian

Penelitian ini bermaksud untuk memvalidasi serta menganalisa performa pompa dan mengetahui apakah karet silikon dapat digunakan sebagai salah satu alternatif teknik rekonstruksi 3D impeler pompa.

1.5.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari kegiatan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Melakukan rekonstruksi 3D untuk impeler pompa agar mendapatkan data teknik yang kurang lengkap atau hilang.
2. Teknik rekonstruksi 3D impeler pompa dilakukan menjadi lebih sederhana dan harga yang relatif terjangkau serta portabel.
3. Teknik rekonstruksi impeler pompa menggunakan karet silikon untuk memenuhi kebutuhan industri untuk melakukan analisis performa namun tidak memiliki atau kehilangan data tekniknya.

1.6. Manfaat Penelitian

- a. Memberikan alternatif lain untuk membantu kegiatan rekonstruksi 3D komponen industri dengan menggunakan karet silikon.
- b. Kegiatan rekonstruksi 3D komponen industri dapat dilakukan dengan mudah dan harga yang relatif murah.
- c. Setelah didapat data teknik dari impeler pompa dapat dilakukan analisa dan validasi performa pompa, juga memenuhi untuk kebutuhan *Remaining Life Assessment* (RLA).

1.7. Jadwal dan Tempat Pelaksanaan

Kegiatan penelitian ini dilakukan kurang lebih selama 4 (empat) bulan yang berlokasi di Laboratorium Fakultas Teknologi Industri Program Studi Teknik Mesin Institut Sains dan Teknologi Nasional

1.8. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan ini dibagi dalam lima bab dengan rincian sebagai berikut:

Bab I: Pendahuluan

Bab ini berisi tentang penjelasan Latar Belakang, Rumusan Masalah, Maksud dan Tujuan Penelitian, Manfaat Penelitian, dan Sistematika Penulisan.

Bab II: Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi tentang teori-teori yang dipakai sebagai dasar untuk melakukan rujukan dan pembahasan permasalahan yang diangkat pada penelitian ini.

Bab III: Metodologi Penelitian

Bab ini berisi tentang tahapan-tahapan penelitian inovasi teknik rekonstruksi 3D impeler pompa, diantaranya : Pengambilan data, studi literatur dan pengujian-pengujian yang dilakukan sebagai penunjang kegiatan penelitian

rekonstruksi 3D seperti dilakukan : Pengujian Viskositas, Pengujian campuran yang tepat antara kate silikon dengan katalis atau *hardener*, Pengujian Tarik, untuk selanjutnya dilakukan pencetakan kedalam impeler pompa dan dilakukan validasi.

Bab IV: Analisa Data Dan Pembahasan

Bab ini berisi tentang uraian dari analisa data-data yang di peroleh dari pengujian dan penelitian yang di peroleh.

Bab V: Simpulan dan Saran

Bab ini menyatakan pemahaman peneliti tentang masalah yang diteliti berkaitan dengan teknik dasar rekonstruksi 3D impeler pompa berupa simpulan dan saran

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Teknik rekonstruksi 3D merupakan metode atau cara yang digunakan untuk data teknik dari suatu produk yang hilang, ataupun tidak lengkap, data teknik diperlukan untuk kegiatan pengembangan suatu produk sehingga proses pengembangan produk tidak selalu dimulai dari awal melainkan dapat dengan memodifikasi data yang ada sehingga produk menjadi lebih optimal dan efisien atau produk yang dikembangkan dapat lebih baik dari produk sebelumnya.

Teknik rekonstruksi 3D juga dapat digunakan sebagai metode untuk melakukan *reverse engineering* guna mengembangkan atau mengetahui data teknik yang tidak lengkap atau hilang.

2.1. Peraturan pemerintah

Peraturan Presiden Republik Indonesia nomor 28 tahun 2008 tentang Kebijakan Industri Nasional, untuk kelompok industri kendaraan bermotor pada jangka menengah untuk “mengembangkan *reverse engineering* alat uji sederhana komponen Otomotif”

Peraturan Presiden nomor 4 tahun 2016 tentang Percepatan Pembangunan Infrastruktur Ketenagalistrikan pada bab 4 Penggunaan barang atau jasa dalam negeri pasal 15 yang berbunyi :

Pasal 1 “ Pelaksanaan PIK mnengutamakan penggunaan barang atau jasa dalam negeri dengan tetap memperhatikan tingkat ketersediaan, kepentingan terbaik bisnis PT PLN Persero) dan atau layak secara teknis dan finansial “

Pasal 2 “ Penggunaan barang atau jasa dalam negeri sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dilakukan melalui :

- a. Penerapan *Open bobok System*
- b. Pemberian preferensi harga, atau
- c. ***Reverse engineering***

Berdasarkan peraturan menteri perindustrian Republik Indonesia Nomor : 16/MIND/PER/2/2012 tentang ketentuan dan tata cara perhitungan Tingkat Komponen Dalam Negeri. Dalam Peraturan tersebut mendefinisikan beberapa hal diantaranya :

1. Produk dalam negeri adalah barang/jasa termasuk rancang bangun dan perekayasaan yang diproduksi atau dikerjakan oleh perusahaan yang berinvestasi dan memproduksi di Indonesia, yang dalam proses produksi atau pengerjaannya dimungkinkan penggunaan bahan baku/komponen impor.
2. Industri adalah kegiatan ekonomi yang mengolah bahan mentah, bahan baku, barang setengah jadi dan atau barang jadi menjadi barang dengan nilai yang lebih tinggi untuk penggunaannya, termasuk kegiatan rancang bangun dan perekayasaan industri.
3. Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN) adalah besarnya komponen dalam negeri pada barang, jasa dan gabungan barang dan jasa.
4. Komponen dalam negeri pada barang adalah penggunaan bahan baku, rancang bangun dan perekayasaan yang mengandung unsur manufaktur, pabrikasi, perakitan, dan penyelesaian akhir pekerjaan yang berasal dari dan dilaksanakan didalam negeri.

2.2. Penelitian sebelumnya.

Lkeuchi, 2001. Teknik rekonstruksi tiga dimensi (3D) merupakan suatu proses pembuatan kembali model 3D suatu objek berdasarkan data fisik serta geometri dari objek tersebut. Proses ini umumnya dilakukan dalam lingkungan spasial virtual dengan bantuan komputer, sehingga model yang dihasilkan akan berupa model 3D digital.

Brian Cruless, 2000. Data-data fisik secara geometri objek yang akan direkonstruksi di peroleh melalui serangkaian pengukuran yang dilakukan baik secara aktif maupun pasif. Rekonstruksi 3D aktif ditandai dengan adanya interaksi antara objek yang akan direkonstruksi dengan sistem pengukuran yang mengumpulkan data-data masukan untuk proses rekonstruksi. *Coordinate Measurement Machine (CMM)* dan *CT-Scan* merupakan contoh peralatan rekonstruksi menggunakan metode aktif. Sedangkan rekonstruksi 3D pasif dilakukan dengan menggunakan sistem pengukuran yang tidak berinteraksi langsung dengan objek yang akan direkonstruksi.

Oster, 1999. Konstruksi 3D juga umum dilakukan dalam bidang rekayasa dan industri. salah satu aplikasi rekonstruksi 3D dalam bidang rekayasa dan industri yaitu untuk mendeteksi kesalahan geometri ataupun cacat dalam suatu produk sebagai bagian dari proses *Quality Assurances (Q/A)*. Suatu produk diukur data-data geometrisnya, kemudian dibuat model 3D dari produk tersebut. Selanjutnya model 3D produk dibandingkan dengan desain awal dari produk tersebut. Perbedaan yang mungkin terjadi antara produk asli inilah yang kemudian dianalisa dan diantisipasi, sehingga dapat diperoleh produk dengan kualitas yang baik.

Vishesh Jain, 2014. *Reverse engineering* (rekayasa balik) sebuah produk untuk mengetahui detail, spesifikasi dari komponen mesin. Stapler sebagai objek penelitian yang akan direkayasa balik. Kegiatan ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana desain dari setiap komponen *stapler*, juga agar dapat mengetahui fungsi dari bagian komponen stapler dan mengetahui cara kerja stapler.

Corbo P. dkk, 2004. Teknik *Reverse Engineering* secara luas digunakan dalam proses pengembangan produk dengan sifat estetika. Banyak *designer* lebih memilih untuk mengevaluasi bentuk produk dan membuat bentuknya fisik model. Model tersebut selanjutnya akan dikonversikan menjadi model CAD 3D.

2.3. Perancangan produk

Perancangan Produk merupakan proses perbaikan dan pengembangan lebih lanjut dari konsep produk yang dipilih dari sekian banyak alternatif konsep produk pada tahap evaluasi konsep produk. Konsep produk yang dikembangkan dapat hanya sebuah atau beberapa buah yang dikembangkan secara paralel dan yang akhirnya yang dipilih yang terbaik.

Perancangan dan pembuatan produk merupakan bagian yang sangat besar dari semua kegiatan teknik yang ada. Kegiatan perancangan dimulai dengan didapatkannya persepsi tentang kebutuhan manusia, kemudian disusul dengan penciptaan konsep produk, disusul kemudian dengan perancangan, pengembangan dan penyempurna produk, kemudian diakhiri dengan pembuatan dan pendistribusian produk.

Perancangan merupakan kegiatan awal dari suatu rangkaian kegiatan dalam proses pembuatan produk. Dalam tahap perancangan dibuat keputusan-keputusan penting yang mempengaruhi kegiatan lain yang menyusul. Diantara keputusan penting tersebut termasuk keputusan yang membawa akibat apakah industri dalam negeri dapat berpartisipasi atau tidak dalam suatu pembangunan proyek. Hal ini menandakan bahwa sangat penting keahlian merancang harus dikuasai oleh orang-orang Indonesia.

2.3.1. Perancangan dan gambar teknik

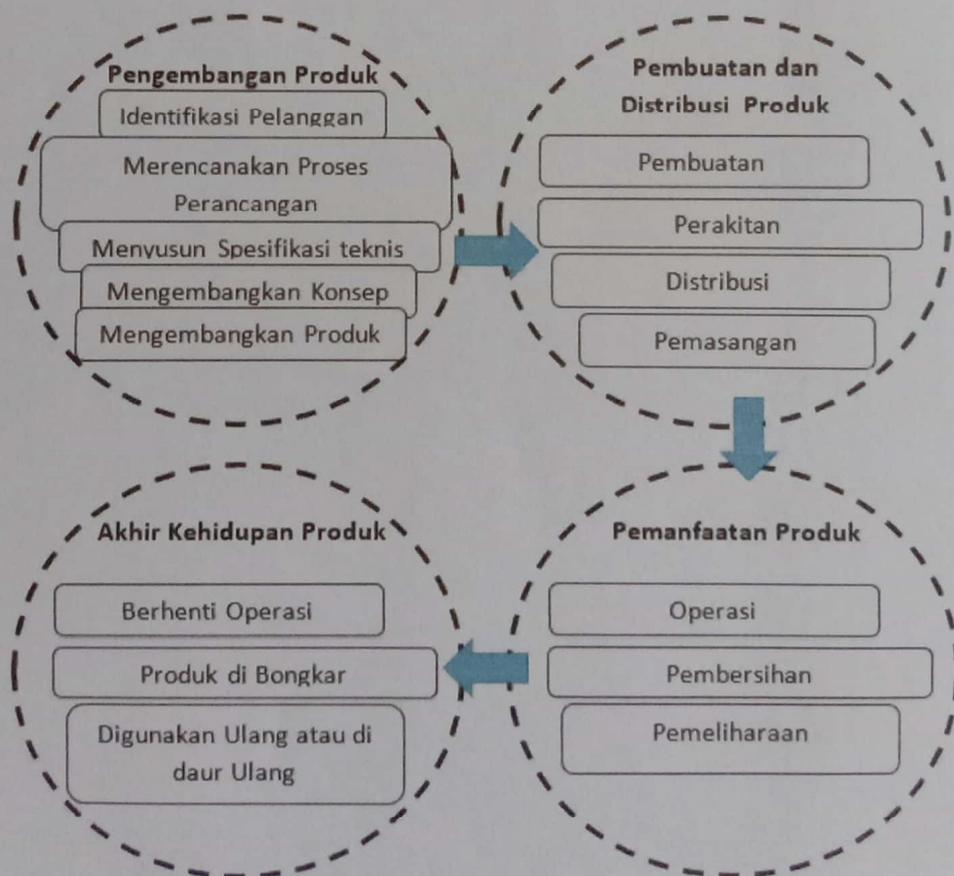
Sebelum sebuah produk dibuat maka produk harus di rancang terlebih dahulu. Hasil rancangan tersebut dapat berupa sebuah skets atau gambar sederhana dari produk atau benda teknik yang dapat di buat. Dalam hal ini pembuat produk adalah perancang sendiri, maka sketsa atau gambar yang dibuat cukup sederhana saja asal agar dapat dimengerti sendiri.

Pada saat ini sebagian produk memiliki benatu dan elemen yang rumit sehingga tidak lagi dibuat oleh satu orang, gambar yang di buat juga tidak lagi sederhana, gambar yang dibuat harus dapat di mengerti oleh banyak orang yang terlibat dalam kegiatan pembuatan produk tersebut. Gambar hasil rancangan produk merupakan hasil akhir proses perancangan dan sebuah produk baru dapat dibuat setelah dibuat gambar rancangannya. Gambar merupakan alat penghubung atau alat komunikasi antara perancang dan pembuat produk dan antara semua orang yang terlibat dalam kegiatan perancangan dan pembuatan. Perancangan dan pembuatan produk merupakan kegiatan yang menjadi satu kesatuan, artinya rancangan hasil kerja perancang tidak ada gunanya jika rancangan tersebut tidak dibuat, sebaliknya pembuatan tidak dapat direalisasikan benda teknik tanpa terlebih dahulu dibuat gambar rancangannya.

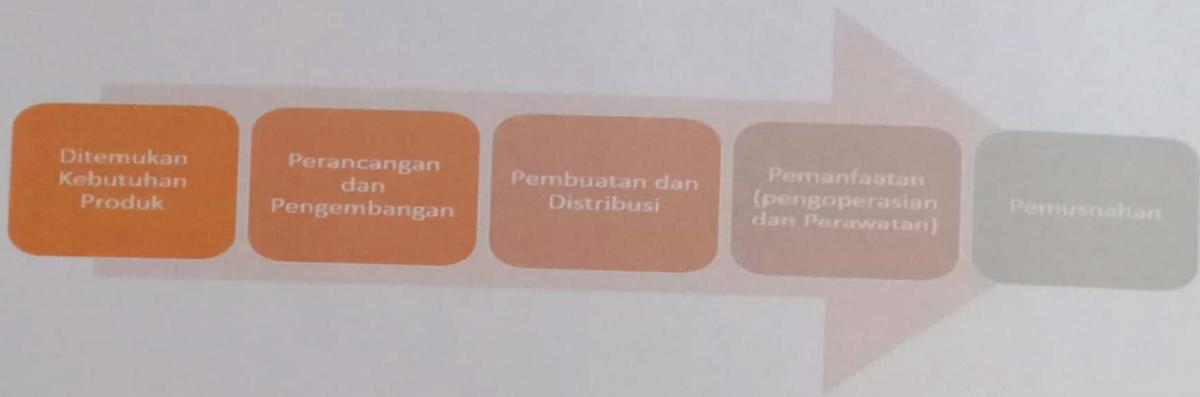
2.3.2. Siklus kehidupan produk dan jalur perancangan produk

Produk adalah sebuah benda teknik yang keberadaannya didunia merupakan hasil karya keteknikan yaitu hasil perancangan, pembuatan dan kegiatan teknik lainnya yang terkait. Produk dibuat untuk dapat menjalankan fungsinya yaitu membantu meringankan kehidupan manusia.

Keberadaan produk didunia ditempuh melalui suatu tahap-tahap siklus kehidupan yang terdiri dari: Identifikasi kebutuhan produk, tahapan perancangan dan pengembangan produk, tahapan pembuatan dan pendistribusian produk, tahap penggunaan dan pemanfaatan produk, yaitu pengoperasian dan perawatan produk dan tahap pemusnahan produk ketika produk tidak lagi dapat menjalankan fungsinya.



Gambar 2.1 Siklus Kehidupan Produk
(H.Darmawan Harsokoeso, 2004)



Gambar 2.2 Siklus Kehidupan Produk
(H.Darmawan Harsokoesome, 2004)



Gambar 2.3 Pengetahuan yang dipakai pada proses perancangan
(H.Darmawan Harsokoesome, 2004)

Tentang proses perancangan tersebut dapat dicatat dua hal yaitu :

- a. Dua perancang yang mempunyai pengalaman merancang dan pengetahuan yang berbeda akan menempuh jalur perancangan yang berbeda dalam mencapai hasil rancangannya.
- b. Hasil rancangannya pun kemungkinan besar merupakan produk yang tidak sama meskipun kedua produk hasil rancangan yang berbeda tersebut dapat memenuhi kebutuhan yang sama.

Proses perancangan sangat mempengaruhi produk sedikitnya dalam tiga hal yang sangat penting yaitu : biaya pembuatan produk, waktu penyelesaian produk mulai diterimanya kebutuhan suatu produk sampai produk dapat dipasarkan. Pengaruh tersebut dikarenakan akibat keputusan-keputusan yang diambil pada proses perancangan seperti: keputusan merancang produk dan

elemen-elemen yang mudah dibuat karena itu hanya memerlukan mesin perkakas yang sederhana dan murah, keputusan merancang produk yang mudah dirakit dan dirawat, keputusan dalam elemen jadi yang dibeli dari pihak lain yang tepat dan murah. Keputusan tentang teknologi yang tersedia dan lain-lain.

2.3.3. Bantuan komputer pada proses perancangan

Komputer sangat membantu proses perancangan, tetapi tidak dapat mengganti perancang. Kini terdapat banyak program paket yang digunakan untuk membantu kegiatan analisa dan ketan lain yang dilakukan pada langkah-langkah atau kegiatan-kegiatan dalam fase perancangan dan membantu mengotomasi teknik-teknik yang digunakan pada proses perancangan. Beberapa contoh program paket yang digunakan dalam analisis pada langkah-langkah proses perancangan adalah :

- a. Program *finite element analysis*, program yang menghitung tegangan dan deformasi yang terjadi dalam komponen produk.
- b. Program *Computer aided desing*, membuat model elemen produk dan model produk.
- c. Program *solidwork*, membuat model elemen produk dan model produk, serta menganalisa produk.
- d. Program paket dinamik, mempelajari gerak elemen produk dan produk, sebagai respons akibat gaya-gaya yang bekerja pada produk/elemen produk.
- e. Program paket kinematik, untuk memeriksa kemungkinan terjadinya interferensi antara gerak-gerak elemen-elemen produk

Keuntungan pemakaian sistem CAD yang dipilih dengan tepat dan diimplementasikan dengan benar adalah :

- a. Memperpendek waktu perancangan, karena memperpendek waktu penyelesaian setiap kegiatan dalam proses perancangan.
- b. Meningkatkan kualitas produk melalui pembuatan banyak alternatif produk yang ini dapat dibuat dengan mudah dan cepat. Melalui ketelitian dan ketepatan yang lebih tinggi, melalui analisis dan optimasi yang lebih baik.
- c. Meningkatkan produktivitas perancangan.
- d. Meningkatkan komunikasi baik melalui database yang cepat diakses oleh para anggota tim perancang yang terlibat dalam proses perancangan maupun melalui dokumentasi dengan kualitas yang lebih baik.
- e. Mengurangi biaya perancangan secara total.

