

TUGAS AKHIR

ANALISA NUMERIK SUDUT SUDU MASUK DAN KELUAR TURBIN PELTON TERHADAP EFISIENSI TURBIN

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

AHMAD SAPUTRA SIREGAR
1407230161



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2019**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

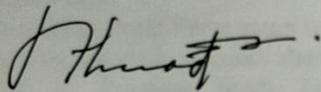
Nama : Ahmad Saputra Siregar
NPM : 1407230161
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Analisa Numerik Sudut Sudu Masuk dan Keluar Turbin Pelton
Terhadap Efisiensi Turbin
Bidang ilmu : Konversi Energi

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 11 Maret 2019

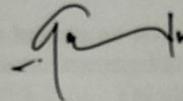
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



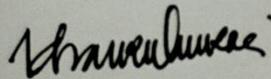
Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T

Dosen Penguji II



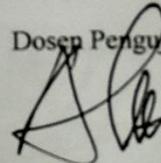
Chandra A Siregar, S.T., M.T

Dosen Penguji III



Khairul Umurani, S.T., M.T

Dosen Penguji IV



Sudirman Lubis, S.T., M.T

Program Studi Teknik Mesin
Ketua,



Ahmad Marabdi, S.T., M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Ahmad Saputra Siregar
Tempat /Tanggal Lahir : Medan / 24 April 1995
NPM : 1407230161
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“: Analisa Numerik Sudut Sudu Masuk dan Keluar Turbin Pelton Terhadap Efisiensi Turbin”,

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil/Mesin/Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 11 Maret 2019



Saya yang menyatakan,

Ahmad Saputra Siregar

ABSTRAK

Indonesia sebagai Negara yang terletak digaris khatulistiwa,keberadaan wilayah Indonesia yang begitu beragamnya sumber energi alternatif yang dapat dimanfaatkan. Energi di Indonesia saat ini masih didominasi oleh energi yang berbasis bahan bakar fosil, yang merupakan sumber energi tak terbarukan. Turbin air merupakan salah satu jenis energi yang dapat dimanfaatkan. Turbin pelton adalah jenis turbin air yang digunakan pada tinggi air jatuh yang besar. Pada penelitian ini debit air yang masuk dan keluar nosel konstan dengan nilai 0.017 m/s. Tujuan penelitian ini mendesain sudut sudu turbin pelton dengan menggunakan *software SolidWorks* dan untuk proses pengambilan data dilakukan dengan variasi sudut sudu masuk dan keluar turbin pelton sebanyak tiga kali terhadap efisiensi turbin. Dari simulasi yang dilakukan menggunakan kecepatan aliran 10 m/s dan mendapatkan hasil nilai torsi 15.4756 Nm pada sudut 29^0 , nilai torsi 10.4544 Nm pada sudut 30^0 , nilai torsi 10.1446 Nm pada sudut 31^0 . Analisa dari data simulasi memperoleh nilai efisiensi 92.24% pada sudut 29^0 , nilai efisiensi 61.67% pada sudut 30^0 , nilai efisiensi 59.22% pada sudut 31^0 . Dengan demikian semakin kecil sudut sudu turbin maka semakin besar nilai efisiensi yang diperoleh.

Kata Kunci: Sudut sudu, Turbin Pelton,Efisiensi,Simulasi.

ABSTRACT

Indonesia as a country that is located in the equator, the existence of the Indonesia territory which is so diverse in its alternative energy sources that can be utilized. Energy in Indonesia is currently still dominated by energy based fossil fuel, which are non renewable energy source. Water turbine is one type of energy that can be utilized. Pelton turbines is a type of water turbine that is used at large falling water levels. In this study the water flow in and out of the nozzle is constant with a value of 0.017 m/s. Pelton turbines using solidWorks and for the data collection process carried out with variations of the blade angle in and out of the pelton turbine three times with the efficiency of the turbine. From the simulation carried out using a flow speed of 10 m/s and getting the result of torque 15.4756 Nm at an angle of 29°, value torque 10.4544 Nm at an angle of 30°, value torque 10.1446 Nm at an angle 31°. Analysis of simulation data obtained an efficiency value of 92.24% at an angle of 29°, an efficiency value of 61.67% at an angle of 30°, an efficiency value of 59.22% at an angle of 31°. Thus the smaller the angle of the turbine blade the greater the efficiency value.

Keywords: bucket angle, pelton turbine, efficiency, simulation.

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisa Numerik Sudut Sudu Masuk dan Keluar Turbin Pelton Terhadap Efisiensi Turbin” sebagai syarat untuk meraih gelar Akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu Saya menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Khairul Umurani, S.T., M.T, selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Sarjana ini.
2. Bapak Sudirman Lubis, S.T., M.T selaku Dosen Pimbimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Sarjana ini.
3. Bapak Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T selaku Dosen Pembanding I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Chandra A Siregar, S.T., M.T yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Sekretaris Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknikmesinan kepada penulis.
7. Orang tua Saya , yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.

8. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Sahabat-sahabat Saya: M. Hidayat, Abdullah Afif Al karim, Kevin Ghifari, M. Fachrul Rozy, Alm. T. Ferdi Maulana , Zulkifli , Agus Sulistiadi ,Hendri Fauzi dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi Teknik Mesin .

Medan, 11 Maret 2019

Ahmad Saputra Siregar

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan masalah	2
1.3. Ruang lingkup	2
1.4. Tujuan	2
1.5. Manfaat	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Defenisi Turbin Pelton	4
2.2. Klasifikasi Turbin Air	5
2.3. Komponen Utama Turbin Pelton	5
2.4. Prinsip Kerja Turbin Pelton	9
2.4.1. Aliran Zat Cair dan Bentuknya	9
2.4.2. Beberapa Bentuk Persamaan <i>Bernoulli</i>	9
2.5. Teori Dasar Aliran (Hidrodinamik)	11
2.6. Tipe-tipe Aliran	12
2.7. Bilangan <i>Reynold</i>	13
2.8. Segitiga Kecepatan	14
2.9. Efisiensi Turbin	15
2.10. <i>SolidWorks</i>	15
2.11. Simulasi dengan Metode Numerik	16
2.11.1. <i>Pre-Processing</i>	19
2.11.2. <i>Processing</i>	19
2.11.3. <i>Prost-Processing</i>	20
2.12. Persamaan Differensial Parsial	20
2.13. Hukum Konservasi	22
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	26
3.1 Tempat dan Waktu	26
3.1.1. Tempat	26
3.1.2. Waktu	26
3.2 Alat Dan Bahan Penelitian	27
3.2.1. Alat	27
3.3 Diagram Alir	28

3.4	Perancangan Model Dengan <i>Software SolidWorks</i> 2014	29
3.5	Simulasi Aliran	33
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1	Simulasi Torsi	40
4.1.1	Hasil sudu turbin terhadap efisiensi pada sudut 29^0	40
	4.1.1.1 Menghitung hasil simulasi turbin pada sudut 29^0	40
4.1.2	Hasil sudu turbin terhadap efisiensi pada sudut 30^0	41
	4.1.2.1 Menghitung hasil simulasi turbin pada sudut 30^0	41
4.1.3	Hasil sudu turbin terhadap efisiensi pada sudut 31^0	42
	4.1.3.1 Menghitung hasil simulasi turbin pada sudut 31^0	42
4.2	Pembahasan	44
	4.2.1 Simulasi <i>software solidworks</i> pada sudut sudu 29^0	44
	4.2.2 Simulasi <i>software solidworks</i> pada sudut sudu 30^0	45
	4.2.3 Simulasi <i>software solidworks</i> pada sudut sudu 31^0	46
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	47
5.1.	Kesimpulan	47
5.2.	Saran	47
	DAFTAR PUSTAKA	48
	LAMPIRAN	
	LEMBAR ASISTENSI	
	DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1: Klasifikasi Orde dan Linearitas Persamaan Diferensial Parsial	21
Tabel 2.2: Klasifikasi Persamaan Diferensial Parsial Orde Dua – Linear	22
Tabel 3.1: Waktu pelaksanaan penelitian	26
Tabel 4.1: Hasil Simulasi	40
Tabel 4.2: Hasil analisa sudut sudu terhadap efisiensi turbin	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 : Turbin pelton	4
Gambar 2.2 : Runner turbin pelton	6
Gambar 2.3 : Sudu (<i>bucket</i>)	7
Gambar 2.4 : <i>Nozzel</i>	8
Gambar 2.5 : Rumah turbin	9
Gambar 2.6 : Bentuk energy pada aliran air	9
Gambar 2.7 : Pusat tenaga air tekanan tinggi	11
Gambar 2.8 : Penampang <i>nozzle</i> dan <i>bucket</i>	14
Gambar 2.9 : Segitiga kecepatan	14
Gambar 2.10 : <i>Templates solidworks</i>	16
Gambar 2.11 : <i>Flowchart proses fluent</i>	19
Gambar 2.12 : Bentuk umum persamaan konservasi untuk kuantitas skalar	23
Gambar 2.13 : Konservasi pada elemen <i>diskret</i>	25
Gambar 3.1 : Komputer Laboratorium Komputer Fakultas Teknik	27
Gambar 3.2 : Perangkat Lunak Solidworks 2014	27
Gambar 3.3 : Diagram alir	28
Gambar 3.4 : Tampilan awal <i>Solidworks</i> 2014	29
Gambar.3.5 : <i>Top plane</i>	29
Gambar 3.6 : Bagian atas sudu pada <i>Sketch</i>	30
Gambar 3.7 : Bagian bawah sudu pada <i>Sketch</i>	30
Gambar 3.8 : Bagian utama <i>bucket</i>	30
Gambar 3.9 : Kaki sudu / <i>bucket</i> turbin	31
Gambar 3.10 : <i>Bost</i> pada sudu / <i>bucket</i> turbin	31
Gambar 3.11 : Desain sudu/ <i>bucket</i> turbin dengan sudut 29^0	32
Gambar 3.12 : Desain sudu/ <i>bucket</i> turbin dengan sudut 30^0	32
Gambar 3.13 : Desain sudu/ <i>bucket</i> turbin dengan sudut 31^0	33
Gambar 3.14 : <i>Project name</i>	33
Gambar 3.15 : <i>Unit system</i>	34
Gambar 3.16 : <i>Analysis type</i>	34
Gambar 3.17 : <i>Default fluid</i>	35
Gambar 3.18 : <i>Wall condition</i>	35
Gambar 3.19 : <i>Initial and conditions</i>	35
Gambar 3.20 : <i>Result and geometry resolution</i>	36
Gambar 3.21 : <i>Creat lid</i>	36
Gambar 3.22 : <i>Computational domain</i>	37
Gambar 3.23 : <i>Goal</i>	37
Gambar 3.24 : Proses <i>running</i>	37
Gambar 3.25 : <i>Finish run</i>	38
Gambar 3.26 : Simulasi	38
Gambar 3.27 : Simulasi pada <i>torque(Y)</i> pengaruh <i>pressure</i>	39
Gambar 4.1 : Grafik Sudut sudu terhadap Efisiensi Turbin	43
Gambar 4.2 : Visualisasi <i>pressure</i> pada sudut sudu 29^0	44
Gambar 4.3 : Nilai <i>Torque</i> pada sudut sudu 29^0	44
Gambar 4.4 : Visualisasi <i>pressure</i> pada sudut sudu 30^0	45
Gambar 4.5 : Nilai <i>Torque</i> pada sudut sudu 30^0	45
Gambar 4.6 : Visualisasi <i>pressure</i> pada sudut sudu 31^0	46
Gambar 4.7 : Nilai <i>Torque</i> pada sudut sudu 31^0	46