Kerugian dengan pemakaian CAD adalah :

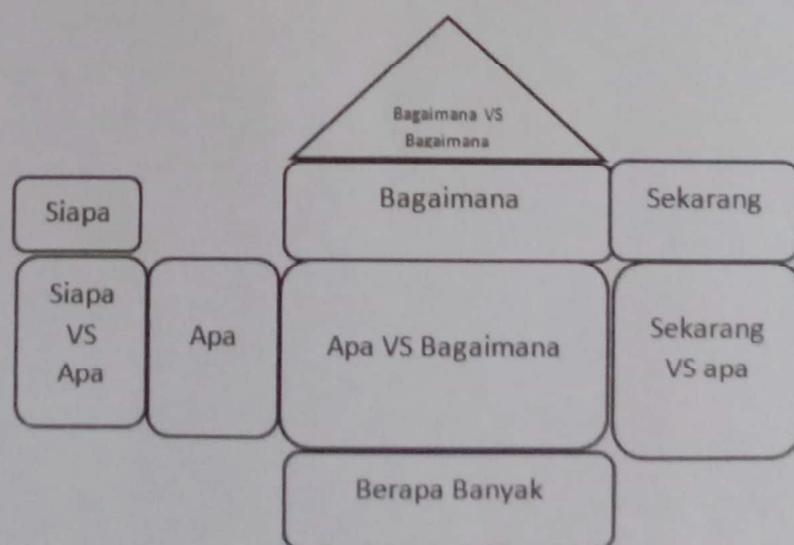
- a. Harga komputer yang tidak murah.
- b. Harga *software* yang tidak murah.
- c. Biaya perawatan.
- d. Biaya *upgrade hardware* dan *software* yang cepat kadaluarsa.
- e. Biaya *Training* .
- f. Biaya untuk merubah fasilitas perancangan dan fasilitas produksi dengan didatangkannya peralatan CAD yang baru.
- g. Kehilangan produktivitas pada periode transisi dari cara konvensional ke sistem CAD.

2.3.4. Metode QFD (*Quality Function Deployment*)

Metode QFD diorganisasikan untuk menghasilkan informasi penting untuk dapat mengerti secara mendalam tentang masalah produk. Metode ini dapat

digunakan untuk produk atau sub produk. Terdapat beberapa hal penting tentang masalah produk diantaranya :

- a. Tim perancang produk dianjurkan untuk menggunakan metode QFD baik untuk perancangan original atau perancangan ulang /*reverse engineering* ,
- b. Keinginan penggunaan harus diterjemahkan dalam sasaran-sasaran (teknis) untuk parameter-parameter kritis yang teridentifikasi.
- c. Metode QFD dapat digunakan untuk seluruh problem produk atau setiap subproblem.
- d. Tentang produk harus melakukan apa atau fungsi produk itu apa harus dipahami terlebih dahulu secara mendalam sebelum memikirkan bagaimana produk dapat melakukan fungsinya dan bagaimana bentuk produknya.
- e. Metode QFD memerlukan waktu yang agak lama untuk menyelesaikannya. Tetapi waktu yang tersisa akan tergantikan pada proses selanjutnya.
- f. Metode QFD tidak hanya membantu memahami masalah perancangan) produk tetapi meletakkan landasan untuk fase berikutnya.



Gambar 2.4 Rumah kualitas atau yang dikenal dengan nama diagram QFD (H.Darmawan Harsokoeso, 2004)

2.4. Teknik Rekonstruksi 3D

Teknik rekonstruksi 3D merupakan suatu teknik rekonstruksi yang menghasilkan model 3D pejal suatu komponen yang akan di rekonstruksi seperti :

a. *Computed Axial Tomography (CAT-Scan) / Computed Tomography (CT-Scan)*

Dengan teknik ini rekonstruksi 3D suatu objek dapat dilakukan dengan cara membuat potongan-potongan melintang objek yang kemudian di susun sehingga membentuk suatu model 3D pejal. Meskipun terminologi CT dapat digunakan untuk modalitas-modalitas lain, akan tetapi umumnya CT selalu dihubungkan dengan teknik rekonstruksi 3D aktif yang menggunakan pancaran sinar X sebagai modalitas radiasi energinya, pada umumnya sistem CT di gunakan di rumah sakit untuk keperluan diagnosis medis, sistem CT berukuran cukup besar dengan harga yang mahal, sistem ini secara prinsip dapat digunakan untuk keperluan industri namun perlu dilakukan pengaturan agar dapat digunakan untuk selain medis.



Gambar 2.5 *Computed Axial Tomography (CAT-Scan) / Computed Tomography (CT-Scan)*
(<http://www.medicalnewstoday.com/articles/153201.php>)

b. *Coordinate Measurement Machine (CMM)*

Coordinate Measurement Machine (CMM) adalah sebuah alat pengukur multi fungsi berkecepatan tinggi yang

menghasilkan akurasi dan efisiensi pengukuran yang tinggi. Pada prinsipnya CMM adalah kebalikan dari CNC. Pada CNC kordinat yang dimasukkan menghasilkan gerakan pahat pada sumbu X, Y dan Z. Sedangkan pada CMM kontak antara probe dengan benda kerja menghasilkan kordinat. Selain itu jika pada mesin CNC menggunakan bantalan peluru bersirkulasi (*circulated ball bearing*) maka pada mesin CMM menggunakan batalan udara (*air pad bearing*) sehingga gerakannya sangat halus. Untuk menjamin keakuratan konstruksi CMM dibuat sangat kaku (*rigid*). Salah satu caranya dengan menggunakan granit sebagai meja atau bidang acuan.

Keunggulan metode CMM adalah sebagai berikut :

- 1) Koordinat manapun dari benda kerja dapat ditentukan dengan mudah
- 2) Presisi pengukuran yang tinggi
- 3) Unit pengolah data dapat mengolah data secara cepat dan langsung bisa di cetak
- 4) Waktu setting pengukuran sangat singkat.



Gambar 2.6 *Coordinate Measurement Machine (CMM)*
(<http://ecatalog.mitutoyo.com>)

2.5. Karet silikon

Karet silikon (*silikone rubber*) adalah jenis polimer sintetik yang memiliki fungsi dan kelebihan yang sangat istimewa, hal ini disebabkan karena karet silikon memiliki beberapa sifat fisik yang tidak ditemukan pada jenis polimer sintetik/karet sintetik lainnya. Beberapa kelebihan yang dimiliki oleh karet silikon ini adalah sebagai berikut:

- a. Tahan terhadap cuaca
- b. Tahan terhadap penuaan (aging)
- c. Tahan terhadap suhu panas hingga 250°C dan juga tahan terhadap suhu dingin.

Karet silikon ini stabil pada rentang suhu yang cukup lebar yaitu 100°C - 250°C. *Performance* karet silikon yang tahan lama melebihi dari elastomer organik yang lain. Jika dibandingkan dengan karet alam, karet silikon mempunyai sifat tahan api yang lebih baik dan merupakan isolasi listrik yang sangat baik. Sifat-sifat seperti ketahanan volume, kekuatan dielektrik dan faktor kekuatan lain tidak terpengaruh oleh perubahan suhu. Sifat-sifat ini dikenal sebagai stabilitas thermal.

- a. Tahan terhadap sinar matahari
- b. Tahan terhadap kelembaban yang tinggi
- c. Tahan terhadap beberapa bahan kimia dan minyak
- d. Karet silikon bersifat *food grade* dan tidak beracun

Karena sifat bahan karet silikon tidak beracun maka sangat ideal untuk dipakai sebagai peralatan medis dan rumah sakit, pabrik obat-obatan/farmasi, dan lain-lain. Selang silikon transparan dan beragam warna dibuat dalam bermacam ukuran (diameter) menggunakan bahan karet silikon yang sangat cocok untuk

industri makanan, obat-obatan dan medis, rumah sakit, dan peralatan laboratorium. Beberapa penggunaan selang silikon sebagai pompa peristaltik, infus darah, infus cairan makanan dan obat, yang digunakan di rumah sakit, klinik dan laboratorium. Karena sifatnya yang *food grade*, selang silikon banyak dipakai juga untuk selang susu dipeternakan sapi, pabrik susu dan makanan.

Selain beberapa kelebihan seperti disebut di atas, karet silikon memiliki keunikan tersendiri pada bagian permukaan dari karet silikon ini. Pada bagian permukaan karet silikon terdapat kondisi anti lengket, hal ini membuatnya banyak dibutuhkan untuk perantara atau sebagai sarana atau lapisan untuk mencegah terjadinya ikatan atau lengketnya suatu benda terhadap benda lain, sebagai contoh dapat dilihat pada wajan anti lengket, cetakan roti atau kue dan masih banyak lagi yang lainnya.

Produk yang terbuat dari bahan karet silikon banyak sekali kita temui di kehidupan kita sehari-hari mulai dari gelang karet, peralatan rumah tangga, perlengkapan di mobil atau kendaraan kita hingga pada peralatan penunjang pada bangunan rumah atau konstruksi yang lebih besar lainnya. Bahkan beberapa bagian peralatan pemanas matahari menggunakan produk berbahan karet silikon, dimana elastisitas bahan membantu panel menahan suhu tinggi atau rendah

Beberapa keunggulan dari bahan baku karet silikon beserta produk lain yang terbuat dari bahan baku karet silikon adalah seperti sebagai berikut:

- a. Produk yang terbuat dari karet silikon memiliki ketahanan terhadap air hujan serta tidak terpengaruh oleh perendaman dalam air laut. Kelebihan ini membuat banyak peralatan menyelam, seal dan gasket pada

perlengkapan kapal selam atau kapal laut, perlengkapan pada pengeboran minyak lepas pantai banyak yang terbuat atau menggunakan bahan baku karet silikon.

- b. Produk dari karet silikon dapat diformulasikan menjadi produk yang bersifat elektrik insulative atau konduktif, hal ini membuat produk dari bahan karet silikon cocok untuk dipergunakan peralatan listrik seperti pembungkus kabel, isolasi *gasket*, *gasket* konduktif dan dipergunakan pula sebagai komponen *keyboard*.
- c. Produk dari karet silikon tidak mendukung pertumbuhan mikroorganisme, tidak berbau dan tidak berasa, tidak menyebabkan perubahan warna, korosi atau kerusakan bahan lain yang terjadi kontak sehingga produk ini sangat cocok untuk dipergunakan pada lingkungan yang bersih dan sangat ideal untuk dipergunakan untuk perangkat medis, produk ini bisa pula dikategorikan sebagai produk *food grade*. Banyak bidang industri yang membutuhkan karet silikon dikarenakan kelebihan seperti: pabrik peralatan medis atau laboratorium, rumah sakit, pabrik obat-obatan /farmasi, industri makanan dll

Karet silikon merupakan bahan yang ideal untuk pembuatan cetakan. Menghasilkan cetakan yang fleksibel, terperinci, bisa membuat cetakan yang paling rumit, dan tahan lama, tahan terhadap bahan kimia, dan bisa dibuat dengan cepat, serta bisa mengering pada temperatur ruangan . Untuk membuat cetakan yang lebih keras bisa menambahkan pengeras atau katalis. Karet yang paling umum adalah RTV (*Room Temperature Vulcanizing*). Terdapat dua bahan yaitu karet silikon dan katalis untuk mempercepat pengeringan dan menambah kekerasan karet. Bila terlalu

banyak katalis karet akan mudah robek, untuk mengatasi masalah ini bisa dipakai kain kasa, serat fiber.

Setelah karet silikon kering, sering dibantu dengan penambahan penyanggah dari fiber glass, gypsum, atau polyurethane agar cetakan tidak berubah bentuk . Umumnya waktu pengeringan 18-24 jam. Waktu bisa diperpendek atau dipercepat dengan penambahan katalis (pengeras). Karet silikon aman pada kulit, asal tidak boleh terkena mata dan tidak boleh ditelan.

Penambahan katalis biasanya sudah ditentukan oleh pabrik pembuatnya misalnya perbandingan karet dan katalis 100 banding 1. Dianjurkan penambahan katalis lebih sedikit dari aturan pabrik, agar waktu pengerjaan tidak terlalu cepat dan terburu-buru dan member kesempatan gelembung udara keluar kepermukaan. Penambahan katalis bisa mempercepat waktu pengeringan, kadang bisa kering dalam 1 jam, tetapi ini akan memperpendek umur karet dan sangat mudah sobek. Satu contoh bila menggunakan katalis yang disarankan bisa berumur 2 tahun, kalau penambahan katalis melebihi aturan mungkin hanya satu tahun atau kurang.

Mencampur Karet Silikon

Karena pengendapan selama penyimpanan, selalu aduk silikon dalam wadah asli sebelum menuangkan ke dalam cangkir pencampuran. Aduk terus dengan gerakan melingkar yang agak pemukulan atau menggunakan gerakan naik-turun, hindari timbulnya gelembung udara, kemudian diamkan beberapa menit agar gelembung udara naik kepermukaan. Agar tidak terjadi gelembung udara, gunakan pengaduk yang bulat seperti

tabung, jangan persegi. Selanjutnya, tuangkan jumlah yang diinginkan silikon ke dalam wadah pencampuran terpisah, seperti cangkir plastik atau gelas .

Menambahkan Katalis

Setelah menimbang sejumlah katalis sesuai timbangan atau rasio yang dianjurkan, masukkan kedalam karet silikon yang sudah ditimbang pada wadah yang terpisah tadi, ingat jangan dimasukkan kedalam karet pada wadah aslinya, atau seluruh karet silikon anda akan mengeras.

Aduk perlahan memutar dan dari atas kebawah agar mencampur rata. Hindari terjadinya gelembung udara, gerakan yang terlalu cepat akan menghasilkan gelembung udara. setelah cukup rata, baru bisa ditungkan.

Pengeringan bisa dipercepat dengan ruangan yang hangat.

Vakum udara

Alat vakum udara bisa membantu untuk mempercepat pengeluaran gelembung pada waktu pencampuran karet silikon.

Menuangkan atau Menerapkan Silikon

Jangan lupa bahwa obyek cetakan sudah dilapisi oleh pelumas atau sabun agar cetakan tidak lengket pada obyek. Kecuali pada obyek yang terbuat dari *plastic* atau *fiber glass*.

Hal yang paling penting adalah bagaimana supaya tidak terjadi gelembung udara didalam cetakan maupun di permukaan obyek cetakan. Karena ketika permukaan obyek cetakan aus, maka hasil cetakan akan timbul benjolan-benjolan yang sangat mengganggu pekerjaan anda.

Ada beberapa cara untuk mengatasi hal tersebut :

- a. Buat lapisan tipis pada permukaan obyek yang akan dibuat cetakan, setelah agak kering baru campuran karet bisa dituangkan.
- b. Miringkan permukaan yang akan dituang, dan mulai menuang pada permukaan pada posisi yang diatas. Dan biarkan mengalir kebawah, setelah itu baru cetakan ditidurkan kembali.
- c. Setelah anda menuang seluruh campuran, masukkan pengaduk kecil dari dalam tarik keatas, berulang sampai gelembung sudah hilang.
- d. Tambahkan mencair khusus silikon agar lebih cair, sehingga gelembung mudah keluar.

Memperkuat Cetakan

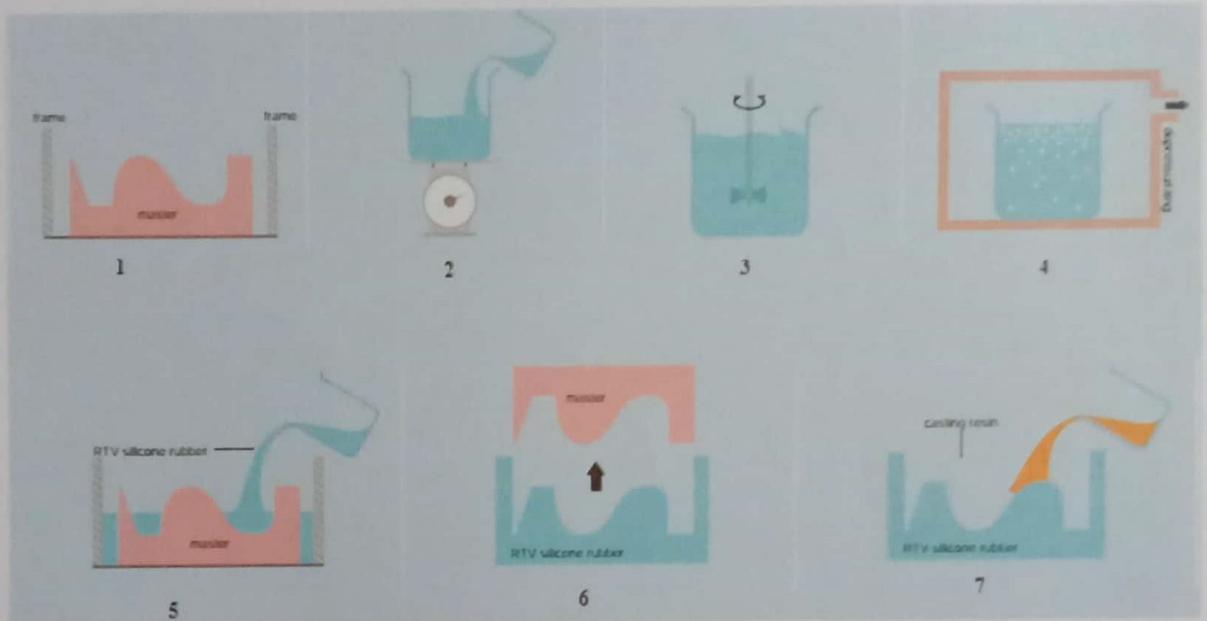
Agar karet silikon tidak mudah sobek, anda bisa memberikan lapisan pembalut perban, kain kasa, atau serat fiber. Tuangkan sedikit campuran karet silikon, bisa diratakan dengan kuas halus, setelah beberapa saat sampai lebih kental, lapis semua dengan kain perban satu lapis, tuangkan sedikit lagi sehingga menutup seluruh permukaan, lapis lagi, dan seterusnya sampai ketebalan yang diinginkan.

Melepas cetakan

Melepas cetakan, dianjurkan karet silikon benar benar kering, kalau tidak, ketika diangkat, akan terjadi perubahan bentuk cetakan yang akan dibuat. Biasanya bisa dirasakan kalau karet sudah tidak lengket. Tetapi tidak demikian bila karet silikon dicampur dengan olie silikon (*Silicone Oil*). Cetakan akan menjadi lengket dan sulit dilepas.

Proses penuangan karet silikon untuk membuat cetakan sisi tunggal

Karet silikon RTV banyak di gunakan dengan proses penuangan, proses ini banyak di gunakan untuk berbagai macam pembuatan berbagai macam barang seperti, tombol, bro, pegangan tangan, ornamen – ornamen dan lain sebagainya seperti terlihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.7 Proses penuangan pencetakan sisi tunggal

(www.shinetsusilicone-global.com)

2.6. Viskositas

Viskositas merupakan ukuran kekentalan fluida yang menyatakan besar kecilnya gesekan di dalam fluida. Makin besar viskositas suatu fluida, maka makin sulit suatu fluida mengalir dan makin sulit suatu benda bergerak di dalam fluida tersebut. Di dalam zat cair, viskositas dihasilkan oleh gaya kohesi antara molekul zat cair. Sedangkan dalam gas, viskositas timbul sebagai akibat tumbukan antara molekul gas.

2.6.1. Hukum yang terkait dengan viskositas

a. Hukum Newton I

Hukum I Newton menyatakan jika resultan gaya yang bekerja pada suatu benda yang sama dengan nol, maka benda yang mula-mula diam akan tetap diam. Benda yang mula-mula bergerak lurus beraturan akan tetap lurus beraturan dengan kecepatan tetap.

$$\sum F = 0$$

b. Prinsip Archimedes

Untuk gaya apung yang terjadi menurut prinsip Archimedes yang berbunyi Setiap benda yang terendam seluruhnya atau sebagian di dalam suatu *fluida* mendapat gaya apung berarah keatas, yang besarnya adalah sama dengan berat *fluida* yang dipindahkan oleh benda ini, sehingga dalam kaitannya dengan hukum "Stokes" adalah untuk *viskometer* bola jatuh:

$$F_a = \rho_{fluida} \cdot V_{bola} \cdot g \quad (1)$$

c. Hukum Stokes

Dalam hukum stokes menyatakan bagaimana pengaruh *fluida* kental terhadap benda yang bergerak didalamnya, selain itu juga menyatakan bila bola bergerak didalam zat cair yang diam dimana zat cair tersebut mempunyai kekentalan maka akan terjadi gaya hambat tersebut.

Pada kecepatan konstan, gaya gesek (F_r) yang terjadi diberi hubungan :

$$F_r = 6 \pi \mu r v \quad (2)$$

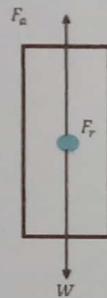
2.6.2. Hubungan antara hukum stokes, berat dan dari prinsip archimedes untuk mendapatkan koefisien viskositas.

Dengan menggunakan hukum stokes kita akan mencari koefisien *viskositas* dari suatu *fluida* atau pelumas. Didalam *fluida* kental selain terjadi gaya stokes (F_r), juga mengalami gaya apung (F_a), dan berat (W).

$$W = m \cdot g \quad (3)$$

Dan

$$F_a = \rho_{fluida} \cdot V_{bola} \cdot g \quad (4)$$



Gambar 2.8 Gaya yang bekerja pada benda yang bergerak dalam fluida

$$F_r = W - F_a \quad (5)$$

Jadi dengan menggunakan dalil *stokes* untuk mendapatkan nilai koefisien *viskositas* dari suatu *fluida* atau pelumas untuk bola jatuh dapat dihitung dengan rumus :

$$\mu = \left\{ \frac{2r^2 g (\rho_{bola} - \rho_{fluida})}{9 \cdot x} \right\} t \quad (6)$$

Viskositas yang diperoleh dari rumus tersebut sedikit berbeda dengan hasil sesungguhnya, oleh karena itu perlu faktor koreksi (f). Setelah memasukkan faktor koreksi maka rumus diatas menjadi :

$$\mu = \left\{ \frac{2r^2 g (\rho_{bola} - \rho_{fluida}) \cdot f}{9 \cdot x} \right\} t \quad (7)$$

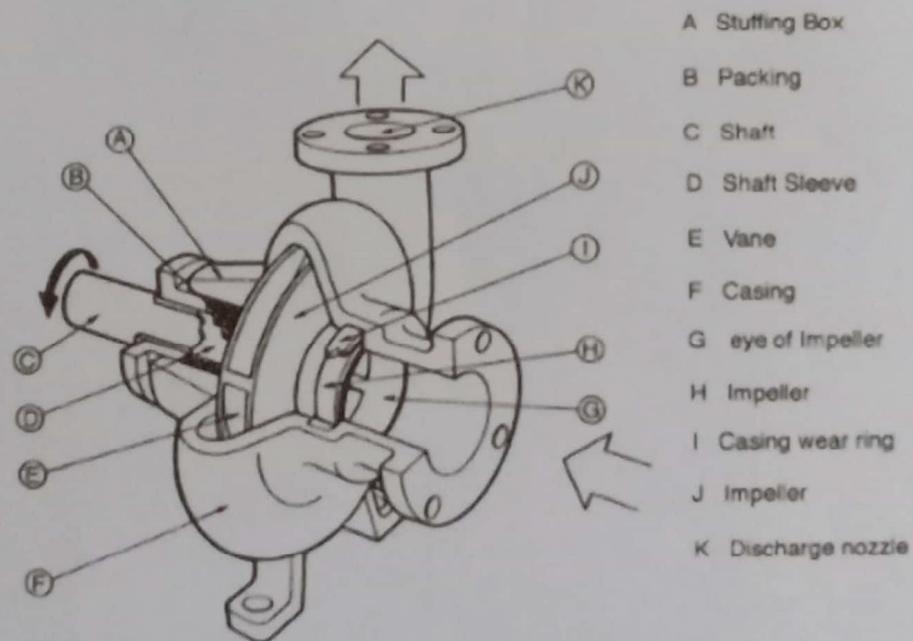
2.7. Pompa

Pompa merupakan suatu alat yang dapat menaikkan atau memindahkan fluida cair dari suatu permukaan yang lebih rendah ke permukaan yang lebih tinggi untuk suatu tujuan tertentu sesuai dengan kebutuhan. Pembagian jenis pompa berdasarkan prinsip kerja, antara lain :

2.7.1. Pompa sentrifugal

Pompa sentrifugal adalah suatu mesin kinetis yang mengubah energi mekanik menjadi energi fluida menggunakan gaya sentrifugal (Sularso, 2004), pompa sentrifugal terdiri dari sebuah impeller yang berputar di dalam sebuah rumah pompa (*Casing*). Pada rumah pompa dihubungkan dengan saluran hisap dan saluran keluar. Sedangkan impeller terdiri dari sebuah cakram dan terdapat sudu-sudu, arah putaran sudu-sudu itu biasanya dibelokkan ke belakang terhadap arah putaran.

Fungsi dan Nama Bagian-Bagian Utama Pompa Sentrifugal



Gambar 2.9 Bagian utama pompa sentrifugal
(www.maritimeworld.web.id)

Fungsi dari bagian-bagian pompa sentrifugal adalah sebagai berikut:

A. Stuffing Box

Stuffing Box berfungsi untuk mencegah kebocoran pada daerah dimana poros pompa menembus *casing*.

B. Packing

Packing digunakan untuk mencegah dan mengu dari Asbes atau Teflon.

C. Shaft

Shaft atau Poros berfungsi untuk meneruskan momen puntir dari penggerak selama beroperasi dan tempat tumpuan rangi kebocoran cairan dari casing pompa yang berhubungan dengan Poros, biasanya terbuat impeller dan bagianbagian lain yang berputar.

D. Shaft Sleeve

Shaft Sleeve sebuah *bushing/* adapter yang berbentuk selongsong yang terpasang pada shaft dengan tujuan melindungi shaft akibat pengencangan baut/ *screw Mechanical Seal*.

E. Vane

Vane adalah sudu impeller yang berfungsi sebagai tempat berlalunya cairan pada impeller.

F. Casing

Casing merupakan bagian palingluar dari pompa yang berfungsi sebagai pelindung elemen di dalamnya.

G. Eye of Impeller

Eye of impeller adalah bagian masuk pada arah hisap impeller.

H. Bearing

Bearing atau bantalan berfungsi untuk menumpu atau menahan beban dari poros agar dapat berputar. *Bearing* juga berfungsi untuk memperlancar putaran poros dan menahan poros agar tetap pada tempatnya, sehingga kerugian gesek dapat diperkecil.

I. Casing Wear Ring

Casing Wearing ring berfungsi untuk memperkecil kebocoran cairan yang melewati bagian depan impeller maupun bagian belakang impeller, dengan cara memperkecil celah antara *casing* dengan impeller.

J. Impeller

Impeller berfungsi untuk mengubah energi mekanis dari pompa menjadi energi kecepatan pada cairan yang dipompakan secara kontinyu, sehingga cairan pada sisi isap secara terus menerus akan masuk mengisi kekosongan akibat perpindahan dari cairan yang masuk sebelumnya.

K. Discharge nozzle

Discharge nozzle adalah bagian dari pompa yang berfungsi sebagai tempat keluarnya fluida hasil pemompaan. *Discharge nozzle* adalah bagian dari pompa yang berfungsi sebagai tempat keluarnya fluida hasil pemompaan.

2.7.2. Kerja pompa sentrifugal

Pompa sentrifugal mempunyai *impeller* untuk mengangkat zat cair dari tempat yang lebih rendah ke tempat yang lebih tinggi. Daya dari luar diberikan kepada poros pompa untuk memutar *impeller* di dalam zat cair, maka zat cair yang ada di dalam *impeller*, oleh dorongan sudu-sudu ikut berputar. Karena timbul gaya sentrifugal maka zat cair mengalir dari tengah-tengah *impeller* ke luar melalui saluran di antara sudu-sudu. Disini *head* tekan zat cair menjadi lebih

tinggi, demikian pula *head* kecepatannya bertambah besar karena zat cair mengalami percepatan. Jadi *impeller* pompa berfungsi memberikan kerja kepada zat cair sehingga energi yang dikandungnya menjadi bertambah besar. Selisih energi per satuan berat atau *head* total zat cair antara saluran hisap dan saluran 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 menyebabkan pertambahan *head* tekanan, *head* kecepatan, dan *head* potensial pada zat cair yang mengalir secara kontinyu (Sularso., 2004)

2.7.3. Klasifikasi pompa sentrifugal

a. Klasifikasi menurut jenis *impeller*

Impeller memiliki beberapa jenis, diantaranya adalah *impeller* jenis tertutup, *impeller* jenis setengah terbuka, dan *impeller* jenis terbuka. Masing-masing jenis *impeller* akan dijelaskan sebagai berikut.

1) *Impeller* tertutup

Sudu-sudu ditutup oleh dua buah dinding yang merupakan satu kesatuan, digunakan untuk memompa zat cair yang bersih atau sedikit mengandung kotoran. *Impeller* tertutup dapat dilihat pada gambar 2.10



Gambar 2.10 *Impeller* tertutup
(www.zakilateknik.id)

2) Impeller setengah terbuka

Impeller jenis ini terbuka di sebelah sisi masuk (depan) dan tertutup di sebelah belakang. digunakan untuk memompa zat cair yang mengandung sedikit kotoran, misalnya air yang bercampur pasir. Impeller setengah terbuka ditunjukkan pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 Impeller Setengah Terbuka
(<https://hydratechpumps.wordpress.com/tag/impeller/>)

3) Impeller terbuka

Impeller jenis ini tidak ada dindingnya di depan ataupun di belakang, bagian belakang ada sedikit dinding yang disisakan untuk memperkuat sudu-sudu. Jenis ini banyak digunakan untuk memompa zat cair yang banyak mengandung kotoran yang volumenya lebih besar dari butiran pasir. Impeller terbuka ditunjukkan pada gambar 2.12



Gambar 2.12 Impeller Terbuka
(<http://www.rotechpumps.com>)

2.7.4. Perhitungan pompa

Untuk mengetahui suatu perhitungan yang baik bagi pompa, maka harus diketahui kapasitas pompa, head total pompa, daya pompa.

a) Kapasitas pompa

Berdasarkan debit air yang harus disalurkan maka jumlah pompa dapat ditentukan pula. (Sularso,2000)

a. Debit efektif dalam jam pengoperasian pompa:

$$Q_e = \text{debit air} / \text{jam pengoprasian} \quad (8)$$

b. Debit efektif tiap pompa yang akan digunakan

Bahwa debit pompa dapat diketahui dengan cara membagi debit yang dibutuhkan (debit efektif) dengan jumlah pompa yang akan dipakai (Tahara,Sualrso,2004)

$$Q_{ep} = \frac{\text{debit efektif}}{\text{jumlah pompa}} \quad (9)$$

c. Debit teoritis pompa

$$Q_{th} = \frac{Q_{ep}}{\eta_v} \quad (10)$$

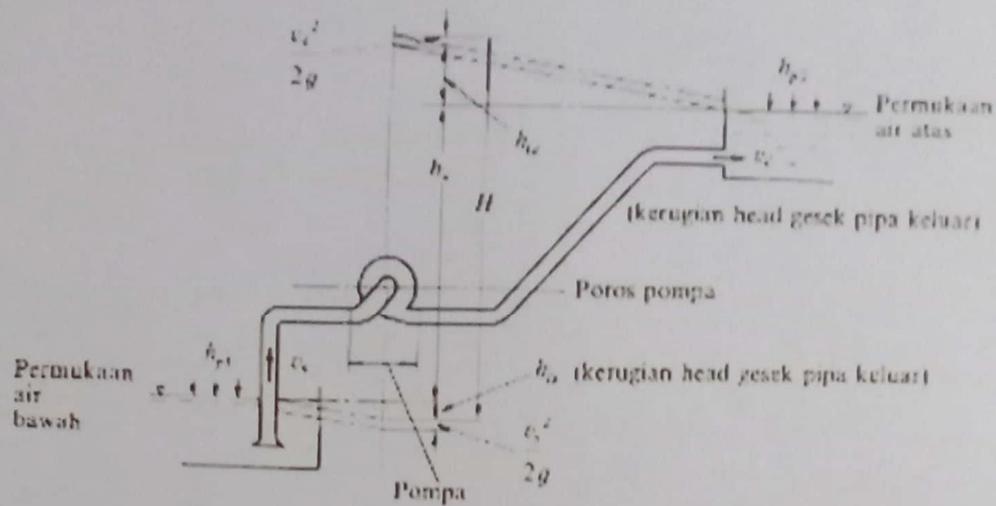
Dimana:

Q_{ep} = Debit efektif pompa

η_v =Efisiensi volumetrik

b) Head total pompa

Head total pompa yang harus disediakan untuk mengalirkan jumlah air seperti yang direncanakan, dapat ditentukan dari kondisi instalasi yang akan dilayani oleh pompa, Seperti di perlihatkan pada gambar 2.12



Gambar. 2.13 Head pompa
(Sularso, 2000)

Head total pompa dapat dituliskan sebagai berikut :

$$H = h_a + \Delta h_p + h_l + \frac{v_d^2}{2g} \quad (11)$$

Dimana:

H = Head total pompa (m)

h_a = Head statis total (m)

Head ini adalah perbedaan tinggi antara muka air di sisi keluar dan di sisi isap; tanda (+) dipakai apa bila muka air di sisi keluar lebih tinggi dari pada sisi isap

Δh_p = Perbedaan head tekanan yang bekerja pada kedua permukaan air (m),

$$\Delta h_p = h_{p2} - h_{p1}$$

h_l = Berbagai kerugian head di pipa, katup, belokan, sambungan, dll (m)

$\frac{v_d^2}{2g}$ = Head kecepatan keluar (m)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

c) **Head Isap Positif Neto atau NPSH (*Net Positive Suction Head*)**

NPSH (*Net Positive Suction Head*) merupakan ukuran keamanan pompa terhadap kavitasi. Terdapat dua macam NPSH, yaitu NPSH yang tersedia pada sistem (instalasi) dan NPSH yang diperlukan oleh pompa.

1) NPSH yang tersedia pada sistem

Head yang dimiliki oleh zat cair pada sisi isap pompa (eivalen dengan tekanan mutlak pada sisi isap pompa), dikurangi dengan tekanan uap jenuh zat cair di tempat tersebut. Pompa yang menghisap zat cair dari tempat terbuka (dengan tekanan atmosfer pada permukaan zat cair) seperti diperlihatkan dalam gambar 2.13 maka NPSH yang tersedia dapat ditulis sebagai berikut :

$$h_{sv} = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{P_v}{\gamma} - h_s - h_{ls} \quad (12)$$

Dimana,

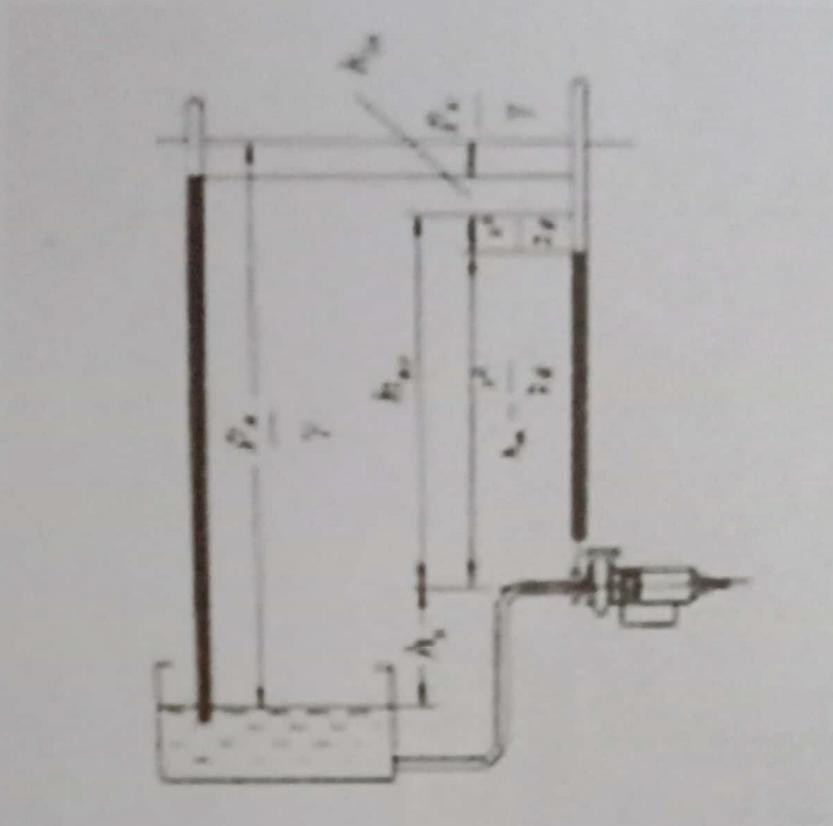
h_{sv} =NPSH yang tersedia (m)

P_a = Tekanan Atmosfir (Kgf/m^2)

γ =Berat zat cair persatuan volume (Kgf/m^3)

h_s =Head isap statis (m)

h_{ls} =kerugian head dalam pipa isap (m)



Gambar 2.14 NPSH , bila tekanan atmosfer bekerja pada permukaan air yang di isap
(Sularso, 2000)

2) NPSH yang diperlukan pompa

Merupakan head tekanan yang besarnya sama dengan penurunan tekanan. Besarnya NPSH yang diperlukan berbeda untuk setiap pompa. Untuk suatu pompa tertentu NPSH di perlukan berubah menurut kapasitas dan putarannya. Agar pompa dapat bekerja tanpa mengalami kavitasi maka harus di penuhi persyaratan sebagai berikut:

NPSH yang tersedia > NPSH yang diperlukan

NPSH yang tersedia dapat dihitung dari kondisi instalasi sedangkan

NPSH yang diperlukan di peroleh dari pabrik pompa yang

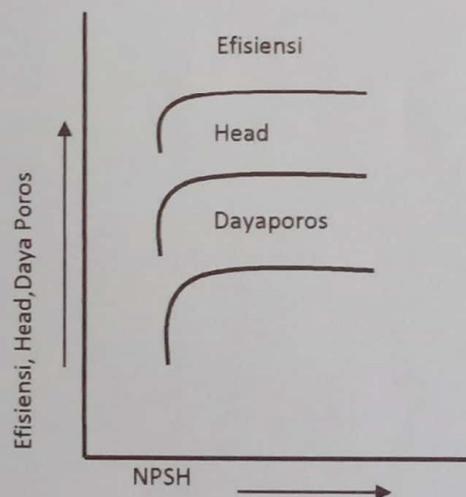
bersangkutan. Namun untuk penaksiran secara kasar, NPSH yang diperlukan dapat dihitung dari konstanta kavitasitas σ .