DAFTAR NOTASI

η_t	= Efisiensi turbin (%)
z	= Jumlah sudu
b	= Lebar mangkok (m)
h	= Tinggi mangkok (m)
α	= Lebar bukaan mangkok ($^\circ$)
t	= Kedalaman mangkok (m)
d	= diameter (m)
Q	= Debit aliran air (m^3/s)
A	= Luas penampang (m^2)
V	= Volume air (m^3/s)
t	= Waktu (<i>second</i>)
v	= Kecepatan aliran (m/s)
n	= Putaran turbin (rpm)
π	= Lingkaran konstan (phi)
E	= Energi
m	= massa (kg)
g	= percepatan gravitasi (m/s^2)
ω	= Kecepatan sudut (rad/s)
Ek	= Energi kinetik
W	= Spesifik energy (Nm/Kg)
H	= Tinggi jatuhan air (m)
ρ	= Massa jenis air (kg/m^3)
P	= Tekanan (Pa)
T	= Torsi (Nm)
\dot{m}	= laju aliran massa (kg/s)
Re	= Bilangan Reynolds
PT	= Daya turbin (Watt)

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia sebagai Negara yang terletak digaris khatulistiwa, keberadaan wilayah Indonesia yang begitu beragamnya sumber energi alternatif yang dapat dimanfaatkan, merupakan tantangan bagi kita untuk melakukan penelitian/kajian agar memperoleh sumber energi alternatif yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi terus meningkat.(Muhammad, 2017).

Energi mempunyai peranan penting dalam pencapaian tujuan sosial, ekonomi dan lingkungan. Energi di Indonesia saat ini masih didominasi oleh energi yang berbasis bahan bakar fosil, yang merupakan sumber energi tak terbarukan. Pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) merupakan salah satu solusi krisis energi yang terjadi saat ini. Jenis turbin yang umum digunakan dalam PLTMH adalah Turbin Pelton. (Mafruddin et al, 2017).

Turbin Pelton merupakan salah satu jenis turbin air yang cocok untuk daerah yang mempunyai tinggi jatuh (*head*) yang tinggi(Ali et al,2017). Turbin pelton adalah jenis turbin air yang digunakan pada tinggi air jatuh yang besar. Pada prinsipnya untuk menghasilkan putaran, turbin pelton menggunakan satu atau beberapa buah nozel dengan diameter tertentu yang berfungsi sebagai penggerak *runner* yang ditembakkan tepat pada sudu-sudu turbin.(kiki, 2017)

Turbin *Pelton* merupakan turbin *impuls* yang umum digunakan karena konstruksinya yang sederhana,murah, serta mudah perawatannya(Tabah, 2017). Prinsip turbin pelton adalah memanfaatkan daya fluida dari air untuk menghasilkan daya poros. Pada Turbin Pelton energi potensial air berubah menjadi energi kinetik melalui *nozzle* disemprotkan ke sudu (*bucket*) untuk dirubah menjadi energi mekanik yang digunakan untuk memutar poros alternator yang berfungsi sebagai sumber utama untuk menghasilkan arus listrik (Sri et al, 2013).

Dengan referensi yang didapat mengenai perkembangan Turbin Pelton penulis tertarik mengajukan dengan judul “ANALISA NUMERIK SUDUT SUDU MASUK DAN KELUAR TURBIN PELTON TERHADAP EFISIENSI TURBIN” diharapkan agar para pembaca, khususnya yang terlibat dalam penelitian turbin dapat mengetahui sudut sudu pada efisiensi turbin.

1.2.RumusanMasalah

Berdasarkan latar belakang masalah, perumusan masalah pada penelitian ini adalah

1. Bagaimana Desain Sudu Turbin menggunakan *software SolidWorks* ?
2. Menganalisa Efisiensi Turbin pelton ?

1.3.Ruang Lingkup

Karena luasnya permasalahan, penulis merasa perlu untuk membatasi masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini, mengingat keterbatasan waktu, tempat, kemampuan dan pengalaman.

Adapun hal-hal yang akan dibatasi dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Desain Sudu Turbin dengan menggunakan *software SolidWorks*
2. Simulasi dilakukan dengan tiga variasi sudut sudu masuk dan keluar turbin yaitu sudut $29^{\circ}, 30^{\circ}, 31^{\circ}$.
3. Simulasi dilakukan dengan kecepatan aliran 10 m/s.
4. Asumsi menggunakan variasi putaran turbin 484 rpm, 479 rpm, 474 rpm dengan debit air $0.017 \text{ m}^3/\text{s}$.

1.4.Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penulisan dari Penelitian ini Adalah :

1. Untuk mengetahui nilai efisiensi turbin dengan sudut $29^{\circ}, 30^{\circ}, 31^{\circ}$.
2. Untuk mengetahui sudut sudu masuk dan keluar turbin yg lebih efektif.

1.5.Manfaat

Secara umum penelitian ini diharapkan bermanfaat dalam pengembangan energi terbarukan pengembangan turbin pelton yang mampu beroperasi secara

efisiensi pada sudut sudu masuk dan keluar turbin. Diharapkan dapat memberikan kontribusi yang positif terhadap pengetahuan mahasiswa yang melakukan percobaan. Memberikan informasi untuk digunakan sebagai pengembangan pengetahuan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Defenisi Turbin Pelton

Turbin pelton termasuk dalam kelompok mesin-mesin fluida yaitu, mesin-mesin yang berfungsi untuk merubah energi fluida (energi potensial dan energi kinetis air) menjadi energi listrik. Kata "*turbine*" ditemukan oleh seorang insinyur Perancis yang bernama Claude Bourdin pada awal abad 19, yang diambil dari terjemahan bahasa Latin dari kata "*whirling*" (putaran). Turbin dapat memanfaatkan pusaran air dengan putaran lebih cepat dan dapat memanfaatkan *head* yang lebih tinggi. (Untuk selanjutnya dikembangkan turbin *impulse* yang tidak membutuhkan pusaran air). Turbin Pelton sendiri pertama kali ditemukan oleh insinyur Amerika yaitu Lester A. Pelton pada tahun 1880. Turbin pelton dioperasikan pada *head* sampai 1800 m, turbin jenis ini relatif membutuhkan jumlah air yang lebih sedikit dan biasanya posisi porosnya mendatar horizontal(kiki, 2017).



Gambar 2.1. Turbin Pelton

Turbin pelton merupakan turbin *impuls* atau turbin aksi atau disebut juga dengan turbin tekanan sama karena aliran air yang keluar dari *nozzle* tekanannya sama dengan tekanan atmosfer disekitarnya. Turbin Pelton terdiri dari satu set sudu jalan yang diputar oleh pancaran air yang disemprotkan dari satu atau lebih

alat yang disebut *nozzle*. Turbin Pelton adalah salah satu dari jenis turbin air yang paling efisien. Turbin Pelton adalah turbin yang cocok digunakan untuk head tinggi.

2.2 Klasifikasi Turbin Air

Turbin air berdasarkan perubahan momentumnya atau tekanannya dikelompokkan kedalam dua bagian yaitu turbin tekanan sama (aksi) dan turbin tekanan lebih (reaksi)

- a. Turbin tekanan sama (aksi) ataupun turbin impuls adalah sebuah turbin dimana tekanan air yang keluar atau terpancar melalui *nozzle* memiliki tekanan yang sama dengan tekanan atmosfer disekitarnya. Sehingga energi tempat dan energi tekanannya ketika masuk ke sudu jalan turbin dirubah menjadi energi kecepatan. Contohnya turbin pelton dan turbin *crossflow*
- b. Turbin tekanan lebih (reaksi) adalah sebuah turbin dimana tekanan air sebelum masuk roda turbin lebih besar dari pada tekanan air saat keluar roda turbin. Secara umum dapat dikatakan bahwa aliran air yang masuk ke roda turbin mempunyai energi penuh, kemudian energi ini dipakai sebagian untuk menggerakkan roda turbin dan sebagian lagi dipergunakan untuk mengeluarkan air kesaluran pembuangan. Jenis turbin reaksi yang sering digunakan antara lain, turbin francis, turbin propeler atau kaplan.

2.3 Komponen Utama Turbin Pelton

Sebuah turbin pelton lengkap yang digunakan sebagai pembangkit listrik tenaga air memiliki komponen utama dan komponen tambahan yang mendukung fungsi kerja turbin pelton. Pada dasarnya turbin pelton terdiri atas *runner*, *nozzle* dan rumah turbin.

1. *Runner*

Runnerturbin Pelton terdiri atas cakera dan beberapa sudu yang terpasang disekelilingnya. Sudu dipasang dengan pengunci baut ataupun dapat di las senyawa dengan cakera. Cakera dipasang ke poros dengan sambungan pasak atau dengan pengunci baut. Besarnya head jatuh air yang dirancang menentukan ukuran besarnya diameter *runner* yang digunakan, semakin tinggi ataupun besar *head*

jatuh air maka ukuran runner akan lebih baik jika semakin besar. Pemilihan diameter *runner* tergantung kepada kecepatan spesifik yang telah dirancang untuk turbin. Untuk turbin dengan pemilihan kecepatan putar yang tinggi maka akan di dapat ukuran roda turbin yang kecil, momen yang kecil, dan poros yang kecil. (Fritz Dietzel, 1988 : 30)



Gambar 2.2. *Runner* Turbin Pelton

Kecepatan keliling *runner* suatu turbin dapat di hitung menggunakan rumus

$$U = \eta \cdot \frac{Vn}{2} \quad (2.1)$$

$$U = \frac{Vn}{2} \text{ untuk } \eta T = 1$$

Untuk mencari diameter luar *runner* digunakan persamaan

$$D_o = D + 1,2h \quad (2.2)$$

Dimana D adalah diameter lingkaran tusuk

$$D = \frac{60 \times U \times \eta}{3,14 \times rpm} \quad (2.3)$$

2. Sudu (*Bucket*)

Sudu turbin pelton berbentuk seperti mangkuk dengan bagian dalam yang melengkung ke arah dalam dan bagian atasnya berbentuk runcing. Pemanfaatan tinggi air jatuh (*head*) memiliki hubungan yang erat dengan bentuk sudu turbin. Untuk *head* jatuh air yang tinggi kelengkungan sudu akan lebih tajam semakin

tinggi *head* jatuh air bentuk sudu akan semakin melengkung kedalam. Untuk tinggi air jatuh yang rendah kelengkungan sudu tidak terlalu melengkung. Pembuatan sudu dari belahan pipa atau konstruksi las dengan bahan plat baja sama sekali tidak dianjurkan karena kekokohnya kurang dan efisiensinya rendah. Sudu bisa dibuat dari beragam bahan. (Fritz Dietzel, 1988 : 30)



Gambar 2.3. Sudu (*bucket*)

Untuk menentukan jumlah *bucket* optimal digunakan persamaan berikut.

$$Z = \sqrt{\pi \cdot d / 2 \cdot D} \quad (2.4)$$

3. *Nozzle*

Nozzle merupakan bagian dari turbin, didalam *nozzle* tekanan air dirubah menjadi kecepatan. *Nozzel* terdiri atas bagian selubung serupa hidung yang dipasang pada belokan pipa, dan jarum *nozzle* yang bisa digerakkan didalam belokan pipa. Kerucut jarum dan selubung, yang cepat aus, dibuat dari bahan bermutu tinggi serta mudah untuk diganti. Diameter *nozzle* suatu turbin juga disesuaikan dengan tinggi jatuh air (*head*) dan kapasitas air yang masuk , untuk turbin dengan tinggi jatuh yang besar dan daya yang besar sistem penyemprotan airnya dibagi lewat beberapa *nozzle*. (Fritz Dietzel, 1988 : 28)



Gambar 2.4. *Nozzle*

Untuk menentukan diameter pancaran air atau *nozzle* maksimum digunakan persamaan:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot V}} \quad (2.5)$$

Atau dari persamaan kontinuitas

$$Q = A \cdot V \quad (2.6)$$

4. Rumah Turbin

Rumah turbin pelton berfungsi sebagai tempat pemasangan *nozzle* dan sekaligus sebagai pelindung turbin terhadap aktivitas kimia dan fisik di sekitarnya, suatu sistem turbin yang dibangun di daerah pegunungan dengan tanpa menggunakan rumah turbin cenderung lebih mudah mengalami korosi pada bagian poros dan bearing suatu turbin, intensitas cahaya matahari mempercepat laju reaksi oksidasi pada bagian-bagian turbin yang berbahan besi ataupun baja. Hal ini akan memperpendek usia pemasangan suatu turbin.



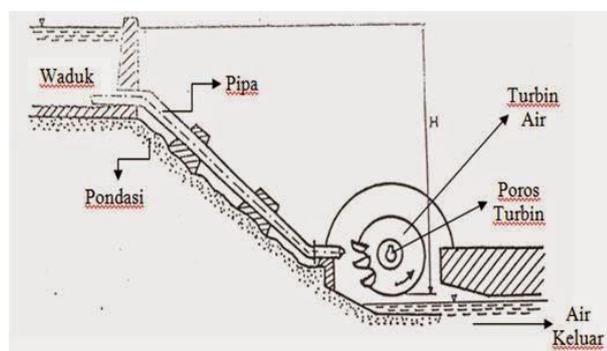
Gambar 2.5. Rumah Turbin

2.4 Prinsip Kerja Turbin Pelton

Sebuah turbin pelton memenuhi prinsip dasar kaidah energi yang menyatakan bahwa suatu bentuk energi dapat diubah menjadi bentuk energi yang lain. Arus air yang mengalir mengandung energi dan energi tersebut dapat diubah bentuknya misalnya perubahan dari energi potensial (tekanan) kedalam energi kinetis (kecepatan), atau sebaliknya. Apabila arus air dalam alirannya dilewatkan melalui turbin air, maka energi yang ada dalam air akan diubah menjadi bentuk energi yang lain.

2.4.1 Aliran Zat Cair dan Bentuknya

Air pada suatu sandart ketinggian tertentu mempunyai bentuk energi sebagai berikut



Gambar 2.6. Bentuk energi pada aliran air

a. Energi tempat

Energi yang terkandung didalam suatu fluida berdasarkan ketinggian tertentu , energi ini pada setiapposisi berbeda menurut ketinggiannya

$$E = m \cdot g \cdot z \quad (2.7)$$

b. Energi tekanan

Energi tekanan suatu fluida yang mengalir melalui suatu penampang ditentukan sebagai berikut

$$\text{Energi tekanan} = \frac{m \cdot P}{\rho} \quad (2.8)$$

c. Energi kecepatan

Fluida yang mengalir juga memiliki energi kecepatan, fluida yang mengalir melalui penampang yang kecil akan memiliki energi kecepatan yang besar. Energi kecepatan dirumuskan sebagai berikut

$$Ek = m \frac{V^2}{2} \quad (2.9)$$

2.4.2 Beberapa Bentuk Persamaan *Bernoulli*

Pada suatu aliran air didalam pipa, jika diambil suatu selisih ketinggian z antara tinggi air atas dengan tinggi air bawah, maka menurut bernoulli besar energi aliran tersebut adalah:

$$W = m \cdot g \cdot z + m \cdot \frac{P}{\rho} + m \cdot \frac{V^2}{2} \quad (2.10)$$

Bila pada aliran tersebut diambil suatu jumlah air tiap 1kg untuk diperhitungkan, hal ini dinamakan “Spesifik energi” satuannya dalam Nm/Kg Sehingga didapat

$$W = g \cdot z + \frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} \quad (2.11)$$

Kemudian jika dibagi lagi dengan percepatan gravitasi g , akan didapat salah satu ruas dari persamaan *bernoulli* yang mempunyai arti ketinggian;

$$W = z + \frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (2.12)$$

Ketinggian adalah jarak kesuatu tempat dimana suatu benda yang jatuh dari tempat tersebut mempunyai kecepatan V . Pada setiap saat dan tiap posisi yang ditinjau dari suatu aliran di dalam pipa tanpa gesekan yang tidak bergerak akan

mempunyai jumlah energi ketinggian tempat, tekanan, dan kecepatan yang sama besarnya.

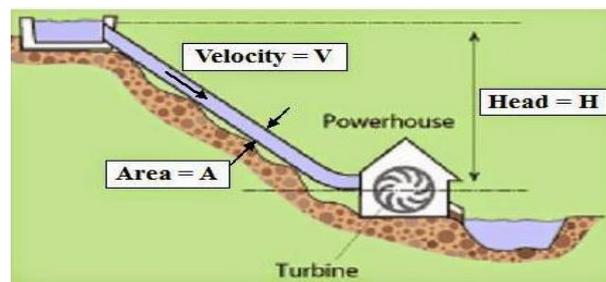
Persamaan bernoulli umumnya ditulis dalam bentuk :

$$H_1 + \frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{V^2}{2g} = H_s + \frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{V^2}{2g} \quad (2.13)$$

Artinya sebagai misal adalah aliran air di dalam pipa, pada posisi 1 air mempunyai tekanan tertentu dan luas penampang yang tertentu serta kecepatan V_1 , perubahan bentuk energi akan terjadi bila pada posisi kedua penampangnya diperkecil, dengan demikian kecepatan air akan naik menjadi V_2 dan tekanannya pada posisi kedua akan berkurang; hal ini akan terlihat dengan jelas apabila letak pipa tersebut mendatar.

2.5 Teori Dasar Aliran (Hidrodinamik)

Air yang mengalir mempunyai energi yang dapat digunakan untuk memutar roda turbin, karena itu pusat – pusat tenaga air dibangun di sungai-sungai dan di pegunungan-pegunungan. Pusat tenaga air tersebut dapat dibedakan dalam 2 golongan, yaitu pusat tenaga air tekanan tinggi dan pusat tenaga air tekanan rendah. Dari selisih tinggi permukaan air atas TPA dan permukaan air bawah TPB terdapat tinggi air jatuh H . Dengan menggunakan rumus – rumus mekanika fluida, daya turbin, luas penampang lintang saluran dan dimensi bagian – bagian turbin lainnya serta bentuk energi dari aliran air dapat ditentukan.