Jika head total pompa pada titik efisiensi maksimum dinyatakan sebagai H_N dan NPSH yang diperlukan untuk titik ini H_{svN} maka σ didefinisikan sebagai:

$$\sigma = \frac{H_{svN}}{H_N} \quad (13)$$

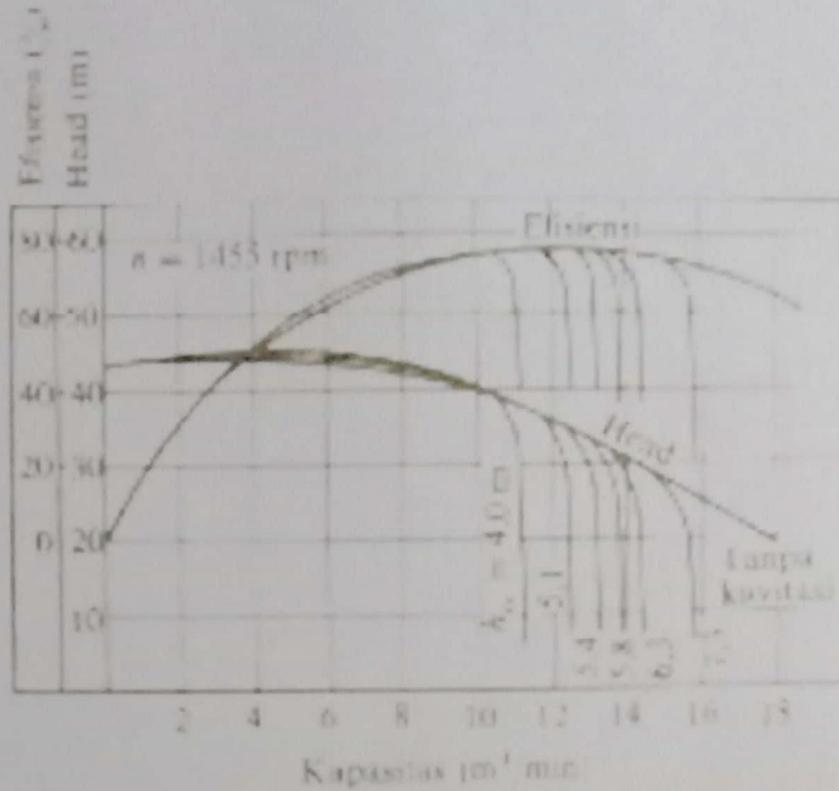
d. NPSH dan Performansi pompa

Ada dua cara untuk memeriksa secara eksperimental pengaruh NPSH pada performansi pompa. Cara pertama: dengan kapasitas di jaga tetap, harga NPSH yang tersedia di variasikan. Seperti gambar 2.15;

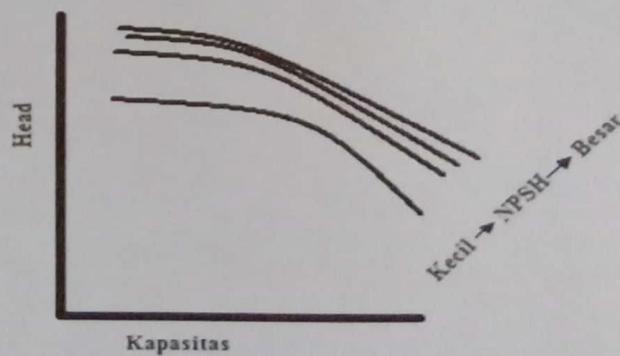


Gambar 2.15 Performansi kavitasitas pada kapasitas tetap. (Sularso, 2000)

kemudian perubahan head total pompa, daya poros dan efisiensi diperiksa. Cara kedua: mengukur efisiensi pompa dengan memakai NPSH sebagai parameter seperti terlihat pada gambar 2.16 kemudian perubahan kurva performansi karena perubahan NPSH di periksa.



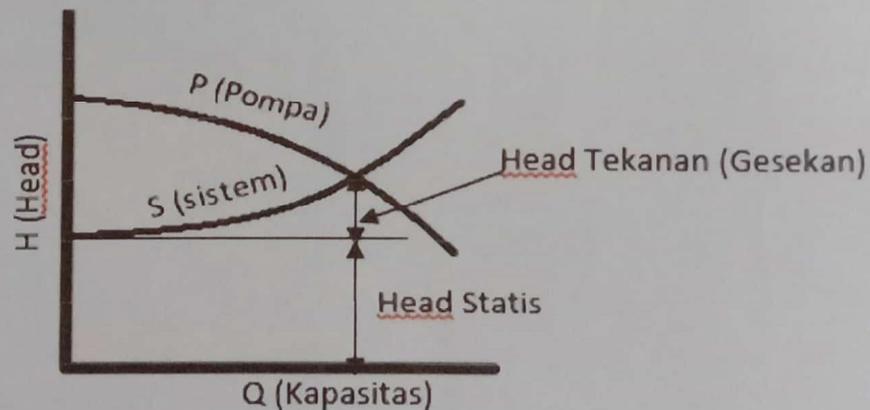
Gambar 2.16 Performansi kavitasi dari pompa volut isapan tunggal (Sularso, 2000)
 Perubahan performansi pompa terhadap perubahan BPSH bergantung kepada kecepatan spesifik pompa (n_s) yang bersangkutan. Pompa dengan n_s rendah mempunyai Kufra performansi yang cenderung menurun secara tiba-tiba di daerah kapasitas besar dimana NPSH menjadi kecil seperti terlihat pada gambar 2.17



Gambar 2.17 Performansi kavitasi dari pompa aliran aksial dan pompa aliran campur. (Sularso, 2000)

e. Kurva Head Kapasitas Pompa dan Sistem

Kurva head kapasitas dari pompa menyatakan kemampuan pompa untuk menentukan head H yang besarnya tergantung pada besarnya kapasitas atau laju aliran Q . Dalam operasinya pompa harus dapat memenuhi head yang diperlukan oleh sistem pipa. Karena itu di samping kurva head-kapasitas dari pompa perlu diketahui pula head kapasitas dari sistem. Besarnya head sistem yaitu head yang diperlukan untuk mengalirkan zat cair melalui pipa adalah sama dengan head untuk mengatasi kerugian gesek di tambah dengan head statis sistem. Head statis adalah head potensial dari beda ketinggian permukaan dan beda tekanan statis pada permukaan zat cair di tadah isap dan di tadah keluar. Jika di gambarkan dalam diagram head terhadap laju aliran seperti terlihat pada gambar 2.18.



Gambar 2.18 Kurva Head-kapasitas dari pompa (P) dan sistem (S)

2.7.5. Karakteristik pompa

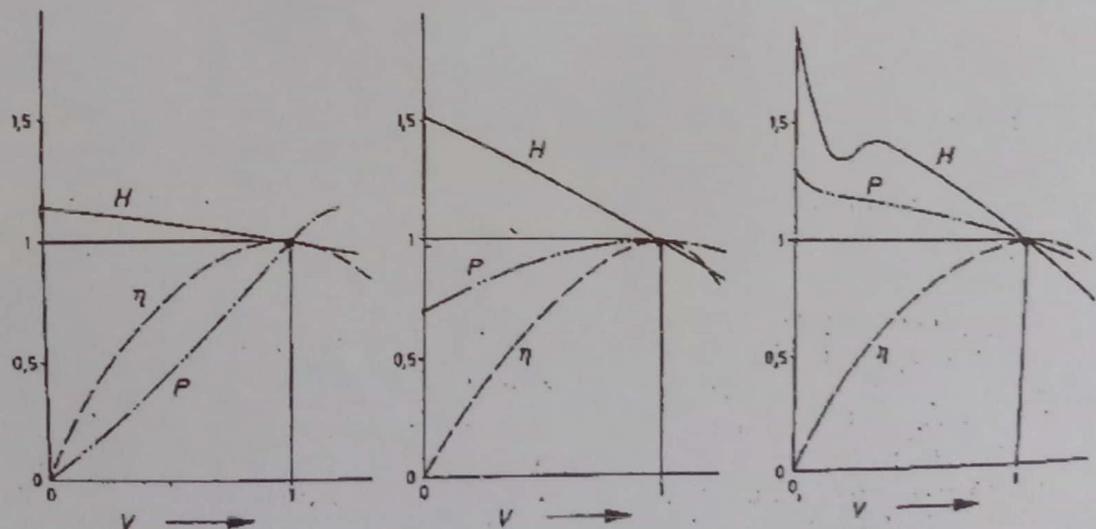
Alat penggerak pompa sentrifugal adalah motor *asynchron* atau motor *synchron* yang kecepatan putarnya tidak dapat diatur. Bila kecepatan putar penggerak tetap konstan, kapasitas pompa diatur melalui "pencekikan"

(throtling) yaitu dengan jalan membuka atau menutup suatu katup yang dapat diatur pembukaannya. Katup pengecilan harus ditempatkan di dalam saluran tekan sebab pengecilan (pengecilan pembukaan katup) di dalam saluran hisap dapat mengakibatkan timbulnya kavitasi.

Karakteristik dari pompa sentrifugal menggambarkan jalannya lintasan besaran-besaran berikut dibawah ini dengan melalui kapasitas, besaran tersebut adalah:

- Tinggi kenaikan pompa (*head*) H (Kurva peredaman/pembukaan katup pengatur)
- Daya yang dibutuhkan = P
- Rendemen pompa (efisiensi) = η

Tempat/dasar tinggi tekanan atau harga NPSH yang diperlukan. Dengan ini keterangan tentang kecepatan putar n adalah sebagai dasarnya.



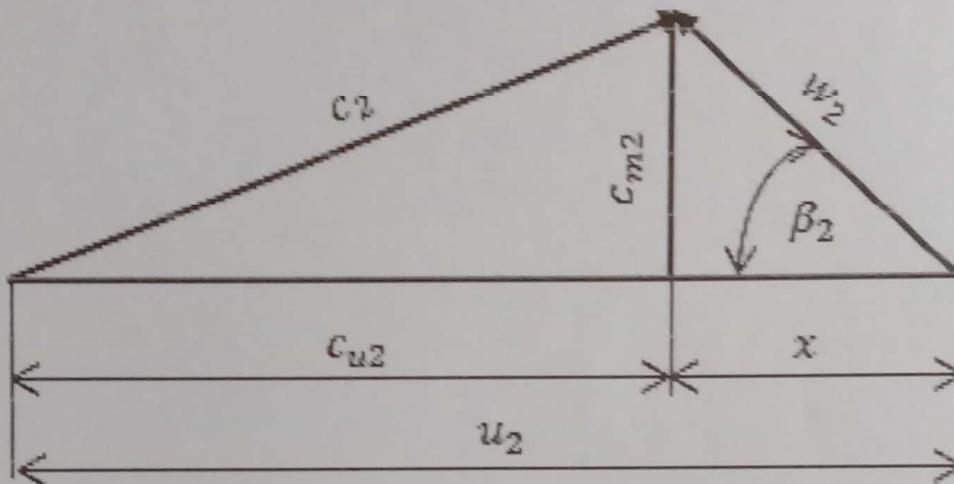
Gambar 2.19 Karakteristik dari pompa putar
(Fritz Dietzel, 1993)

Kurva karakteristik dari roda radial

Kurva $H = f(Q)$ dan menentukan kurva $\eta = f(Q)$ dari persamaan Euler dalam bentuk :

$$H_{th\infty} = u_2 \cdot c_{u2} / g \quad (14)$$

Dari gambar segitiga kecepatan keluar, pada gambar 2.19 kurva $H = f(Q)$, $c_{u2} = u_2 - x$, Dimana : $x = c_{m2} \cdot \cot\beta_2$ dan $c_{m2} = \frac{Q}{D_2 \cdot \pi \cdot b_2}$



Gambar 2.20 Segitiga kecepatan keluar dari pompa radial (Stephen Lazarkiewicz, 1965)

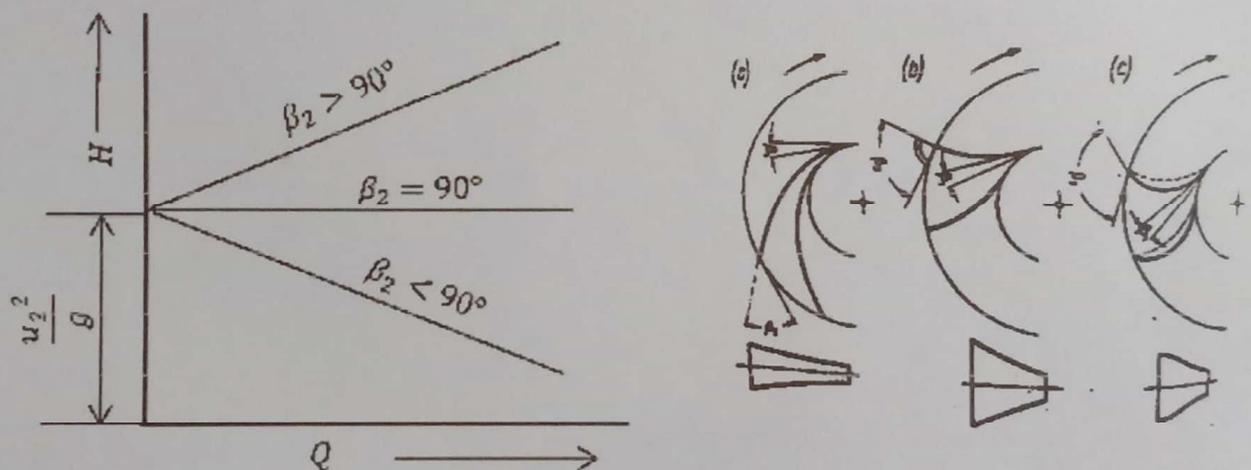
Sehingga tinggi kenaikan pompa :

$$H_{th\infty} = \frac{u_2}{g} \cdot \left(u_2 - \frac{Q \cdot \cot\beta_2}{D_2 \cdot \pi \cdot b_2} \right) \quad (15)$$

Dari persamaan tersebut didapatkan saling ketergantungan sebagai berikut:

$Q = 0$ akan menjadi ketinggian pada waktu start / tinggi awal dengan $H_{th\infty} = \frac{u_2^2}{g}$. Dengan bertambahnya kapasitas fluida yang dialirkan pompa Q akan berlaku ketentuan dari bentuk sudunya, dimana hal ini dapat diketahui melalui sudut sudu keluar β_2 , sebagai berikut :

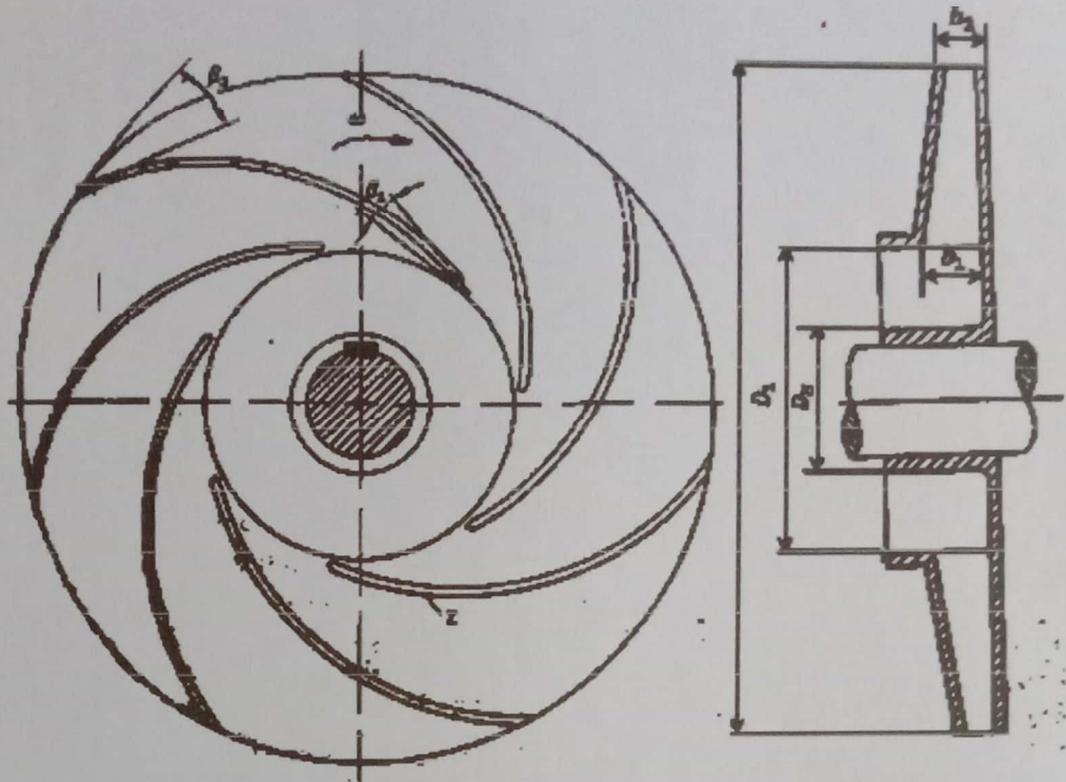
- $\beta_2 = 0$, sudu ini adalah sudu yang berakhir secara radial, $\cot \beta_2 = 0$ dengan demikian tinggi kenaikan pompa untuk setiap banyaknya fluida di pompa : $H_{th\infty} = \frac{u_2^2}{g} = \text{konstan}$
- $\beta_2 > 0$, sudu yang dibengkokkan / kelengkungannya ke depan, $\cot \beta_2 = \text{negatif}$, ruas yang kedua di dalam kurang positif, tinggi kenaikan pompa akan semakin naik sesuai dengan bertambahnya kapasitas.
- $\beta_2 < 0$, sudu yang dibengkokkan / kelengkungannya ke belakang, $\cot \beta_2 = \text{positif}$, tinggi kenaikan pompa akan turun sesuai dengan bertambahnya Q pada ($\beta_2 = 20^\circ$ adalah $\cot 20 = 2,74$)



Gambar 2.21 Kurva karakteristik teoritis $H = f(Q)$ dari impeller radial (Stephen Lazarkiewicz, 1965)

2.7.6. Perencanaan Impeller

Perencanaan suatu impeller dimulai dengan penentuan ukuran-ukuran utama impeller sesuai dengan kondisi pemompaan yang diinginkan oleh pemakai program komputer. Setelah penentuan tersebut, barulah bentuk atau dimensi impeller secara keseluruhan dihitung dan digambar.



Gambar 2.22 Ukuran-ukuran utama impeller
(Austin H Church., 1993)

Yang dimaksud ukuran-ukuran utama impeller adalah (lihat gambar 2.22).

- a. Diameter hub impeller, $D_H(mm)$
- b. Diameter dalam impeller, $D_1 (mm)$
- c. Sudut masuk impeller, $\beta_1(^{\circ})$
- d. Lebar sisi masuk impeller, $b_1 (mm)$
- e. Diameter luar impeller, $D_2(mm)$
- f. Sudut keluar impeller, $\beta_2 (^{\circ})$
- g. Lebar sisi keluar impeller, $b_2(mm)$

Masukan yang diperlukan adalah pengisian data-data untuk merancang impeller, mengenai kondisi pemompaan air yang diharapkan dan hal lainnya, yaitu :

- a. Kapasitas air yang dipompa, $Q (m^3/jam)$

- b. Head total yang diperlukan, H (m)
- c. Kecepatan motor penggerak, n (rpm)
- d. Tebal sudu impeller, s (mm)

2.7.7. Head Teoritis (H_{th})

Putaran oleh motor penggerak menghasilkan kenaikan momentum sudut aliran yang melaluinya.