Gambar 2.7. Pusat tenaga air tekanan tinggi

Dari kapasitas air V dan tinggi air jatuh H dapat diperoleh daya yang dihasilkan turbin rumus:

$$P = V \cdot \rho \cdot g \cdot H \cdot \eta_t \quad (2.14)$$

Bila massa aliran m dan tinggi air jatuh telah diketahui, maka daya yang dihasilkan

$$P = m \cdot g \cdot H \cdot \eta_t \quad (2.15)$$

Apa bila momen puntir dari suatu poros sudah diketahui maka untuk daya turbin juga dapat dicari menggunakan rumus

$$T = 9,74 \times 10^5 \times \frac{Pd}{n} \quad (2.16)$$

Atau

$$T = F \cdot r \quad (2.17)$$

$$Pd = \frac{T/1000 \times 2 \cdot \pi \cdot n/60}{102} \quad (2.18)$$

Dimana Pada turbin air biasanya diketahui kapasitas air V , tetapi pada turbin uap dan gas diketahui jumlah massa fluida m yang dialirkan, diantara kedua satuan tersebut terdapat hubungan:

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (2.19)$$

dengan mengubah massa jenis menjadi volume spesifik, maka persamaan menjadi

$$V = m \times V \quad (2.20)$$

besarnya harga kerapatan dan volume spesifik cairan praktis tidak berubah, sedangkan untuk gas dan uap sangat tergantung kepada tekanan dan temperatur.

2.6 Tipe-tipe Aliran

1. Aliran laminar

Aliran laminar didefinisikan sebagai aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan-lapisan dengan satu lapisan meluncur secara lancar. Dalam aliran laminar ini viskositas berfungsi untuk meredam kecendrungan terjadinya gerakan relatif antara lapisan, sehingga aliran laminar memenuhi pasti hukum viskositas Newton yaitu

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (2.21)$$

Aliran laminar mempunyai nilai bilangan *reynold* kurang dari 2300.

2. Aliran transisi

Merupakan aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen. Ketika kecepatan aliran itu bertambah atau viskositasnya berkurang (dapat disebabkan temperatur meningkat) maka gangguan-gangguan akan terus teramati dan semakin membesar serta kuat yang akhirnya suatu keadaan peralihan tercapai. Keadaan peralihan ini tergantung pada viskositas fluida, kecepatan dan lain-lain yang menyangkut geometri aliran dimana nilai bilangan *reynoldnya* antara 2300 sampai dengan 4000.

3. Aliran Turbulen

Aliran turbulen didefinisikan sebagai aliran yang dimana pergerakan dari partikel-partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami percampuran serta putaran partikel antar lapisan, yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida yang lain dalam skala yang besar dimana nilai biangan *reynoldnya* lebih besari dari 4000. Dalam keadaan aliran turbulen maka turbulensi yang terjadi membangkitkan tegangan geser yang merata diseluruh fluida sehingga menghasilkan kerugian-kerugian aliran.

2.7 Bilangan *Reynold*

Bilangan *reynold* merupakan bilangan yang tidak berdimensi yang dapat membedakan suatu aliran dinamakan laminar, transisi atau turbulen. Dalam memperhatikan dua situasi aliran yang serupa secara geometrik, *reynold* reynolds menyimpulkan bahwa aliran-aliran tersebut akan serupa secara dinamik jika persamaan-persamaan diferensial umum yang menggambarkan aliran-aliran tersebut identik, bentuk persamaan tersebut sebagai berikut:

$$Re = \frac{vD\rho}{\mu} \quad (2.22)$$

Dengan

$$v = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.23)$$

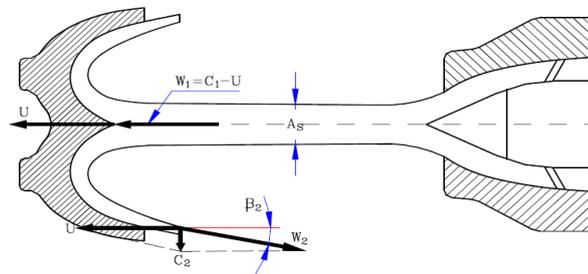
Maka disubsitusi *v* ke *Re*

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (2.24)$$

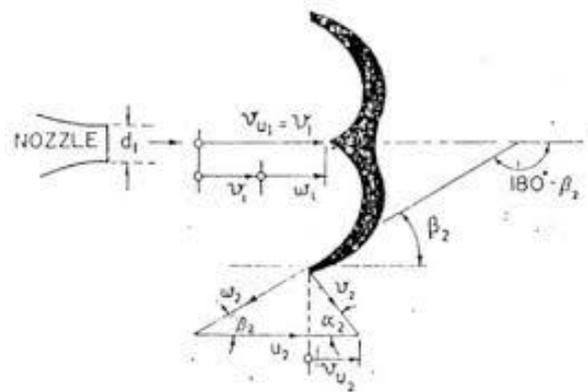
Pada fluida air suatu aliran diasumsikan laminar bila aliran tersebut mempunyai bilangan *reynold* (Re) kurang dari 2300, untuk aliran transisi berada pada bilangan *reynold* (Re) $2300 < 4000$. Sedangkan untuk aliran turbulen mempunyai bilangan *reynold* (Re) lebih dari 4000.

2.8 Segitiga Kecepatan

Bentuk konstruksi *nozzle* dan bucket pada umumnya adalah seperti gambar 2.8 dan 2.9 dimana pancaran air mengenai bucket tepat ditengahnya maka air akan berbelok di kedua arah *bucket* supaya ada kemungkinan membaliknya air bisa diarahkan tegak lurus, untuk itu penampang sudu bagian luar harus ditinjau



Gambar 2.8. Penampang *nozzle* dan *bucket*



Gambaar 2.9. Segitiga kecepatan

Persamaan Euler untuk turbin dinyatakan sebagai berikut:

$$H = (u_1 \cdot c_{u1} - u_2 \cdot c_{u2}) / g \cdot \eta_t \quad (2.25)$$

U_1 dan U_2 adalah kecepatan keliling turbin yang disebabkan oleh pancaran air sedangkan c_{u1} dan c_{u2} adalah kecepatan relatif pancaran air terhadap kecepatan keliling. Pada turbin pelton letak $c_{u2} = 0$ maka

$$H = (u_1 \cdot c_{u1}) / g \cdot \eta_t \quad (2.26)$$

Dan didapat

$$U_1 = \frac{\eta_t \cdot g \cdot H}{c_{u1}} \quad (2.27)$$

Karena $c = \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$ dan $c_{u1} = c_1 = c$ maka

$$U_1 = \frac{\eta_t \cdot g \cdot c^2}{c_1 \cdot 2g} \quad \text{maka} \quad U_1 = \frac{\eta_t \cdot c}{2} \quad (2.28)$$

$$\text{Untuk } \eta_t = 1 \text{ maka } U_1 = \frac{c}{2}$$

Untuk nilai segitiga kecepatan kita asumsikan ke nilai β_2 dengan melihat gambar 2.9 menghasilkan rumus

$$V_2 = U_2 - W_2 \cos \beta_2 \quad (2.29)$$

2.9 Efisiensi Turbin (η_t)

Efisiensi adalah ukuran tingkat penggunaan sumber daya dalam suatu proses, maka pada efisiensi turbin dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\eta_t = \frac{PT}{P_{air}} \times 100\% \quad (2.30)$$

Dimana daya air dapat dihitung dengan rumus :

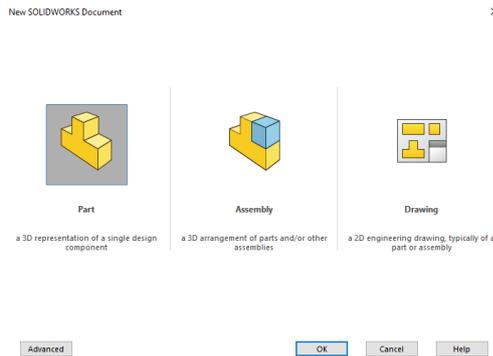
$$P_{air} = \rho \times g \times H \times Q \quad (2.31)$$

Daya turbin dapat dihitung dengan rumus :

$$PT = T \times \omega \quad (2.32)$$

2.10 SolidWorks

SolidWorks merupakan salah satu opsi diantara *design software* lainnya, *software* ini wajib dipelajari karena sangat sesuai dan prosesnya lebih cepat daripada menggunakan *autocad*. *Software SolidWorks* bisa diekspor ke *software* analisis semisal nya *Ansys*, *FLOVENT*



Gambar 2.10. *Templates SolidWorks*(Arifin, 2016)

Gambar diatas menunjukkan templates utama dari *SolidWorks* yaitu *Part*, *Assembly* dan *Drawing*. Definisi ke tiga *templates* adalah sebagai berikut:

a. *Part*

Part adalah sebuah *object* 3 dimensi yang terbentuk dari *feature*. *Part* bisa menjadi sebuah komponen pada suatu *assembly*, dan juga bisa digambarkan dalam bentukan 2 dimensi pada sebuah *drawing*.

b. *Assembly*

Assembly adalah sebuah dokumen dimana *parts*, *feature* dan *assembly* lain (*sub assembly*) dipasangkan/ disatukan bersama.

c. *Drawing*

Drawing adalah *template* yang digunakan untuk membuat gambar kerja 2 dimensi.

2.11 Simulasi dengan Metode Numerik

Simulasi adalah imitasi dari sistem atau proses yang terjadi dalam dunia nyata dalam serangkaian waktu. Simulasi memiliki beberapa keuntungan seperti, mampu menjawab pertanyaan “bagaimana jika”, memberikan hipotesa mengenai *bagaimana* dan *mengapa* suatu fenomena dapat terjadi, serta waktu fenomena yang sedang diamati dapat dipercepat maupun diperlambat. Simulasi dapat dilakukan dengan komputer. Simulasi komputer merupakan alat yang secara virtual mampu menginvestigasi perilaku sistem yang sedang dipelajari. Dengan mengubah beberapa variabel, simulasi ini dapat membuat prediksi.

Komputasi fluida dinamis (*Computational Fluid Dynamics*) merupakan sekumpulan metodologi yang memungkinkan komputer menyajikan simulasi

numerik dari aliran fluida. Seluruh sistem, ditransformasikan ke dalam bentuk virtual, dan dapat divisualisasikan melalui komputer.

Pada umumnya proses perhitungan untuk aliran fluida diselesaikan dengan menggunakan persamaan energi, momentum dan kontinuitas. Persamaan yang digunakan adalah persamaan *Navier-Stokes*, persamaan ini ditemukan oleh G.G. Stokes di Inggris dan M. Navier di Perancis sekitar tahun awal tahun 1800. Adapun persamaan-persamaannya menurut Versteeg (1995) adalah sebagai berikut:

a. Persamaan Kontinuitas

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (2.33)$$

b. Persamaan Momentum

Momentum ke arah sumbu X

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{\text{Re}_r} \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right) \quad (2.34)$$

Momentum ke arah sumbu Y

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{\text{Re}_r} \left(\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right) \quad (2.35)$$

Momen ke arah sumbu Z

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w^2)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{\text{Re}_r} \left(\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right) \quad (2.36)$$

c. Persamaan Energi

$$\begin{aligned} \frac{\partial(E_r)}{\partial t} + \frac{\partial(uE_r)}{\partial x} + \frac{\partial(vE_r)}{\partial y} + \frac{\partial(wE_r)}{\partial z} = & -\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} - \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} - \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} - \frac{1}{\text{Re}_r \text{Pr}_r} \\ & \left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_z}{\partial z} \right) + \frac{1}{\text{Re}_r} \left(\frac{\partial}{\partial x} (u\tau_{xx} + v\tau_{xy} + w\tau_{xz}) + \frac{\partial}{\partial y} (u\tau_{xy} + v\tau_{yy} + w\tau_{yz}) + \right. \\ & \left. \frac{\partial}{\partial z} (u\tau_{xz} + v\tau_{yz} + w\tau_{zz}) \right) \end{aligned} \quad (2.37)$$

Pada dasarnya *CFD* mengganti persamaan-persamaan diferensial parsial dari kontinuitas, momentum, dan energi dengan persamaan-persamaan aljabar. Persamaan yang asalnya kontinu (memiliki jumlah sel tak terhingga) dirubah menjadi model diskrit (jumlah sel terhingga).

Ada tiga teknik solusi numerik aliran yang berbeda, yaitu *finite difference*, *finite element* dan *finite volume methods*. Beberapa metode diskritisasi yang digunakan untuk memecahkan persamaan-persamaan diferensial parsial menurut Versteeg (1995) adalah:

a. Metode Beda Hingga (*finite difference method*)

Dalam metode ini area aliran dipisahkan menjadi satu set poin *grid* dan fungsi kontinu (kecepatan, tekanan, dan lainnya) didekati dengan nilai-nilai diskrit dan fungsi-fungsi ini dihitung pada titik-titik *grid*. Turunan dari fungsi didekati dengan menggunakan perbedaan antara nilai fungsi pada titik lokal *grid* dibagi dengan jarak *grid*.

b. Metode Elemen Hingga (*finite element method*)

Metode adalah teknik numerik untuk menemukan solusi perkiraan ke batas nilai masalah untuk persamaan diferensial parsial. Metode ini membagi masalah besar menjadi lebih kecil dan sederhana yang disebut elemen hingga.

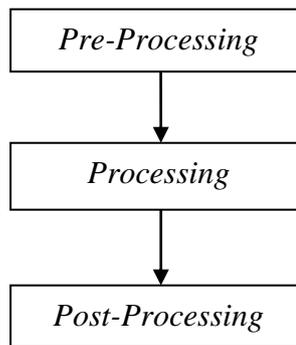
Persamaan sederhana yang memodelkan seluruh kasus kemudian disusun menjadi sebuah sistem persamaan yang lebih luas. Persamaan konservasi kekekalan massa, momentum, dan energi ditulis dalam bentuk yang tepat untuk setiap elemen, dan hasil dari set persamaan aljabar untuk bidang aliran diselesaikan secara numerik.

c. Metode Volume Hingga (*finite volume method*)

Finite volume method adalah metode untuk mewakili dan mengevaluasi persamaan diferensial parsial dalam bentuk aljabar. Metode ini sama seperti *finite difference method* dan *finite element method*, nilai-nilai dihitung di tempat terpisah pada geometri yang di *mesh*. Metode ini mengacu pada volume kecil disekitar *node* pada *mesh*. Dalam metode ini, volume integral dalam persamaan diferensial yang memiliki istilah divergensi dikonversi ke *surface integrals* menggunakan teori divergensi.

Metode diskritisasi yang dipilih pada umumnya menentukan kestabilan dari program numerik/*CFD* yang dibuat atau program *software* yang ada.

Sementara itu, Versteeg dan Malalasekera (Versteeg & Malalasekera, 2007) membagi struktur pada komputasi fluida/*CFD* kedalam tiga elemen yaitu *pre-processing*, *processing*, dan *post-processing*.



Gambar 2.11. Flowchart proses Fluent®

2.11.1 *Pre-Processing*

Tahap *preprocessing* merupakan tahap awal dari proses *CFD*, pada tahap ini akan dilakukan beberapa proses sebagai berikut:

- Pendefinisian domain komputasi, yaitu pendefinisian ruang geometri yang diinginkan.
- Pembuatan/*generate grid/mesh*.
- Pemilihan fenomena yang akan dimodelkan.
- Pendefinisian atribut-atribut fluida.
- Penentuan kondisi-kondisi batas yang diinginkan.

2.11.2 *Processing*

Dengan metode *finite volume*, algoritma untuk penyelesaian numerik terdiri dari beberapa langkah berikut:

- Integrasi persamaan aliran fluida yang digunakan, pada seluruh domain.

- Diskritisasi, yaitu konversi dari persamaan integral ke dalam sistem persamaan aljabar.
- Solusi persamaan aljabar dengan metode iteratif.

2.11.3 Post-Processing

Tahap ini berupa visualisasi data-data hasil simulasi, mencakup:

- Tampilan domain geometri dan *grid*.
- Plot vektor.
- Plot garis dan bayangan.
- 2D dan 3D *surface plot*.
- *Particle Tracking*.
- *View manipulation (translation, rotation, scaling, dan lain-lain)*.

Komputasi fluida dinamis sangat berguna di berbagai bidang baik industri maupun non-industri. Beberapa contohnya adalah aerodinamik pesawat dan kendaraan, hidrodinamika kapal, pembangkit listrik, mesin turbo, rekayasa elektrik dan elektronik, rekayasa proses kimia, lingkungan eksternal dan internal bangunan, teknik kelautan, teknik lingkungan, hidrologi dan oseanografi, meteorologi, dan rekayasa biomedis.

2.12 Persamaan Differensial Parsial

Persamaan diferensial parsial digunakan di seluruh bidang matematikaterapan dan bisa dimanfaatkan untuk memodelkan beragam permasalahan praktis seperti peramalan cuaca, desain pesawat terbang, mobil berkecepatan tinggi, serta penilaian potensi investasi saham finansial. Persamaan ini juga dapat digunakan untuk menjelaskan beragam sistem dalam dunia fisik, seperti mekanika fluida dan benda padat, evolusi populasi dan penyakit, serta fisika matematis (Shearer & Levy, 2015).

Diberikan sebuah fungsi u yang bergantung pada x dan y , turunan parsial dari u terhadap x di sembarang titik (x, y) didefinisikan dengan

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{u(x + \Delta x, y) - u(x, y)}{\Delta x} \quad (2.38)$$

Serupa, turunan parsial u terhadap y di sembarang titik (x, y) didefinisikan sebagai

$$\frac{\partial u}{\partial y} = \lim_{\Delta y \rightarrow 0} \frac{u(x, y + \Delta y) - u(x, y)}{\Delta y} \quad (2.39)$$

Sebuah persamaan yang mengandung turunan parsial dari fungsi yang tidak diketahui, dengan dua atau lebih variabel bebas disebut dengan *persamaan diferensial parsial* (Chapra & Canale, 2015). Contoh bentuk persamaan tersebut adalah sebagai berikut.

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + 2xy \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + u = 1 \quad (2.40)$$

$$\frac{\partial^3 u}{\partial x^2 \partial y} + x \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + 8u = 5y \quad (2.41)$$

$$\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right)^3 + 6 \frac{\partial^3 u}{\partial x^2 \partial y} = x \quad (2.42)$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + xu \frac{\partial u}{\partial y} = x \quad (2.43)$$

Bentuk persamaan diferensial parsial dapat dikaji berdasarkan *orde*, linearitas, serta karakteristiknya. *Orde* adalah tingkat tertinggi suku turunan. Sementara linearitas bergantung pada bentuk fungsi u , turunan u , dan koefisien persamaan tersebut. Suatu persamaan disebut fungsi linear jika fungsi tersebut linear pada u dan turunan u , serta koefisien persamaan tersebut hanya bergantung pada variabel bebas (x atau y) atau konstanta. Contoh klasifikasi orde dan linearitas persamaan diferensial parsial terdapat dalam Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Klasifikasi Orde dan Linearitas Persamaan Diferensial Parsial

Persamaan	Orde	Linear
(2.48)	2	Ya
(2.49)	3	Ya
(2.50)	3	Tidak
(2.51)	2	Tidak

Persamaan diferensial parsial linear orde dua, dengan dua variabel bebas, dapat dikelompokkan menjadi eliptik, parabolik, dan hiperbolik. Beberapa persamaan tersebut dapat dinyatakan dalam bentuk umum berikut,

$$A \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + B \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} + C \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - D = 0 \quad (2.44)$$

dengan A , B , dan C adalah fungsi dari x dan y , dan D adalah sebuah fungsi dari x , y , u , ∂u , $\partial u/\partial x$, dan $\partial u/\partial y$.