Adapun persamaan momen adalah sebagai berikut:

$$M = \rho Q(r_2 c_{u2} - r_1 c_{u1}) \text{ dimana } c_{u1} = c_1 \cos \alpha_1 ; c_{u2} = c_2 \cos \alpha_2$$

Daya yang di berikan ke likuid oleh impeler adalah sebagai berikut :

$$N = M\omega = \rho Q(r_2 c_{u2} \omega - r_1 c_{u1} \omega)$$

$$N = M\omega = \rho Q(u_2 c_{u2} - u_1 c_{u1})$$

$$N = M\omega = \rho Q(u_2 c_2 \cos \alpha_2 - u_1 c_1 \cos \alpha_1)$$

Karena,

$$c_1 u_1 \cos \alpha_1 = \frac{1}{2}(c_1^2 + u_1^2 - w_1^2) \text{ dan}$$

$$-c_2 u_2 \cos \alpha_2 = \frac{1}{2}(w_2^2 - c_2^2 - u_2^2)$$

$$N = \rho g Q \left(\frac{c_2^2 - c_1^2}{2g} + \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g} + \frac{w_2^2 - w_1^2}{2g} \right)$$

Dimana

$$\frac{c_2^2 - c_1^2}{2g} : \text{kenaikan energi kinetika likuid}$$

$\frac{u_2^2 - u_1^2}{2g}$: energi yang dikeluarkan likuid untuk meletakkan fluida ke dalam aliran keliling

$\frac{w_2^2 - w_1^2}{2g}$: perubahan kecepatan relatif, biasanya positif karena $w_2 < w_1$

Head teoritis merupakan tinggi energi yang dibangkitkan pompa. Jika tidak ada rugi-rugi akibat tahanan hidrolis atau gesekan mekanis selama likuid mengalir melalui pompa.

$$M\omega = \rho g Q H_{th}$$

Dimana

$$M = \rho Q (r_2 c_{u2} - r_1 c_{u1})$$

daya yang di berikan ke liquid oleh impeler adalah

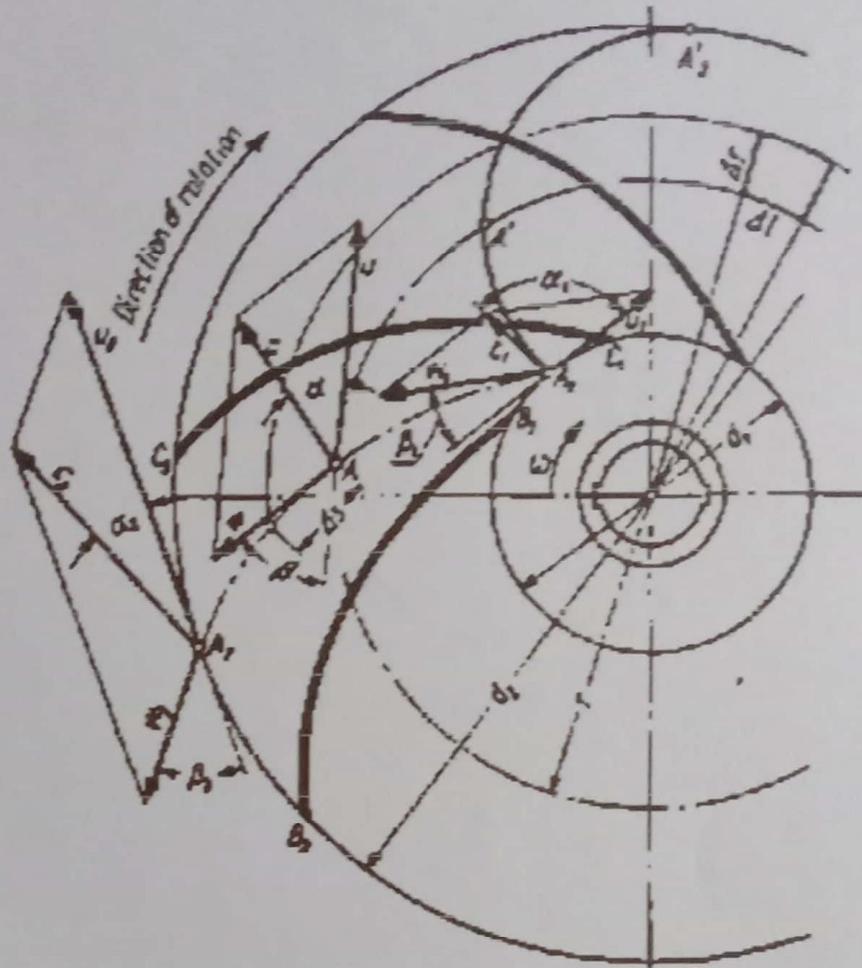
$$H_{th} = \frac{\omega}{g} (r_2 c_{u2} - r_1 c_{u1})$$

$$H_{th} = \frac{1}{g} (u_2 c_{u2} - u_1 c_{u1})$$

$$H_{th} = \frac{1}{g} (c_2 u_2 \cos \alpha_2 - c_1 u_1 \cos \alpha_1)$$

Karena jumlah sudu diasumsikan tidak terhingga sehingga dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini.

$$H_{th\infty} = \frac{c_2^2 - c_1^2}{2g} + \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g} + \frac{w_2^2 - w_1^2}{2g} \quad (16)$$



Gambar 2.23 Aliran fluida dalam impeler pompa sentrifugal (Stephen Lazarkiewicz, 1965)

$A_1 - A_2$: lintasan relatif fluida terhadap Impeler

$A_1' - A_2'$: lintasan absolut

Telah di peroleh bahwa :

$$\frac{P_2 - P_1}{\rho g} = \left[\left(\frac{u_2^2 - u_1^2}{2g} \right) - \frac{w_2^2 - w_1^2}{2g} \right]$$

tinggi lintasan energi pada $A_1' - A_2'$

$$H_1 = z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{c_1^2}{2g} \text{ dan } H_2 = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{c_2^2}{2g}$$

$$H_{EULER} = H_{th\infty} = H_2 - H_1$$

$H_{th\infty} = z_2 - z_1 + \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2g}$ dengan me ngabaikan z maka di dapat

$$H_{th\infty} = \frac{c_2^2 - c_1^2}{2g} + \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g} + \frac{w_2^2 - w_1^2}{2g}$$

Hubungan ($H_{th\infty}$, H_{th} dan H)

- $H_{th\infty}$: head dengan anggapan jumlah sudu tidak terhingga , tebal sudu sangat tipis, dan tidak ada gesekan di dalam Impeller
- H_{th} : head dengan anggapan jumlah sudu terbatas , tebal sudu sangat tipis, dan tidak ada gesekan di dalam Impeller diabaikan
- H_{rill} : Head dengan jumlah sudu terbatas , ada ketebalan ada turbulensi aliran di dalam Impeller

$$H_{th\infty} = H_{th}(1 + C_p) \quad (17)$$

$$C_p = \text{Pfleiderer's Correction } C_p = \psi \frac{r_2^2}{zM_{st}}$$

dimana

M_{st} =momen Static pada garis lurus sumbu A1 – A2

r_2 = jari-jari luar Impeller

z = Jumlah sudu

ψ =Koefisien yang tergantung tipe Impeller

untuk Impeller dengan sudu singlet kurvatur, $d_2/d_1 > 2$;

$$\psi = (0,55 - 0,68) + 0,6 \sin \beta_2 \quad (18)$$

atau

$$H_{th} = kH_{th\infty}; \text{ dengan } k=0,6- 0,9 \quad (19)$$

2.7.8. Kecepatan Spesifik

Kecepatan spesifik akan bertambah besar dengan kapasitas-kapasitas yang lebih besar dan pada kecepatan-kecepatan operasi yang lebih besar atau pada head yang lebih rendah.

$$n_s = \frac{n\sqrt{Q}}{H^{3/4}} \quad (20)$$

Dimana :

n_s = kecepatan spesifik

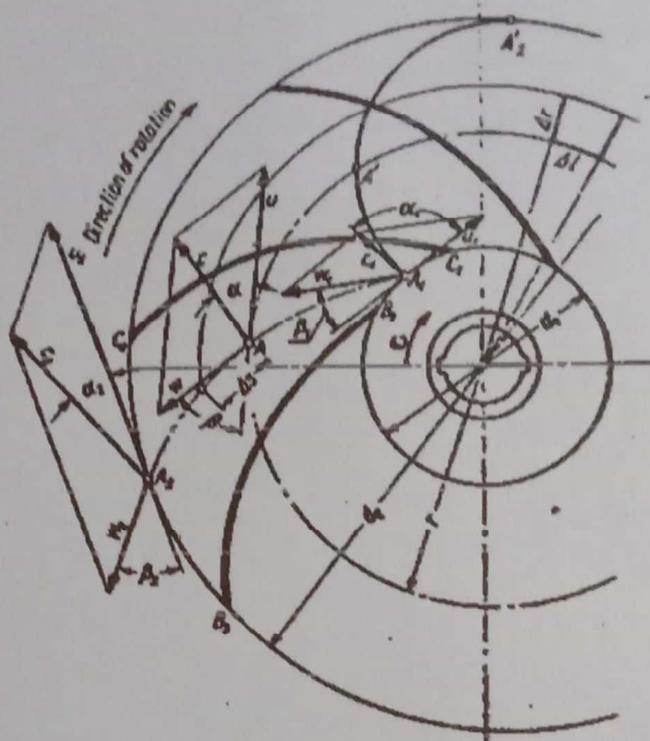
n = Putaran pompa

Q = Kapasitas pompa

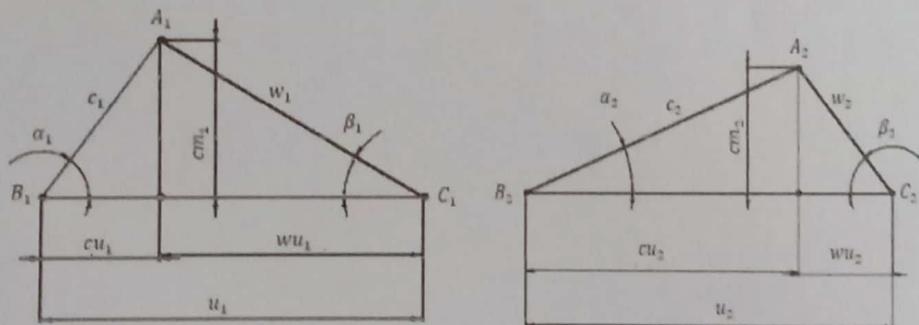
H = head pompa

2.7.9. Segitiga Kecepatan

Perhitungan desain sebuah pompa sentrifugal harus memperhatikan segitiga kecepatan dari aliran di dalam pompa. Gambar 2.24 memperlihatkan kecepatan-kecepatan yang timbul pada pompa sentrifugal, dan gambar 2.25 memperlihatkan segitiga kecepatan pada *inlet* dan *outlet impeller*.



Gambar 2.24 Kecepatan-kecepatan pada Impeller
(Stephen Lazarkiewicz, 1965)



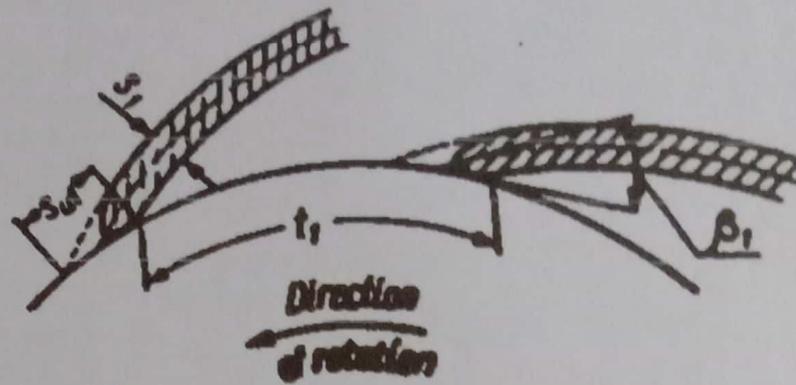
Gambar 2.25 Segitiga kecepatan (a) inlet (b) outlet
(Stephen Lazarkiewicz, 1965)

Kecepatan keliling masuk

$$u_1 = \frac{\pi d_1 n}{60} \quad (21)$$

Lebar sisi masuk Impeller

Untuk menghitung lebar sisi masuk impeller b_1 harus menentukan jumlah sudut impeller z , karena itu untuk sementara dimisalkan impeller mempunyai sejumlah sudut tertentu. Setelah menghitung diameter luar impeller, jumlah sudut itu akan diperlukan lagi kebenarannya.



Gambar 2.26 Ujung sudu masuk Impeller
(Stephen Lazarkiewicz, 1965)

Pitch antar sudu pada diameter dalam

$$t_1 = \frac{\pi d_1}{2} \quad (22)$$

Proyeksi tebal sudu pada diameter dalam

$$S_{u1} = \frac{s}{\sin \beta_1} \quad (23)$$

Koefisien penyempitan aliran

$$\varphi_1 = \frac{t_1}{t_1 - S_{u1}} \quad (24)$$

Luas penampang melintang sisi masuk Impeller

$$A_1 = \varphi_1 \frac{Q_1}{C_{m1}} \quad (25)$$

Lebar sisi masuk Impeller

$$b_1 = \frac{Q}{d_1 \pi C_1} \quad (26)$$

2.7.10. 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, beberapa tes telah menunjukkan bahwa variasi sudut β_2 antara $20^\circ - 30^\circ$ tidak memberi dampak yang berarti pada head

pompa. Sudut β_2 yang umum di pakai adalah antara $17^\circ - 30^\circ$ dimana didapatkan efisiensi overall terbaik. Tapi sudut β_2 mungkin juga ditentukan di atas harga tersebut terutama bila dikehendaki head yang sangat besar.

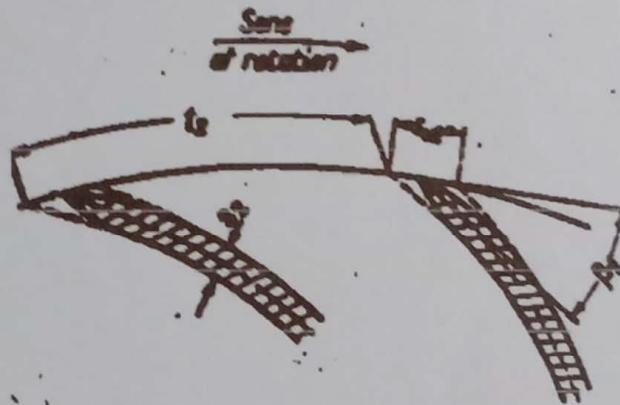
Kecepatan keliling keluar Impeller

$$u_2 = \frac{\pi d_2 n}{60} \quad (27)$$

Jumlah sudu

$$z = 6,5 \frac{D_2 + D_1}{D_2 - D_1} \sin \beta_m \quad (28)$$

Dimana $\beta_m = \frac{(\beta_1 + \beta_2)}{2}$



Gambar 2.27 Ujung sudu keluar Impeller (Stephen Lazarkiewicz, 1965)

Keterangan :

S_{u2} = Proyeksi tebal sudu pada diameter luar

t_2 = Pitch antar sudu diameter luar

β_2 = sudut keluar impeller

s = tebal sudu

Pitch antar sudu diameter luar

$$t_2 = \frac{\pi d_2}{z} \quad (29)$$

Proyeksi tebal sudu pada diameter luar

$$S_{u2} = \frac{s}{\sin \beta_2} \quad (30)$$

Koefisien penyempitan aliran

$$\varphi_2 = \frac{t_2}{t_2 - s_{u2}} \quad (31)$$

Luas penampang melintang sisi keluar impeller

$$A_2 = \varphi_2 \frac{Q_2}{C_{m2}} \quad (32)$$

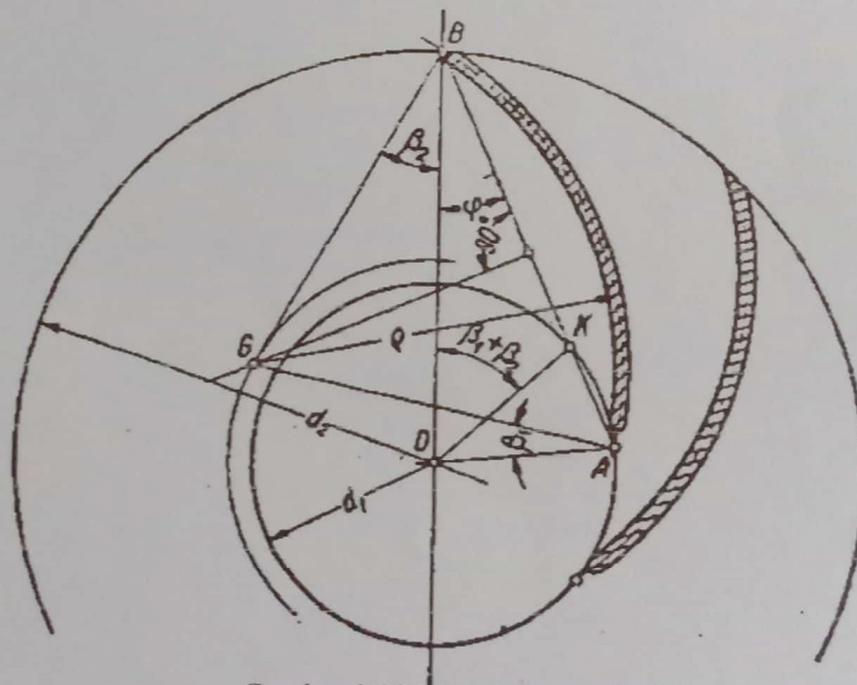
Lebar sisi keluar Impeller

$$b_2 = \frac{Q}{d_2 \pi c_2} \quad (33)$$

2.7.11. Penentuan Bentuk Impeller

Ada tiga cara yang dipakai untuk menentukan bentuk impeller, yaitu:

A. Metode busur Lingkaran



Gambar 2.28 Metode busur lingkaran
(Stephen Lazarkiewicz, 1965)

Keterangan :

d_1 = diameter dalam impeller

d_2 = diameter luar impeller

β_1 = Sudut masuk impeller

β_2 = Sudut keluar impeller

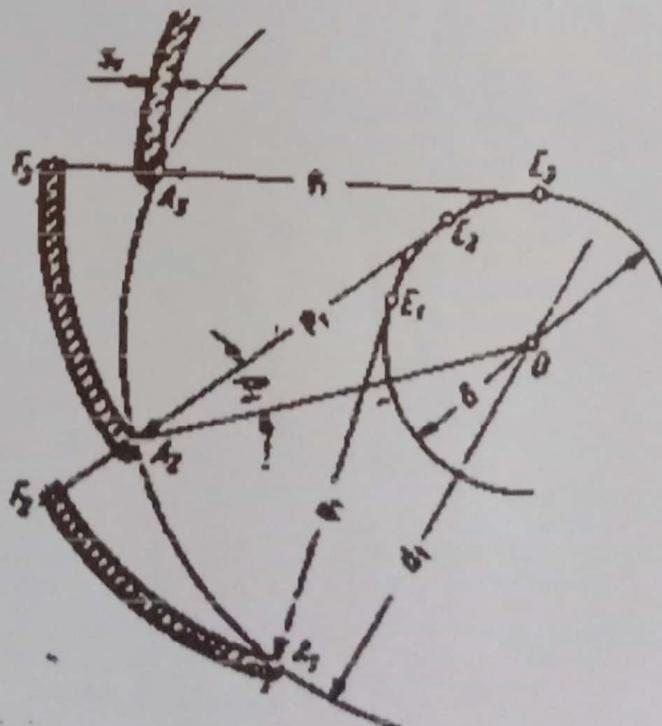
Prinsip perencanaan profil sudu dengan metode busur lingkaran (gambar 2.28) adalah sebagai berikut: dari titik O di gambar garis OK dengan sudut $\beta_1 + \beta_2$ terhadap sembarang garis OB.

Selanjutnya tarik garis lurus BK memotong lingkaran dengan diameter dalam d_1 di titik A. Buat garis tegak lurus AB pada pertengahan garis AB, lalu tarik garis BG dengan sudut β_2 terhadap garis OB atau tarik garis AG dengan sudut β_1 terhadap garis OA. Garis BG atau garis AG akan memotong garis yang pertama di titik G. Titik G adalah titik pusat busur lingkaran AB yang berjari-jari ρ , busur AB merupakan profil sudu impeller.

Jari-jari ρ dapat di hitung dengan rumus :

$$\rho = \frac{1}{2} \frac{r_2^2 - r_1^2}{r_2 \cos \beta_2 - r_1 \cos \beta_1} \quad (34)$$

B. Metode Dua Busur Lingkaran



Gambar 2.29 Metode dua busur lingkaran
(Stephen Lazarkiewicz, 1965)

Keterangan :

d_1 = diameter dalam impeller

d_2 = diameter luar impeller

β_1 = Sudut masuk impeller

β_2 = Sudut keluar impeller

Prinsip metode dua busur melingkar adalah sebagai berikut :

Lihat gambar 2.29 , diameter dalam impeller d_1 dibagi menjadi 2 bagian yang sama, didapat titik A_1, A_2, A_3, \dots dari titik tersebut ditarik garis yang menyinggung suatu lingkaran, dengan jari-jari $\delta = d_1 \cdot \sin \beta_1$ sepusat lingkaran impeller, pada titik E_1, E_2, E_3, \dots

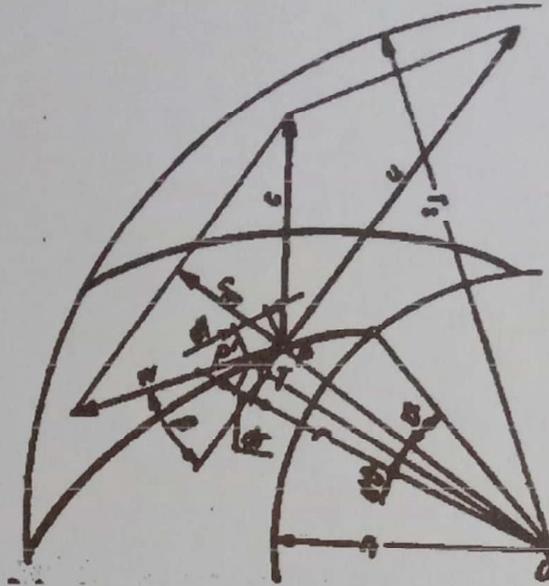
Jari-jari $\rho_1 = E_1A_1 = E_2A_2 = \dots$ adalah jari-jari busur lingkaran profil sudu impeller bagian dalam. Bagian profil sudu sisanya digambarkan dengan busur lingkaran lain yang mempunyai jari-jari ρ_2 dan pusat lingkaran G. Titik pusat G adalah perpotongan lingkaran dalam impeller dengan garis BG yang bersudut β_2 terhadap garis OEB.

Jari-jari ρ_2 dapat dihitung dengan rumus :

$$\rho = \frac{1}{2} \frac{r_2^2 - r_1^2}{r_2 \cos \beta_2 - r_1 \cos \beta_1} \quad (35)$$

C. Metode Titik Per Titik

Metode ini juga dinamakan metode “koordinat polar” karena metode ini menggunakan jari-jari r dan sudut sentral ϕ sebagai penentu titik dalam profil impeller. Titik-titik tersebut kemudian dihubungkan hingga membentuk profil impeller.



Gambar 2.30 Metode titik pertitik
(Stephen Lazarkiewicz, 1965)

Lihat segitiga kecil PP'T pada gambar 2.24 dapat dinyatakan bahwa :

$$PT = r \cdot d\varphi \quad (36)$$

Dan juga

$$PT = \frac{PT}{\operatorname{tg} \beta} \quad (37)$$

Karena P'T menunjukkan pertambahan jari-jari dr , maka :

$$r \cdot d\varphi = \frac{dr}{\operatorname{tg} \beta} \quad (38)$$

Atau

$$D\varphi = \frac{dr}{r \cdot \operatorname{tg} \beta} \quad (39)$$

Persamaan diatas diintegalkan dengan batas r_1 dan r , lalu dikalikan dengan $180/\pi$ didapat :

$$\varphi = \frac{180}{\pi} \int_{r_1}^r \frac{dr}{r \cdot \operatorname{tg} \beta} \quad (40)$$

Sudut β didapat dengan rumus :

$$\beta = \operatorname{arc} \sin \frac{c_m}{\omega} \quad (41)$$

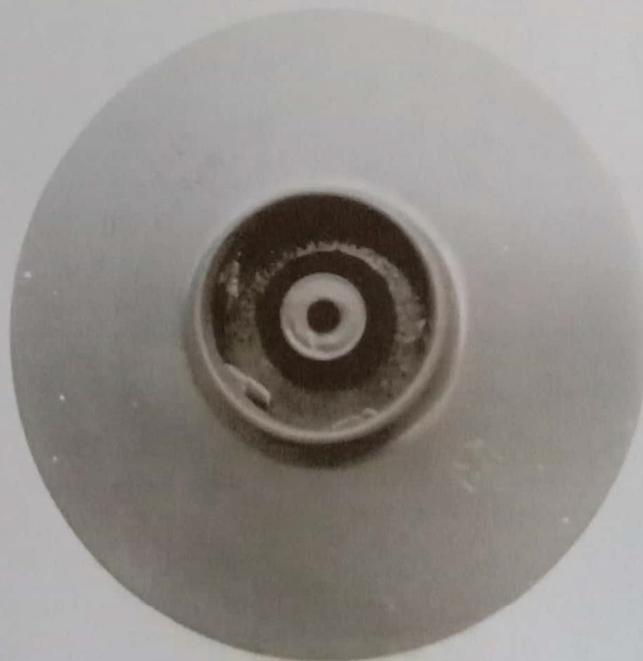
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Sumber data , subjek dan objek penelitian

Penelitian teknik rekonstruksi tiga dimensi (3D) dilakukan selama kurang lebih 4 (empat) bulan yang berlokasi di laboratorium teknik mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Sains dan Teknologi Nasional.

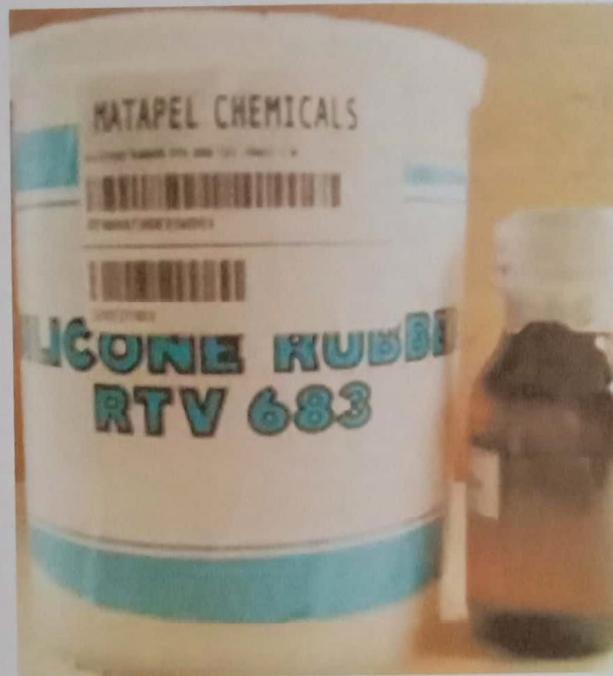
Penelitian teknik rekonstruksi 3D menggunakan Impeller pompa seperti yang terlihat pada gambar 3.1 sebagai objek penelitian, Teknik rekonstruksi di butuhkan untuk mendapatkan data teknik dari Impeller pompa, data teknik yang diambil dari Impeller pompa didapat dengan tidak merusak.



Gambar 3.1 Impeller pompa

Untuk mendapatkan data teknik impeller pada bagian yang terlihat diukur menggunakan *vernier caliper* (jangka sorong), sedangkan untuk bagian yang tidak terlihat peneliti menggunakan karet silikon RTV seperti yang terlihat dari

gambar 3.2, menggunakan karet silikon untuk mendapatkan data teknik dari sudu-sudu Impeller.



Gambar 3.2 karet silikon dan *hardener*

Setelah seluruh data teknik dari Impeller pompa diketahui selanjutnya dilakukan penggambaran, untuk selanjutnya analisa dan dilakukan validasi apakah teknik yang di pilih tepat dan memiliki hasil yang baik serta dapat di gunakan untuk merekonstruksi komponen industri dengan tidak merusak komponennya.

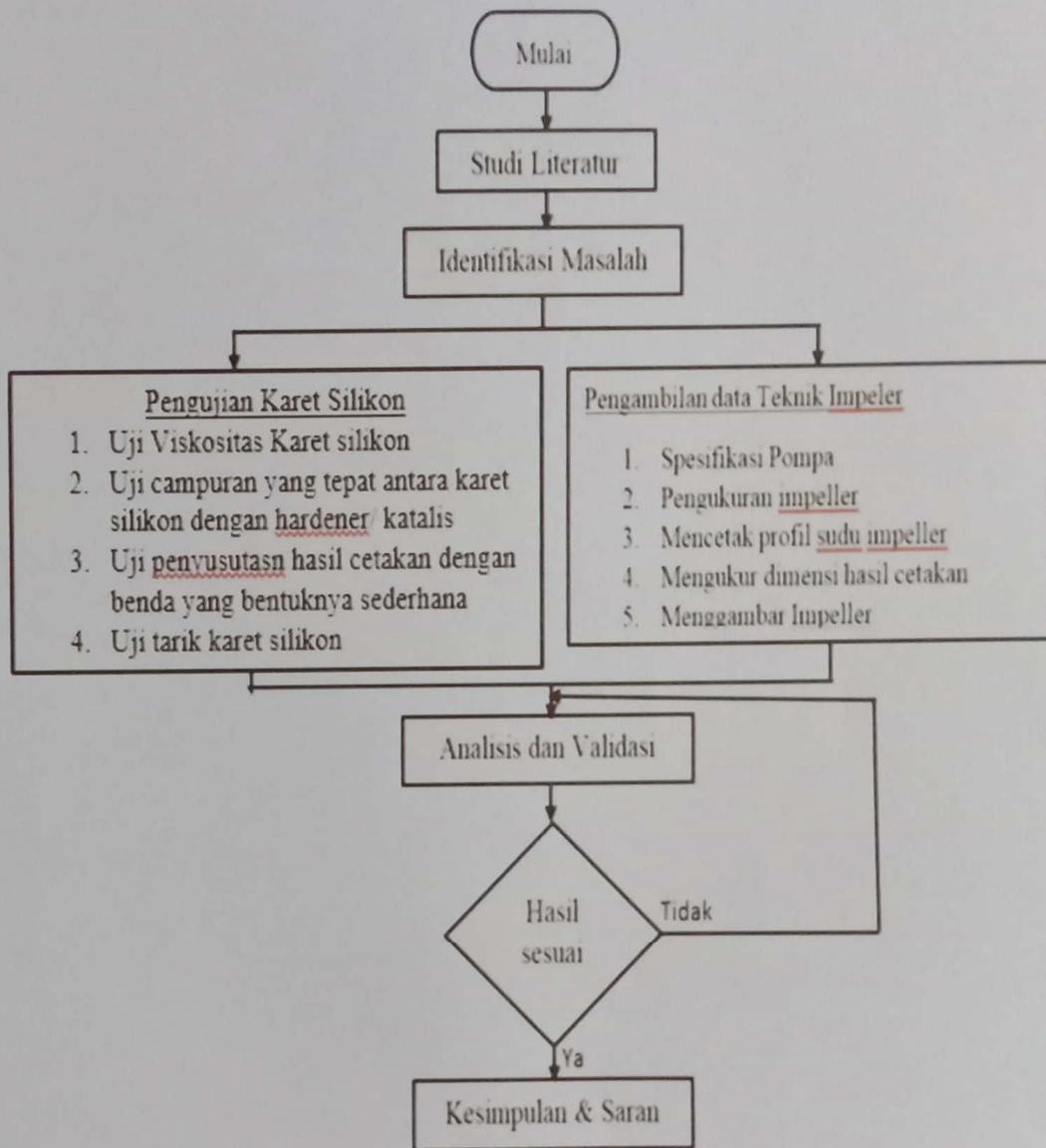
3.2. Metode penelitian

Secara garis besar metodologi penelitian ini terbagi dalam beberapa tahapan yakni:

- a. Tahap pertama yaitu tahapan persiapan, dilakukan dengan studi literatur serta melakukan survey tentang ketersediaan peralatan dan bahan yang mendukung terlaksananya penelitian ini.

- b. Tahapan kedua dilakukan pengujian nilai viskositas dari karet silikon, pengujian ini menggunakan metode bola jatuh. Viskositas penting di ketahui untuk mengetahui fluiditas atau kemampuan suatu fluida untuk mengalir masuk ke dalam cetakan sebelum membeku.
- c. Tahapan yang ketiga pengujian paduan atau campuran yang tepat antara *hardener* (katalis) dan karet silikon agar bisa digunakan dalam mencetak atau mendapatkan dimensi Impeller yang tidak terlihat. Untuk mendapatkan campuran yang tepat di lakukan dengan mencoba mendapatkan dimensi bagian yang tidak terlihat dari beberapa objek.
- d. Tahapan yang keempat adalah Menguji apakah setelah di dapat campuran yang tepat setelah dilakukan pencetakan terjadi penyusutan pada hasil cetakan, karena jika terjadi penyusutan maka metode ini tidak dapat di gunakan untuk melakukan rekonstruksi komponen industri.
- e. Tahapan yang kelima dilakukan pengujian tarik karet silikon, hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah ketika ditarik karet silikon mudah putus dan adanya perubahan bentuk.
- f. Tahapan yang keenam dilakukan proses pencetakan untuk mengetahui bentuk profil dari sudu Impeller pompa untuk selanjutnya dapat diketahui dimensi dari Impeller secara keseluruhan.
- g. Tahapan ketujuh dilakukan penggambaran ulang atau rekonstruksi 3D dari objek yang telah didapatkan dimensi keseluruhannya.
- h. Tahapan terakhir penelitian ini dilakukan analisa dan validasi terhadap data teknik yang telah didapat, apakah data tersebut dapat digunakan sebagai acuan untuk pengembangan Impeller menjadi lebih baik dari sebelumnya.

Secara garis besar prosedur penelitian yang akan dilaksanakan digambarkan seperti bagan alir di bawah ini:



Gambar 3.3 Diagram alir proses penelitian

3.3. Pengujian karet silikon

Karet silikon di uji untuk mengetahui apakah dapat di gunakan dalam penelitian tentang teknik rekonstruksi 3D untuk Impeller. Karet silikon ini diuji dengan pengujian yang relevan dengan tema penelitian. Pengujian yang dilakukan terhadap karet silikon yakni :

a. Pengujian Viskositas

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai viskositas dari karet silikon. Hal ini dibutuhkan dikarenakan karet silikon akan di gunakan untuk mencetak bentuk profil sudu Impeller, dalam proses pencetakan viskositas dari cairan cetakan sangat mempengaruhi tentang proses tersebut. Karena hal ini sangat mempengaruhi seberapa cepat karet silikon mengalir dalam Impeller pompa, agar tidak terjadi keringnya karet silikon sebelum mengisi seluruh rongga sudu Impeller pompa.

Pengujian ini menggunakan metode bola jatuh. Adapun perlengkapan yang dibutuhkan dalam pengujian ini adalah : Kelereng/bola, botol/tabung, timbangan dan *stopwatch*.



Gambar 3.4. Pengujian viskositas metode bola jatuh

Langkah pertama: mengetahui volume dari bola/ kelereng, lalu ditimbang untuk mengetahui berat bola/kelereng selanjutnya dapat di hitung masa jenis ρ dari bola tersebut.

Langkah kedua : mengetahui massa jenis dari fluida, dalam penelitian ini karet silikon adalah fluidanya.

Langkah ketiga: lakukan pengujian viskositas dengan metode bola jatuh.

b. Uji campuran antara karet silikon dengan *hardener*

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan berapa lama proses pengeringan karet silikon saat pencetakan sudu Impeller pompa. Dalam hal ini sudah tercantum dalam kemasan karet silikon, dimana tertulis perbandingan yang diinginkan untuk campuran antara karet silikon dengan hardernernya. Semakin banyak hardener yang digunakan dalam proses pencampuran maka akan semakin cepat karet silikon kering. Hal ini memungkinkan karet silikon akan kering sebelum mengisi ke seluruh rongga Impeller.



Gambar 3.5 Pengujian pencampuran karet silikon dengan hardener serta melihat apakah ada penyusutan pada hasil cetakan.

Menurut aturan pakai yang terdapat dalam kemasan karet silikon RTV perbandingan campuran antara Karet silikon dengan katalis/hardenernya adalah sebagai berikut :

- 1) 4% katalis akan mengeraskan karet silikon dalam waktu 30 menit
- 2) 5% katalis akan mengeraskan karet silikon dalam waktu 20 menit

Adapun Penakarannya dapat dilakukan dengan menggunakan timbangan digital. Penakaran akan mendapatkan hasil yang 99% sesuai dengan ketentuan diatas yakni dengan cara Masukan 96% karet silikon ke wadah kemudian tuangkan 4% katalis dari berat karet silikonnya.aduk sampai tercampur.

Untuk mendapatkan waktu pengerasan cepat maka karet silikon dicampur dengan katalis yang lebih banyak.

c. Uji penyusutan hasil cetakan

Pengujian ini diperlukan untuk menguji apakah karet silikon yang digunakan untuk mencetak profil akan terjadi penyusutan. Pengujian ini dilakukan menggunakan benda benda yang sederhana, karena jika terjadi penyusutan maka karet silikon ini tidak dapat digunakan untuk merekonstruksi 3D. Karena ketika terjadi penyusutan maka dimensi dan bentuk sudu Impeller tidak akurat.