Tabel 2.2 Klasifikasi Persamaan Diferensial Parsial Orde Dua – Linear

$B^2 - 4AC$	Klasifikasi
<0	Eliptik
$=0$	Parabolik
>0	Hiperbolik

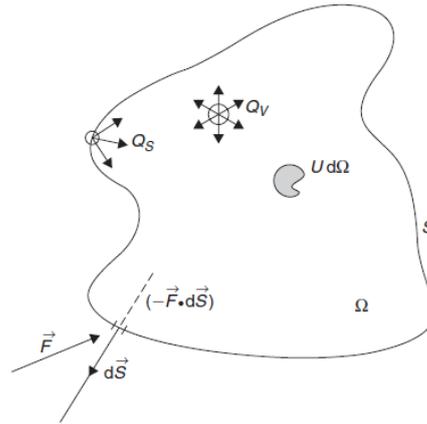
Klasifikasi persamaan tersebut ditentukan berdasarkan nilai diskriminannya sesuai dengan Tabel 2.2 di atas. Persamaan *eliptik* biasa digunakan untuk system dengan karakteristik yang stabil (*steady-state*). Persamaan *parabolik*, menunjukkan bagaimana suatu fungsi bervariasi dalam ruang dan waktu. Beberapa kasus merujuk pada masalah penjalaran, yaitu bagaimana solusi menjalar atau berubah dalam waktu. Sementara untuk kategori *hiperbolik* juga merujuk penjalaran pada solusi, namun disertai osilasi.

2.13 Hukum Konservasi

Hukum konservasi menjadi dasar dalam pemahaman mengenai dunia fisik, tentang proses yang dapat atau tidak dapat terjadi di alam. Menurut Hirsch (Hirsch, 2007), hukum konservasi pada sebuah kuantitas U mengikuti aturan logis dan konsisten berikut

Perubahan total kuantitas U pada sebuah domain, sebanding dengan jumlah kuantitas yang masuk dan keluar pada domain tersebut, ditambah kontribusi dari beberapa sumber penghasil kuantitas tersebut. Jumlah kuantitas yang masuk dan keluar ini disebut dengan fluks.

Berdasarkan studi sifat fisik pada sistem aliran fluida, tidak semua aliran kuantitas mematuhi hukum konservasi. Seperti yang diketahui hingga kini, hukum-hukum yang menjelaskan tentang aliran fluida (dinamika fluida), didefinisikan oleh konservasi dari tiga kuantitas berikut, yaitu massa, momentum (produk dari densitas dan kecepatan), dan energi.



Gambar 2.12. Bentuk Umum Persamaan Konservasi untuk Kuantitas Skalar

Suatu volume Ω , dibatasi oleh sebuah permukaan tertutup S . Simbol Ω disebut dengan *kontrol volume*, dan S disebut dengan *kontrol permukaan*. Jumlah total kuantitas U di dalam sebuah domain volume Ω , disimbolkan sebagai berikut.

$$\int_{\Omega} U d\Omega \quad (2.45)$$

Sementara perubahan (∂) per unit waktu (∂t) pada jumlah total kuantitas U di dalam Ω , disimbolkan sebagai berikut.

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega} U d\Omega \quad (2.46)$$

Total fluks merujuk pada hukum konservasi “jumlah kuantitas U yang masuk dan keluar pada domain”. Fluks sendiri didefinisikan sebagai jumlah kuantitas U yang melintasi suatu unit permukaan per unit waktu. Fluks adalah vektor, yaitu besaran yang memiliki nilai dan arah. Jika vektor ini paralel dengan permukaan, maka tidak ada fluks yang akan memasuki domain. Oleh karena itu, hanya fluks yang searah dengan normal permukaan saja yang akan memasuki suatu domain, dan berkontribusi terhadap perubahan kuantitas U . Jadi, jumlah U yang melintasi permukaan suatu elemen $d\vec{S}$ per unit waktu, didefinisikan oleh produk skalar dari fluks dan elemen permukaan berikut.

$$F_n dS = \vec{F} \cdot d\vec{S} \quad (2.47)$$

Dengan vektor elemen permukaan $d\vec{S}$ menunjuk sepanjang *normal arah keluar*. Total kontribusi dari fluks yang masuk adalah jumlah pada seluruh elemen permukaan $d\vec{S}$ dari permukaan tertutup S , dan disimbolkan sebagai berikut.

$$-\oint_s \vec{F} \cdot d\vec{S} \quad (2.48)$$

Tanda minus artinya, fluks berkontribusi positif ketika memasuki domain.

Selanjutnya sumber-sumber lain yang turut berkontribusi pada kuantitas U , dibagi menjadi *sumber volume* dan *sumber permukaan*, Q_v dan \vec{Q}_s dan total kontribusinya berbentuk sebagai berikut.

$$\int_{\Omega} Q_v d\Omega + \oint_s \vec{Q}_s \cdot d\vec{S} \quad (2.49)$$

Berikut bentuk umum hukum konservasi pada kuantitas U ,

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega} U d\Omega = -\oint_s \vec{F} \cdot d\vec{S} + \int_{\Omega} Q_v d\Omega + \oint_s \vec{Q}_s \cdot d\vec{S} \quad (2.50)$$

yang biasanya ditulis sebagai berikut

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega} U d\Omega + \oint_s \vec{F} \cdot d\vec{S} = \int_{\Omega} Q_v d\Omega + \oint_s \vec{Q}_s \cdot d\vec{S} \quad (2.51)$$

Teorema Gauss menyatakan bahwa integral permukaan dari fluks sama dengan integral volume divergen fluks tersebut,

$$\oint_s \vec{F} \cdot d\vec{S} = \int_{\Omega} \vec{\nabla} \cdot \vec{F} d\Omega \quad (2.52)$$

dengan catatan bahwa tiap volume Ω diselimuti oleh permukaan S , sehingga bentuk persamaan (2.38) dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$\int_{\Omega} \frac{\partial U}{\partial t} d\Omega + \int_{\Omega} \vec{\nabla} \cdot \vec{F} d\Omega = \int_{\Omega} Q_v d\Omega + \int_{\Omega} \vec{\nabla} \cdot \vec{Q}_s d\Omega \quad (2.53)$$

Persamaan diatas diintegalkan pada domain yang sama, yaitu pada volume Ω , sehingga akan berlaku juga secara lokal di tiap titik pada domain tersebut. Dengan kata lain, persamaan di atas dapat dinyatakan dalam bentuk diferensial berikut.

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot \vec{F} = Q_v + \vec{\nabla} \cdot \vec{Q}_s \quad (2.54)$$

Jika tidak ada sumber pada domain, maka $Q_v = Q_s = 0$, sehingga persamaan (2.33) berbentuk sebagai berikut.

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot \vec{F} = 0 \quad (2.55)$$

Fluks dihasilkan dari dua kontribusi, yaitu transpor konvektif dan difusi. Fluks konvektif F^c , merepresentasikan jumlah kuantitas U yang diangkut oleh aliran dengan kecepatan \vec{v} ,

$$\vec{F}_c = U \vec{v} \quad (2.56)$$

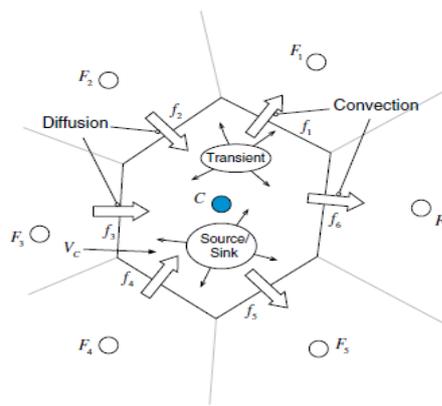
dengan $U = \rho u$, variabel u merupakan kuantitas per unit massa. Sementara Fluks difusi F^D adalah kontribusi yang dihasilkan fluida dalam kondisi tenang, berkenaan dengan efek makroskopik atau agitasi molekuler,

$$\vec{F}_D = -k \rho \vec{\nabla} u \quad (2.57)$$

Dengan k adalah koefisien difusi, sehingga persamaan (2.55) dapat dinyatakan dalam bentuk berikut.

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (k\rho \vec{\nabla} u) + Q_v + \vec{\nabla} \cdot \vec{Q}_s \quad (2.58)$$

Persamaan di atas disebut juga persamaan transport dalam bentuk konservatif. Moukalled dkk., (Moukalled, et al., 2016) mengilustrasikan bentuk persamaan transport konveksi difusi seperti gambar berikut, dengan F_i adalah elemen tetangga, f_i adalah sisi ke- i sel C , dan V_c adalah volume kontrol.



$$\frac{\partial U}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (k\rho \vec{\nabla} u) = \vec{\nabla} \cdot (k\rho \vec{\nabla} u) + Q_v + \vec{\nabla} \cdot \vec{Q}_s$$

transient + convective = diffusive + source term

Gambar 2.13. Konservasi pada Elemen Diskret

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1. Tempat

Adapun tempat dilakukannya analisa numerik untuk sudut sudu turbin *pelton* ini dilakukan di gedung D lantai tiga (3) di fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

3.1.2. Waktu

Pengerjaan studi numerik ini dilaksanakan setelah mendapat persetujuan dari dosen pembimbing, dan terlihat pada Tabel 3.1.