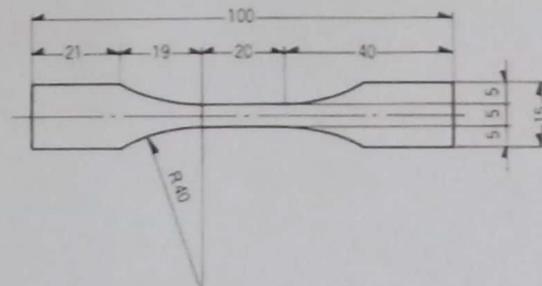


Gambar 3.6 Proses pencetakan Profil Impeller menggunakan karet silikon

d. Uji Tarik Karet Silikon

Pengujian tarik dilakukan di laboratorium teknik mesin institut sains dan teknologi nasional, tahapan pengujian tarik karet silikon sebagai berikut:

- 1) Spesimen ujitarik sesuai dengan standar JIS K6251-4 seperti terlihat pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 spesimen uji tarik karet silikon
(<http://www.dumbbell.co.jp>)

- 2) Pembuatan Spesimen uji tarik karet silikon, spesimen dibuat dengan campuran karet silikon dan hardener/katalis sesuai dengan yang akan digunakan untuk mencetak profil sudu impeler seperti terlihat pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 Spesimen uji tarik karet silikon

- 3) Pengujian Tarik karet silikon, pengujian ini dilakukan menggunakan mesin uji tarik yang terdapat di laboratorium teknik mesin, karena pada mesin uji tarik skalanya menggunakan KN, sehingga tidak terbaca berapa gaya/ tegangan tarik dari karet silikon tersebut, namun karet silikon sudah meregang hampir 3 kali lipatnya, karet silikon belum putus, dan ketika di lepas kembali ke bentuk semula. Pada spesimen yang lain dikarenakan pada proses pencetakan terdapat udara yang terjebak sehingga di dalam karet silikon terdapat rongga sehingga ketika ditarik spesimen tersebut putus, seperti terlihat pada gambar 3.9.



Gambar 3.9 spesimen karet silikon yang cacat

3.4. Data teknik impeller

Data teknik sebuah produk sangat penting untuk memudahkan dalam proses pengembangan sebuah produk, mengetahui umur serta mengetahui performa dari sebuah produk. Data teknik Impeller pompa hasil pengukuran sebelum dilakukan tahapan rekonstruksi 3D.

Adapun data teknik yang di peroleh adalah sebagai berikut :

a. Spesifikasi pompa

Data ini diperoleh untuk memvalidasi dan menganalisa apakah metode yang di gunakan dalam penelitian ini dapat digunakan, data spesifikasi pompa yang didapat adalah Head pompa, kapasitas pompa dan putaran pompa.

b. Pengukuran Impeller

Pengukuran ini dilakukan untuk mendapatkan dimensi seluruh Impeller baik yang terlihat ataupun bagian yang tidak terlihat, untuk bagian yang terlihat dapat diukur menggunakan *vernier caliper*,



Gambar 3.10. pengukuran bagian diameter impeler

c. Mengukur hasil cetakan

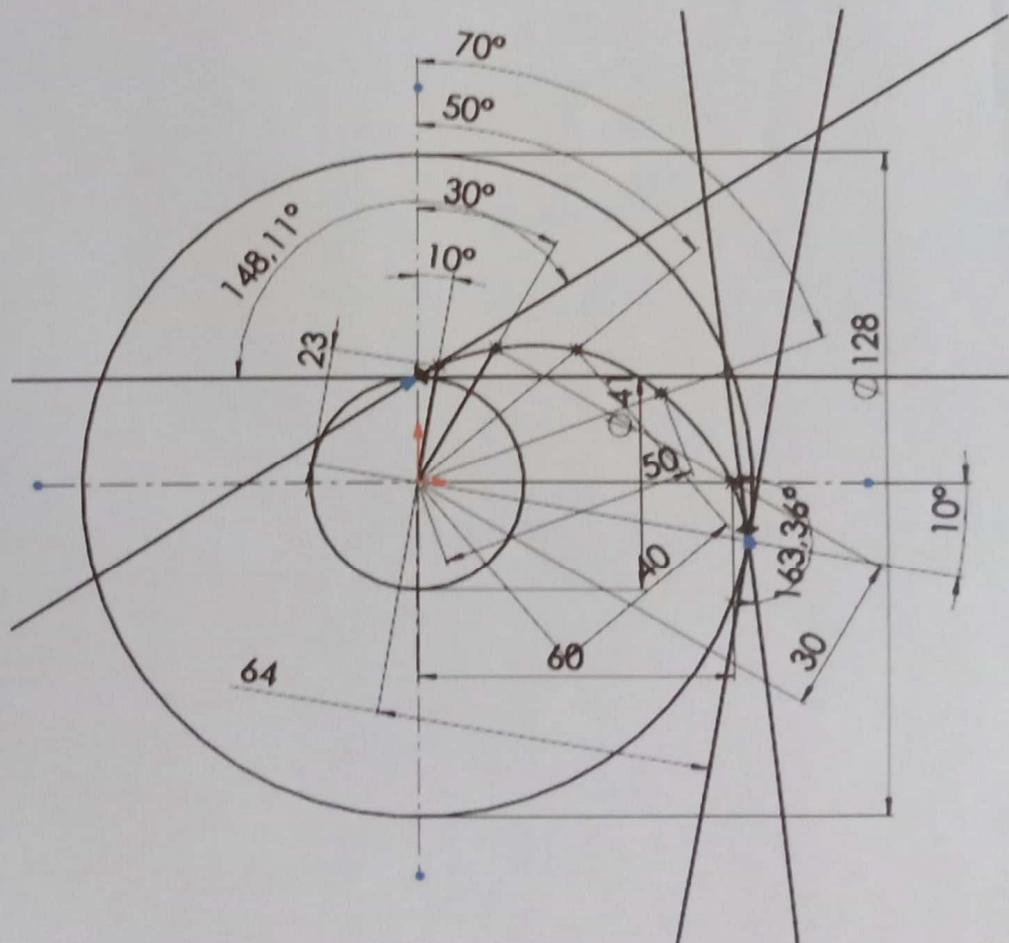
Bagian yang tidak terlihat di ukur menggunakan metode pencetakan menggunakan karet silikon, bagian yang tidak terlihat adalah bagian sudu Impeller.



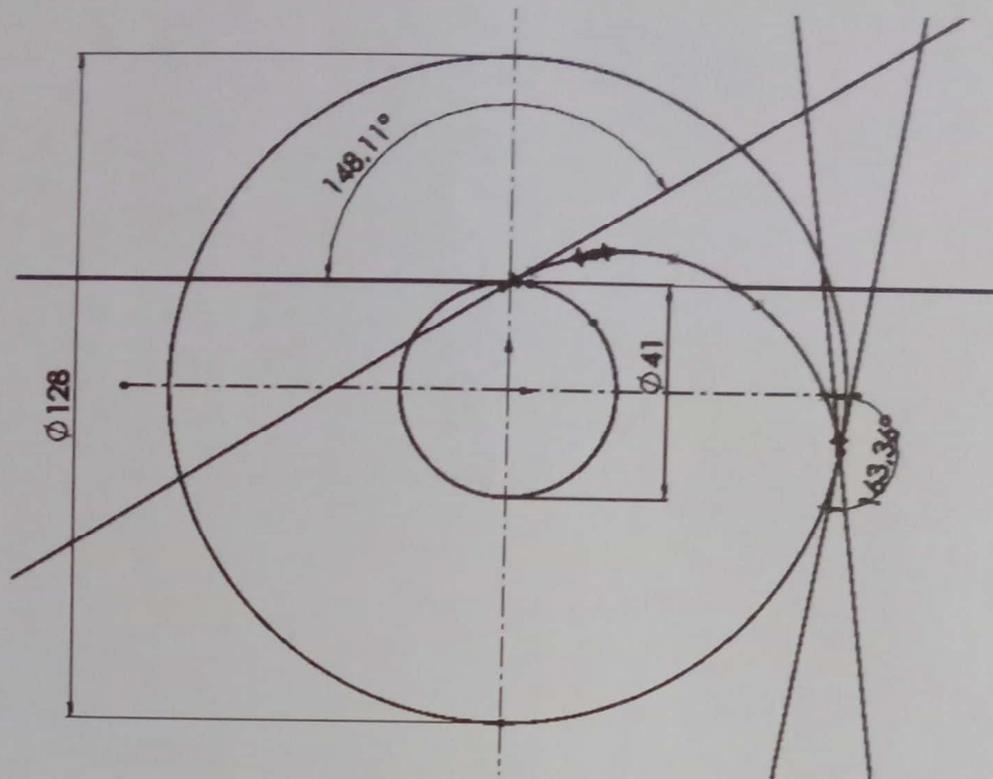
Gambar 3.11 Pengukuran dan penggambaran hasil cetakan

d. Menggambar 3D Impeller

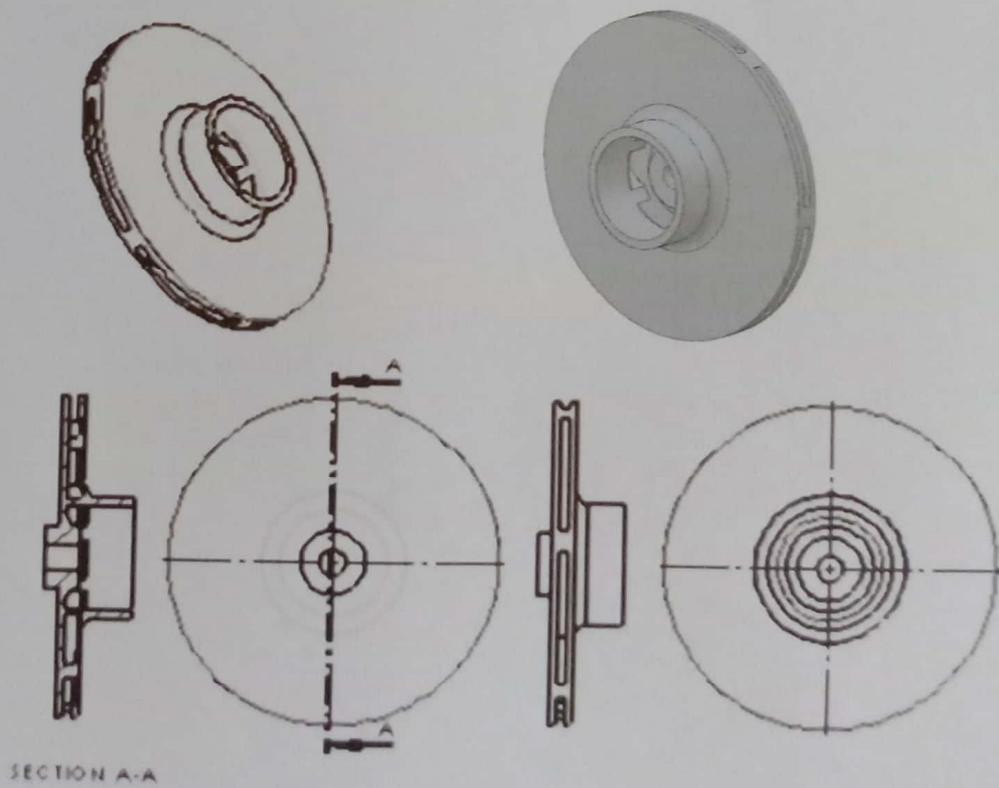
Setelah seluruh dimensi Impeller di dapatkan selanjutnya dilakukan penggambaran dan merekonstruksi 3D Impeller pompa.



Gambar 3.12 Mengukur dan menggambar profil sudu Impeller



Gambar 3.13 Sudut masuk dan sudut keluar Impeller



Gambar 3.14 Impeller pompa 3D

BAB IV

ANALISIS DATA DAN HASIL PENELITIAN

4.1. Gambaran subjek penelitian

Subjek penelitian adalah merekonstruksi 3D Impeller pompa. Pada penelitian ini teknik rekonstruksi menggunakan teknik penuangan menggunakan karet silikon.

4.2. Teknik pengumpulan data

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan beberapa tahap diantaranya:

4.2.1. Data teknik impeller

- a. Diameter dalam dan luar Impeller.

Data teknik Impeller di dapat dengan melakukan pengukuran, untuk bagian yang terlihat dilakukan pengukuran menggunakan alat ukur vernier caliper.



Gambar 4.1. Pengukuran diameter dalam (D_1) dan diameter luar (D_2) impeller

Dari pengukuran tersebut di dapat besar diameter dalam diameter dalam Impeller (D_1) adalah 41 mm dan diameter luar impeller (D_2) adalah 128 mm.

b. Lebar sisi masuk dan keluar impeller

Lebar sisi masuk dan keluar impeller di dapat dari pengukuran hasil cetakan karet silikon. Untuk mendapatkan hasil cetakan karet silikon dilakukan beberapa tahapan penelitian yakni:

Pengujian viskositas

Pengujian viskositas untuk karet silikon dilakukan dengan metode bola jatuh dengan persamaan sebagai berikut.

$$\mu = \left\{ \frac{2r^2 g (\rho_{bola} - \rho_{fluida})}{9. x} \right\} t$$

Bola yang dipakai untuk pengujian viskositas menggunakan kelereng dengan diameter 16,50 mm dan berat 5 gram, jua diketahui nilai gravitasi adalah $9,8 m/s^2$ maka massa jenis bola adalah :

$$\rho_{bola} = \frac{m}{V}$$

Volume benda (kelereng)

$$V = \frac{4}{3} \pi r^2 = \frac{4}{3} \pi (8,25^2)$$

$$V = 2350,879 \text{ mm}^3$$

$$V = 2,35 \times 10^{-6} m^3$$

$$\rho_{bola} = \frac{m}{V}$$

$$\rho = \frac{0,005 kg}{2,35 \times 10^{-6} m^3} = 2127,66 \text{ kg/m}^3$$

Jadi massa jenis benda (kelereng) adalah $2127,66 \text{ kg/m}^3$

Massa jenis fluida (Karet silikon)



Gambar 4.2. pengujian viskositas karet silikon

Untuk mengukur masa jenis fluida (karet silikon), diketahui volume karet silikon 60 ml dengan massa karet silikon adalah 85 gram maka berat jenis karet silikon adalah

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$\rho = \frac{0,085 \text{ kg}}{6 \times 10^{-5} \text{ m}^3}$$

$$\rho = 1416,67 \text{ kg/m}^3$$

Nilai viskositas karet silikon adalah :

$$\mu = \left\{ \frac{2r^2 g (\rho_{bola} - \rho_{fluida})}{9 \cdot x} \right\} t$$

$$\mu = \left\{ \frac{2 \cdot (0,00825)^2 \cdot 9,81 (2127,66 - 1416,67)}{9 \cdot (0,05)} \right\} 45$$

$$\mu = \left\{ \frac{0,013 \text{ m}^3 / \text{s}^2 (710,99 \text{ kg/m}^3)}{0,45 \text{ m}} \right\} 45 \text{ s}$$

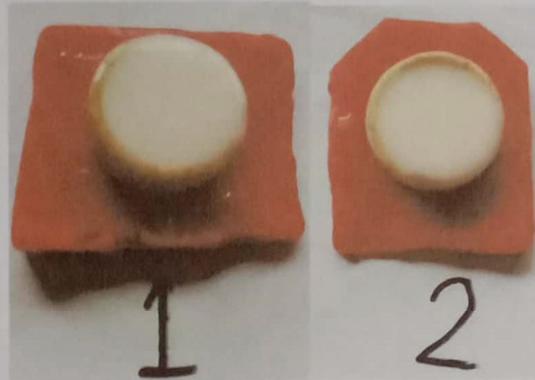
$$\mu = \left\{ \frac{9,24 \text{ kg/s}^2}{0,45 \text{ m}} \right\} 45 \text{ s}$$

$$\mu = 20,54 \text{ kg/m} \cdot \text{s}^2 \times 45 \text{ s}$$

$$\mu = 924,28 \text{ kg/m} \cdot \text{s} = 9242,8 \text{ poise}$$

nilai koefisien viskositas karet silikon adalah 924,28 kg/m.s

Setelah diketahui nilai viskositasnya maka dilakukan pengujian pencetakan dengan bentuk benda yang sederhana dengan ditambahkan katalis sebanyak 4% untuk mendapatkan waktu pengeringan selama ± 30 menit.



Gambar 4.3 Pengujian hasil cetakan karet silikon menggunakan benda yang sederhana

Pengujian tersebut dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat penyusutan pada hasil cetakan. Untuk selanjutnya di gunakan untuk mencetak profil Impeller untuk mendapatkan bentuk profil impeller dan dimensinya berupa lebar sisi masuk dan lebar sisi keluar keluar.



Gambar 4.4 bentuk profil sudu Impeller dan pengukuran lebar sisi masuk dan lebar sisi keluar Impeller

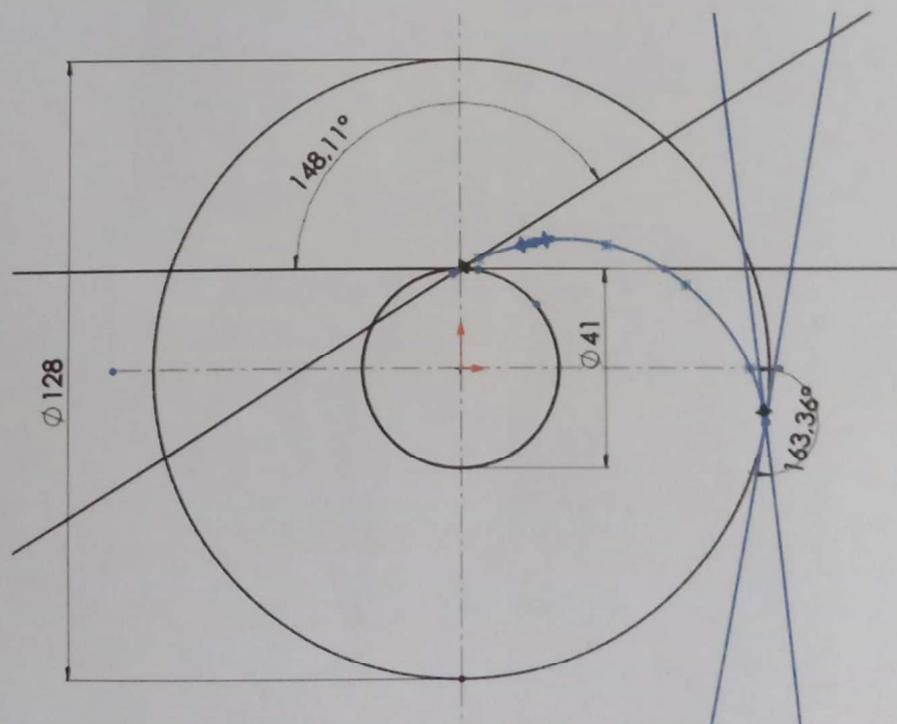
Dari hasil pengukuran di dapat bahwa lebar sisi masuk $b_1 = 7mm$ dan lebar sisi keluar $b_2 = 4mm$. selanjutnya setelah di dapatkan bentuk profil

dilakukan pelukisan untuk mendapatkan tebal sudu untuk selanjutnya dilakukan rekonstruksi 3D.



Gambar 4.5 Pelukisan bentuk profil sudu Impeller.

Setelah dilakukan pelukisan maka di dapat sudut masuk Impeller dan sudut keluar Impeller. dari hasil pelukisan tersebut di dapatkan sudut masuk $\beta_1 = 31,54^\circ$ dan sudut keluar sebesar $\beta_2 = 16,60^\circ$ seperti terlihat pada gambar 4.5.



Gambar 4.6 Sudut masuk dan sudut keluar impeller

4.3. Analisis data dan Hasil penelitian

Pada teknik rekonstruksi 3D Impeller pompa didapatkan beberapa data. Data tersebut akan dianalisa dan di validasi kesesuaian dengan spesifikasi pompa.

Data hasil rekonstruksi 3D diantaranya :

Tabal 4.1 Data hasil rekonstruksi Impeller pompa

No	Data	Nilai
1	Diameter dalam impeller, D_1 (mm)	41
2	Diameter luar impeller, D_2 (mm)	128
3	Lebar sisi masuk impeller, b_1 (mm)	7
4	Lebar sisi keluar impeller, b_2 (mm)	4
5	Sudut masuk impeller, β_1 (°)	148,11
6	Sudut keluar impeller, β_2 (°)	163,36
7	Tebal sudu, s (mm)	4
8	Jumlah sudu, z	6

4.4. Perhitungan validasi impeller

Untuk memvalidasi impeller diasumsikan putaran motor adalah 2850 rpm.

4.4.1. Kecepatan keliling Impeller (u)

- a. Kecepatan keliling fluida masuk Impeller (u_1)

$$u_1 = \frac{\pi D_1 n}{60}$$

$$u_1 = \frac{\pi \times 0,041 \text{ m} \times 2850 \text{ rpm}}{60}$$

$$u_1 = 6,12 \text{ m/s}$$

- b. Kecepatan keliling fluida keluar Impeller (u_2)

$$u_2 = \frac{\pi D_2 n}{60}$$

$$u_2 = \frac{\pi \times 0,128 \text{ m} \times 2850 \text{ rpm}}{60}$$

$$u_2 = 19,09 \text{ m/s}$$

4.4.2. Analisa Head Teoritis Pompa

Dalam penelitian ini dilakukan perhitungan head pompa untuk memvalidasi hasil rekonstruksi 3D.

a. Kapasitas pompa $Q = 85 \text{ liter/menit}$

- Kecepatan meredian sisi masuk Impeller (c_{m1})

$$c_{m1} = \frac{Q}{D_1 \pi b_1}$$

$$c_{m1} = \frac{1,42 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{0,041 \text{ m} \times 3,14 \times 0,007 \text{ m}}$$

$$c_{m1} = 1,58 \text{ m/s}$$

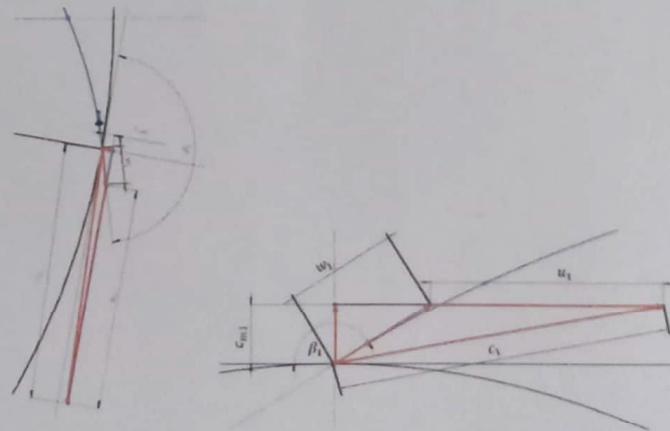
- Kecepatan meredian sisi keluar Impeller (c_{m2})

$$c_{m2} = \frac{Q}{D_2 \pi b_2}$$

$$c_{m2} = \frac{1,42 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{0,128 \text{ m} \times 3,14 \times 0,004 \text{ m}}$$

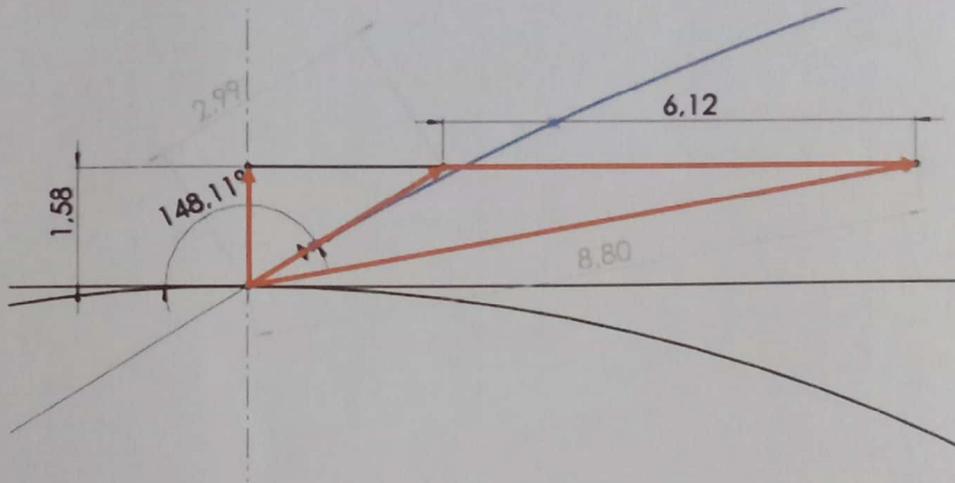
$$c_{m2} = 0,88 \text{ m/s}$$

Setelah diketahui kecepatan keliling fluida dan kecepatan meredian pada sudu masuk dan sudu keluar impeler dapat di gambarkan segitiga kecepatannya seperti terlihat pada gambar 4.6.

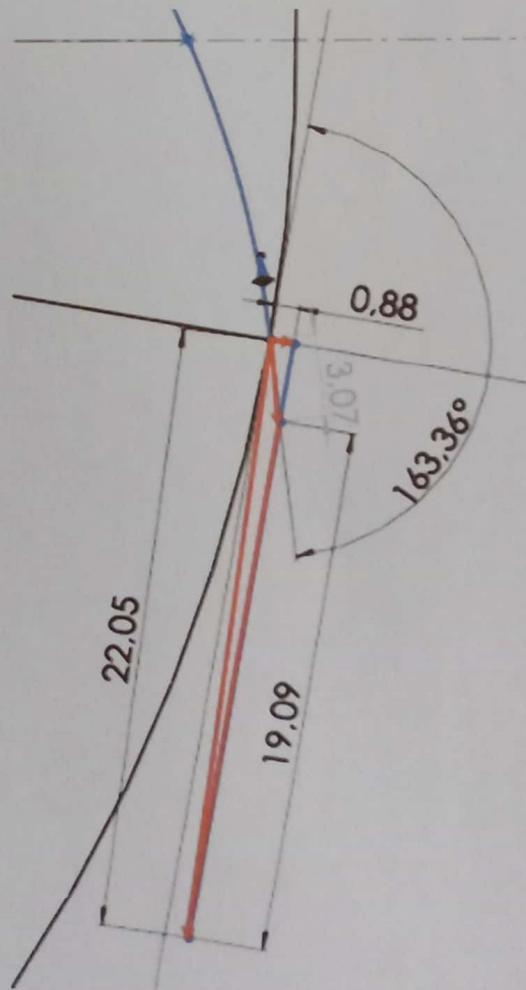


Gambar 4.7 Segitiga kecepatan Impeller pompa

Dari gambar diatas dapat digambarkan segitiga kecepatan Impeller pompa hasil rekonstruksi.



Gambar 4.8 segitiga kecepatan sudu masuk



Gambar 4.9 Segitiga kecepatan sudu keluar

Dari diagram kecepatan yang di tunjukkan pada gambar 4.7 dan gambar 4.8 dapat di data-data seperti terlihat pada tabel 4.2:

Tabel 4.2 Data yang di dapat dari segitiga kecepatan sudu masuk dan sudu keluar untuk kapasitas 85 liter / meit

No	Data	Nilai
1	Kecepatan absolut sudu masuk (m/s)	8,80
2	Kecepatan absolut sudu keluar (m/s)	22,05
3	Kecepatan relatif sudu masuk (m/s)	2,99
4	Kecepatan relatif sudu keluar (m/s)	3,07

- **Head teoritis**

$$H_{th\infty} = \frac{c_2^2 - c_1^2}{2g} + \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g} + \frac{w_2^2 - w_1^2}{2g}$$

$$H_{th\infty} = \frac{22,05^2 - 8,80^2}{2 \times 9,81} + \frac{19,09^2 - 6,12^2}{2 \times 9,81} + \frac{3,07^2 - 2,99^2}{2 \times 9,81}$$

$$H_{th\infty} = \frac{408,76}{19,62} + \frac{326,97}{19,62} + \frac{0,48}{19,62}$$

$$H_{th\infty} = \frac{736,21}{19,62}$$

$$H_{th\infty} = 37,52m$$

$$C_p = \text{Pfleiderer's Correction } C_p = \psi \frac{r_2^2}{z M_{st}}$$

Karena $D_2/D_1 > 2$ maka:

Koefisien yang tergantung tipe Impeller (ψ)

$$\psi = (0,55 - 0,68) + 0,6 \sin \beta_2$$

$$\psi = 0,55 + 0,6 \sin \beta_2$$

$$\psi = 0,55 + 0,6 \sin 163,36^\circ$$

$$\psi = 0,55 + 0,6 \times 0,28$$

$$\psi = 0,718$$

Momen static (M_{st})

$$M_{st} = \frac{1}{2}(r_2^2 - r_1^2)$$

$$M_{st} = \frac{1}{2}(64^2 - 20,5^2)$$

$$M_{st} = \frac{1}{2}(4096 - 420,25)$$

$$M_{st} = 1837,875 \text{ mm}^2$$

Pfleiderer' s Correction (C_p)

$$C_p = \psi \frac{r_2^2}{z M_{st}}$$

$$C_p = 0,718 \frac{64^2}{6 \times 1837,875}$$

$$C_p = 0,718 \frac{4096}{6 \times 1837,875}$$

$$C_p = 0,27$$

$$H_{th\infty} = H_{th}(1 + C_p)$$

$$37,52m = H_{th}(1 + 0,27)$$

$$37,52m = H_{th}(1,27)$$

$$H_{th} = \frac{37,52m}{1,27}$$

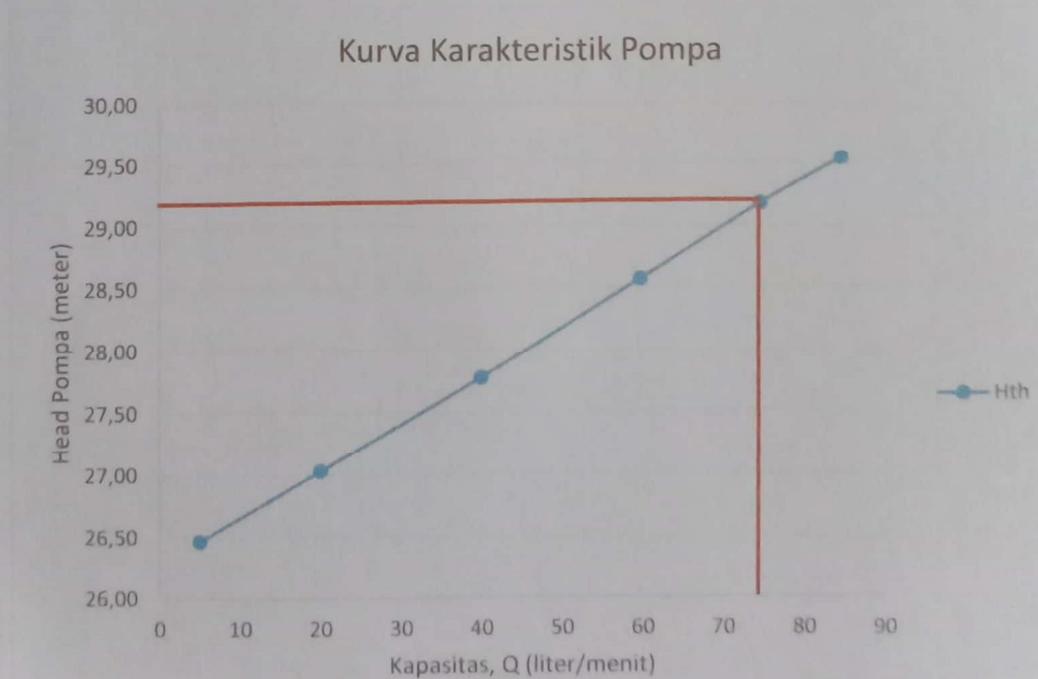
$$H_{th} = 29,54 \text{ meter}$$

Maka untuk kapasitas pompa (Q) = 85 liter / menit; head teoritisnya adalah **29,54 meter**.

Tabel 4.3 Validasi Impeler pompa $\beta_2 > 90^\circ$

NO	Q	rpm	β_1	u_1	cm_1	c_1	w_1	β_2	u_2	cm_2	c_2	w_2	H_{th}
1	85	2850	148,11	6,12	1,58	8,80	2,99	163,36	19,09	0,88	22,05	3,07	29,54
2	75	2850	148,11	6,12	1,39	8,47	2,63	163,36	19,09	0,78	21,71	2,72	29,18
3	60	2850	148,11	6,12	1,11	7,98	2,10	163,36	19,09	0,62	21,17	2,17	28,56
4	40	2850	148,11	6,12	0,74	7,35	1,40	163,36	19,09	0,41	20,47	1,43	27,77
5	20	2850	148,11	6,12	0,37	6,72	0,70	163,36	19,09	0,21	19,79	0,73	27,03
6	5	2850	148,11	6,12	0,09	6,2	0,09	163,36	19,09	0,05	19,26	0,17	26,47

Dari tabel tersebut maka di dapat Kurva karakteristik pompa untuk impeller pompa dengan sudut $\beta_2 > 90^\circ$ seperti terlihat pada gambar 4.8.



Gambar 4.10 kurva karakteristik pompa $\beta_2 > 90^\circ$

4.5. Pembahasan

Teknik rekonstruksi 3D menggunakan metode penuangan karet silikon untuk membantu mendapatkan data teknis impeller khususnya untuk bagian yang tidak terlihat, dalam hal ini untuk mengetahui bentuk profil sudu impeller pompa dan dimensi dari sudu impeller dapat digunakan.

Dengan pencampuran yang tepat antara karet silikon dan hardener tidak mengakibatkan pembekuan dini, sehingga didapatkan hasil cetakan yang baik. Pengujian tarik karet silikon dilakukan untuk mengetahui apakah ketika karet hasil cetakannya ditarik akan mudah putus atau terjadi perubahan bentuk. Hasil dari pengujian tarik didapatkan karet silikon tidak mengalami putus dan perubahan bentuk. Pada spesimen yang lain terjadi kegagalan karena pada hasil cetakannya terdapat rongga akibat dari udara yang terperangkap pada saat proses pencetakan.

Hasil cetakan menunjukkan bahwa profil dari sudu impeller berbentuk membelok ke depan dengan sudut keluar $\beta_2 > 90^\circ$, sehingga didapati nilai head pompa akan semakin naik sesuai dengan bertambahnya kapasitas seperti terlihat dalam gambar 4.8 kurva karakteristik pompa hasil validasi.

Dari hasil validasi didapatkan bahwa impeller pompa tersebut di gunakan untuk pompa air dengan head 29,18 meter untuk kapasitas 75 liter per menit dan putaran motor 2850 rpm, impeller ini adat di gunakan untuk pompa air merk SUNDAB dp 255 s. Keakurasian dari hasil rekonstruksi 3D menggunakan karet silikon adalah sebesar 97%.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Teknik rekonstruksi merupakan bagian dari siklus kehidupan produk, dengan adanya teknik rekonstruksi akan jauh lebih mudah mengembangkan produk yang tidak memiliki atau kehilangan data teknik.

Teknik rekonstruksi 3D menggunakan teknik pencetakan menggunakan karet silikon dapat digunakan khususnya untuk bagian yang tidak terlihat, sehingga dengan teknik ini tidak merusak impeler yang akan direkonstruksi.

Pada penelitian teknik rekonstruksi 3D impeler menggunakan menggunakan karet silikon dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Katalis atau hardener yang digunakan untuk mencampur karet silikon adalah 4% sehingga waktu pengeringan yang dibutuhkan pada proses pencetakan ± 30 menit.
2. Viskositas karet silikon setelah diuji menggunakan metode bola jatuh dadah sebesar $924,28 \text{ kg/m.s}$.
3. Karet silikon di uji tarik dengan kerenggangan sampai 3 kali lipat, tidak mengalami perubahan bentuk, dan tidak putus.
4. Hasil rekonstruksi 3D impeler didapatkan data sebagai berikut : $D_1 = 41 \text{ mm}$, $D_2 = 128 \text{ mm}$, $z = 6$, $b_1 = 7 \text{ mm}$, $b_2 = 4 \text{ mm}$, $z = 6$ buah, $\beta_1 = 148,11^\circ$ dan , $\beta_2 = 163,36^\circ$.
5. Pada validasi teknik rekonstruksi 3D impeler didapat bahwa dengan kapasitas 75 liter/ menit di dapatkan head pompa 29,18 meter hasil

keakurasian menggunakan teknik rekonstruksi menggunakan karet silikon adalah sebesar 97%.

6. Metode menggunakan karet silikon ini dapat di gunakan untuk proses rekonstruksi 3D. Metode ini memiliki banyak kelebihan diantaranya, biaya untuk merekonstruksi 3D sangat terjangkau, dapat dilakukan dilapangan tempat produk tersebut berada (*portabel*) dan hasilnya akurat.

5.2. Saran

Berdasarkan dari kesimpulan diatas maka dapat disarankan beberapa hal yaitu:

1. Metode rekonstruksi menggunakan karet silikon RTV masih terus dapat di kembangkan sehingga dapat digunakan untuk merekonstruksi komponen industri.
2. Untuk Institut Sains dan Teknologi Nasional diharapkan memiliki alat uji yang tidak hanya dapat digunakan dalam skala praktek, namun dapat di gunakan untuk skala workshop.
3. Untuk alat Uji tarik diharapkan dapat digunakan untuk menguji dari bahan karet.
4. Adanya regulasi aturan pemerintah tentang di perbolehkannya melakukan rekonstruksi 3D, karena dengan teknik rekonstruksi dapat memudahkan mengembangkan suatu produk yang sudah kehilangan data teknik sehingga kegiatan rekonstruksi ini tidak termasuk dalam kategori plagiat.

DAFTAR PUSTAKA

A. Kumara, P.K. Jain, P.M Pathak, *Reverse Engineering in Product manufacturing: An Overview*. DAAMInternational Scientific Book. 2013

Brandrup.J, Immergut.EH, Grulke E.A., *Polymer Handbook* edisi 4. 1998

Church H. Austin., *.Pompa dan Blower Sentrifugal*. penerbit Erlangga, 1993

Dietzel Fritz., *Turbin Pompa dan Kompresor* .penerbit Erlangga, 1993

Grellmann Wolfgang, Seider Sabine , *Polymer Testing*. 2007.

Lazarkiewicz Stephen, Troskolanski T.Adam.*Impeller Pumps*. edisi I., 1965

Peraturan Presiden nomor 4 tahun 2016 tentang “Percepatan Pembangunan Infrastruktur Ketenagalistrikan”

Peraturan Menteri Perindustrian Republik Indonesia Nomor : 16/MIND/PER/2/2012 tentang ketentuan dan tata cara perhitungan Tingkat komponen Dalam Negeri

Sularso, *Pompa dan Kompressor* .penerbit Pradnya Paramita, , 2000

Telea. C.Alexandru. *Reverse EngineeringRecent Advances and Aplications*. 2012.

www.shinetsusilicone.global.com/catalog/pdf/mold_rtv_e.pdf