Tabel. 3.1. Waktu pelaksanaan penelitian

No	Kegiatan	Waktu (Bulan)			
		Des	Jan	Feb	Mar
1.	Pengajuan judul				
2.	Studi Literatur				
3.	Penyediaan alat dan bahan				
4.	Perancangan desain sudu turbin <i>pelton</i> menggunakan <i>software Solidworks</i>				
5.	Pengujian desain sudu turbin <i>pelton</i> menggunakan <i>Software Solidworks</i>				
6.	Penyelesaian Skripsi				

3.2. Alat Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam studi numerik ini adalah :

3.2.1 Alat

1. Komputer dengan spesifikasi:

- Prosesor Intel(R) Xeon(R) CPU E3-1246 v3 @3.50Ghz 3.50Ghz
- Memori 8.00 GB
- Sistem Operasi Windows 7 64-bit



Gambar 3.1. Komputer Laboratorium Komputer Fakultas Teknik

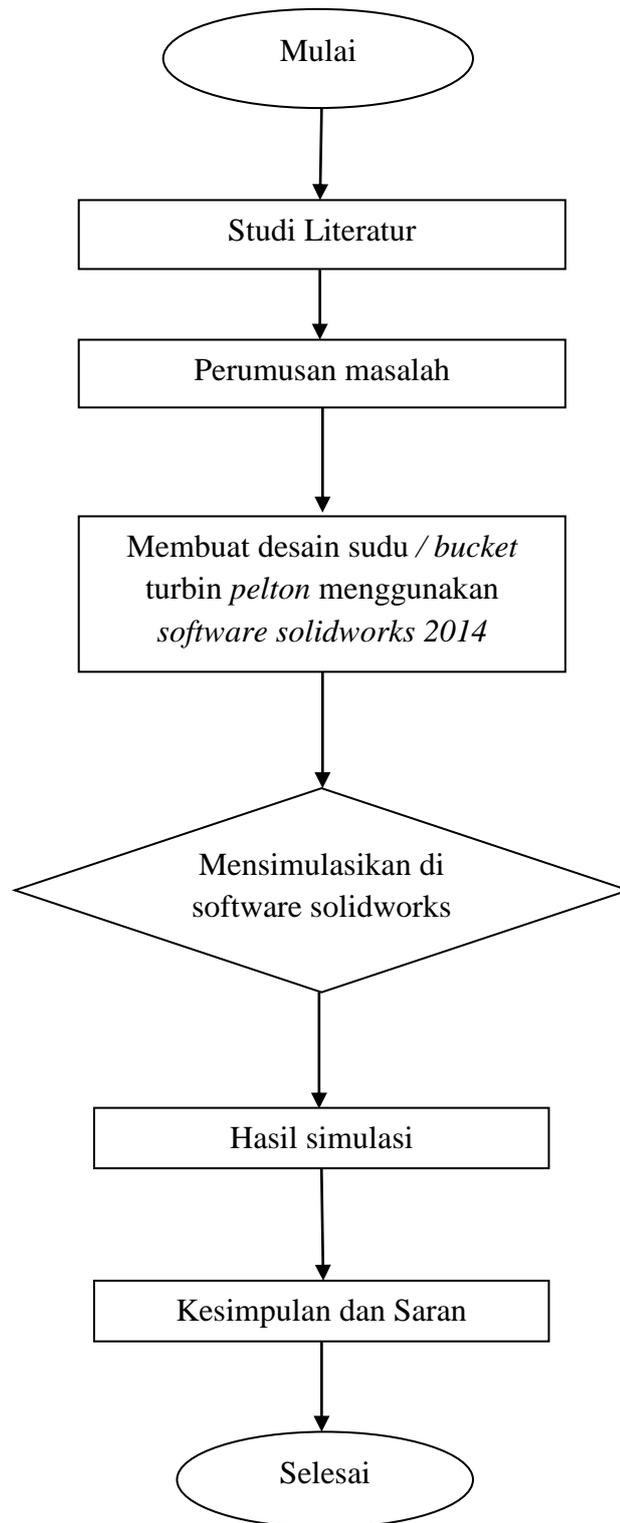
2. Perangkat Lunak Solidworks 2014

Program *Solidworks* merupakan program komputer yang berfungsi untuk melakukan desain dan analisa kekuatan maupun aliran. Program tersebut dapat membantu kita dalam membuat desain. Dengan demikian, selain biaya yang dikeluarkan berkurang, waktu market dari benda pun dapat dipercepat. *Solidworks* dibuat dengan berdasarkan pada teori yang terdapat dalam perumusan metode elemen hingga.



Gambar 3.2. Perangkat Lunak Solidworks 2014

3.3 Diagram Alir

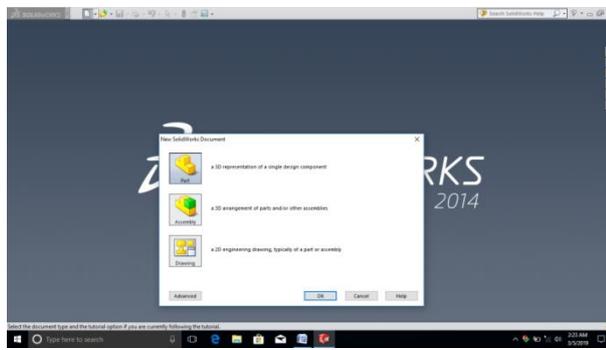


Gambar 3.3. Diagram alir

3.4 Perancangan Model Dengan *Software Solidworks 2014*

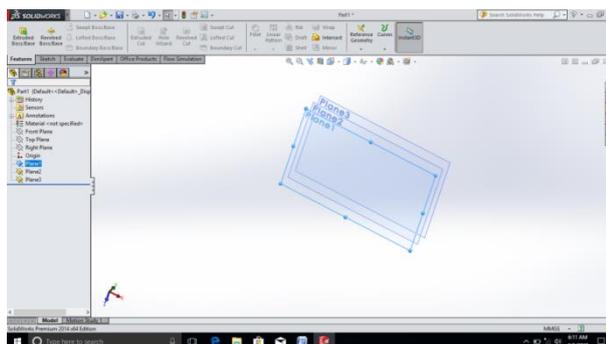
Model yang dirancang adalah sudu turbin *Pelton*, berikut ini adalah langkah-langkah perancangan model dengan menggunakan *software Solidworks 2014*.

1. Nyalakan komputer yang akan digunakan untuk merancang desain sudu turbin *pelton* yang akan dibuat,
2. Buka *software Solidworks 2014* pada komputer,
3. Pilih “New Document” pada sudut kanan atas tampilan *software Solidworks 2014*, kemudian pilih “Part” dan pilih “OK”.



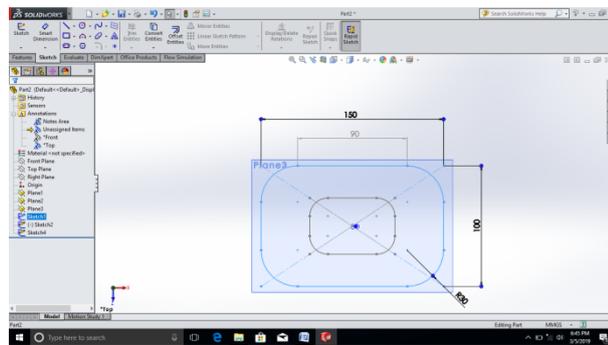
Gambar 3.4. Tampilan awal *Solidworks 2014*

4. Pilih *feature* lalu pilih *reference geometry* dan klik *top plane*.

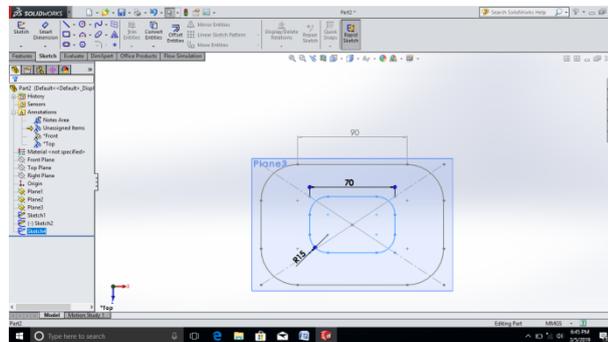


Gambar 3.5. *Top plane*

5. Membuat desain awal sudu / *bucket* turbin



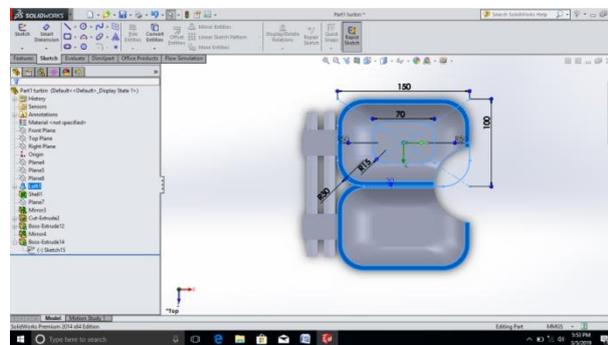
Gambar 3.6. Bagian atas sudu pada *sketch*



Gambar 3.7. Bagian bawah sudu pada *sketch*

6. Membuat bagian utama sudu / *bucket*

Bagian utama adalah bagian yang mengalami impuls yang berhadapan pada *nozel* keluarnya air.

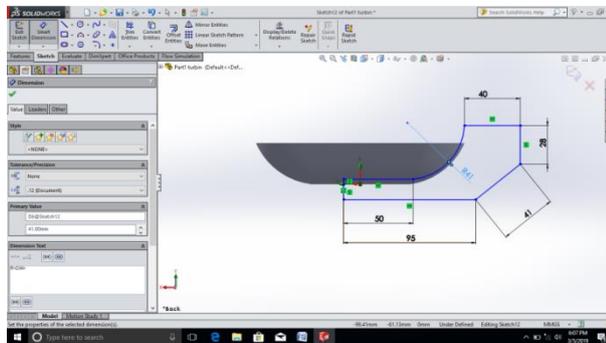


Gambar 3.8. Bagian utama *bucket*

Panjang sudu bagian atas	: 150 mm
Lebar sudu bagian atas	: 100 mm
Jari- jari sudu bagian atas	: 50 mm
Panjang sudu bagian bawah	: 70 mm
Lebar sudu bagian bawah	: 70 mm
Jari- jari sudu bagian bawah	: 15 mm

7. Kaki sudu / *bucket* turbin

Kaki *bucket* di gambar dengan cara pilih *plane front*, *sketch*, gambar ukuran, klik *boss extrut*, *mid*, ok

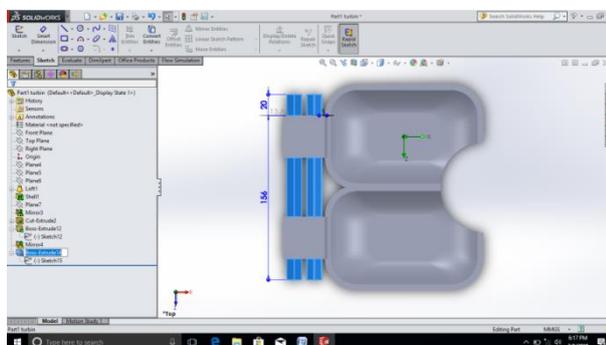


Gambar 3.9. Kaki sudu / *bucket* turbin

8. Membuat *Bost* pada sudu /*bucket* turbin

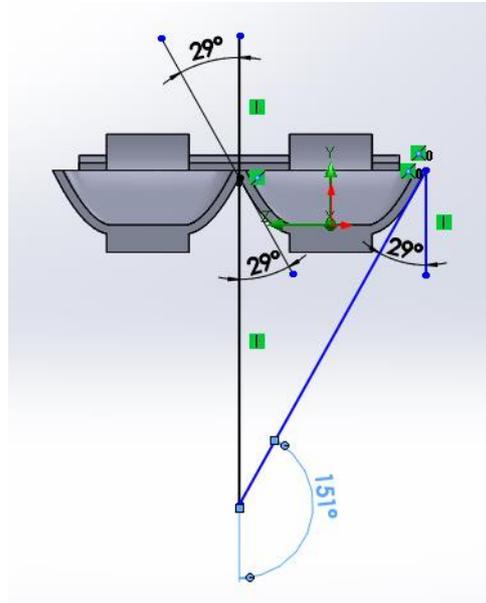
Dimana *bost* ini yang akan digabungkan pada roda turbin

di gambar dengan cara pilih *plane front*, *sketch*, gambar ukuran dengan klik *polygon* dan lalu klik *boss extrude* 14 , ok

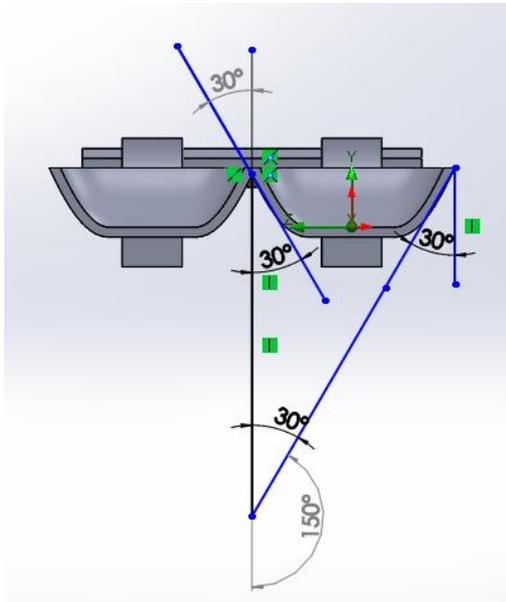


Gambar 3.10. *Bost* pada sudu /*bucket* turbin

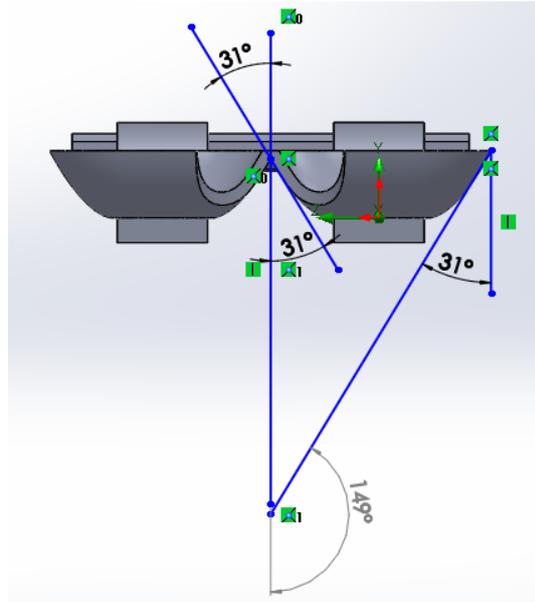
9. Berikut adalah hasil desain pada *sudu* / *bucket* dengan beberapa variasi turbin



Gambar 3.11. Desain *sudu* /*bucket* turbin dengan sudut 29°



Gambar 3.12. Desain *sudu* /*bucket* turbin dengan sudut 30°

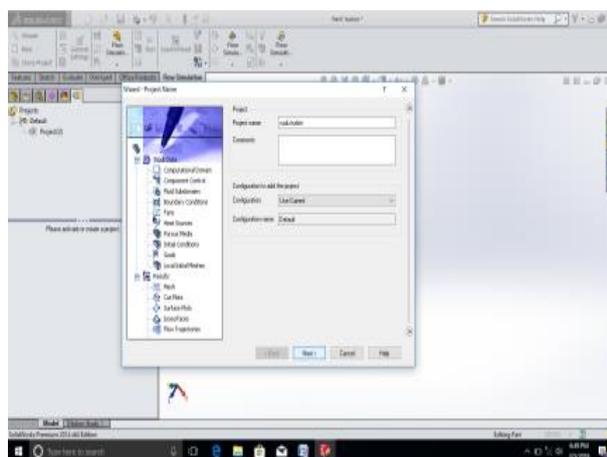


Gambar 3.13. Desain sudu /bucket turbin dengan sudut 31°

3.5 Simulasi Aliran

Membuat aliran masuk dan keluar dengan bagian yang dipilih untuk saluran masuk dan keluar aliran fluida.

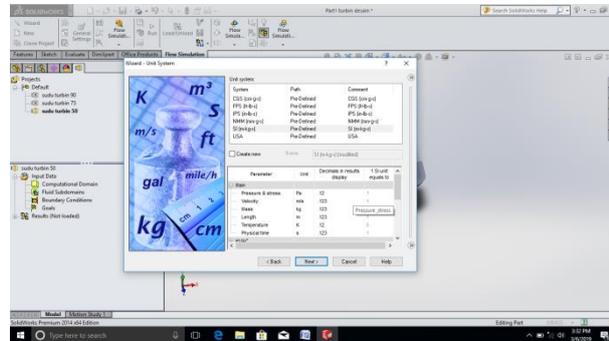
1. Melakukan simulasi aliran dengan langkah klik *flow simulation – wizard* pada menu bar, kemudian ganti *project name* lalu klik *next*



Gambar 3.14. *Project name*

10. Unit system

Memilih satuan pada simulasi aliran dengan *system international*



Gambar 3.15. Unit system

11. Analysis type

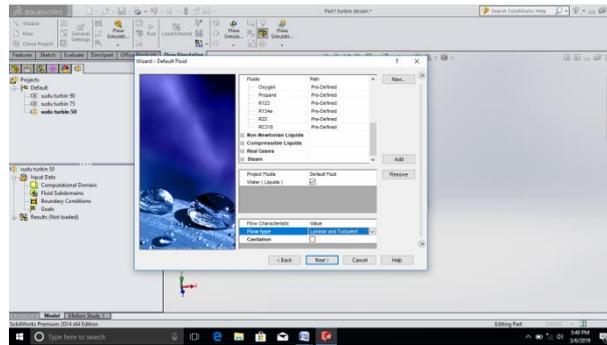
Menentukan jenis fluida yang akan disimulasikan. Disini saya akan menggunakan air (*water*). Maka klik *liquid-water* lalu klik *next*



Gambar 3.16. Analysis type

12. Default Fluid

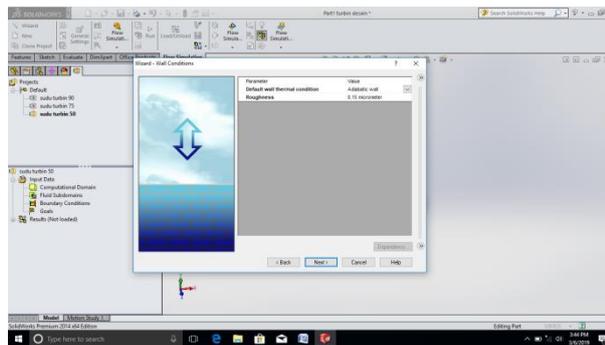
Memilih jenis fluida yang akan digunakan saat simulasi berhubung fluida yang kita gunakan adalah air maka kita beri tanda centang pada *water*.



Gambar 3.17. *Default Fluid*

13. *Wall condition*

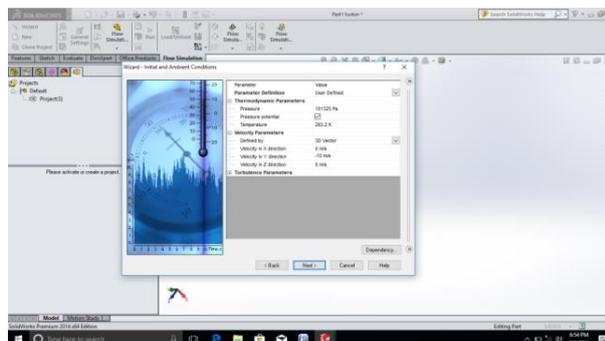
Instruksi untuk memasukkan nilai kekasaran permukaan dinding, suhu dinding yaitu 0.15 micrometer



Gambar 3.18. *Wall condition*

14. *Initial and ambient conditions*

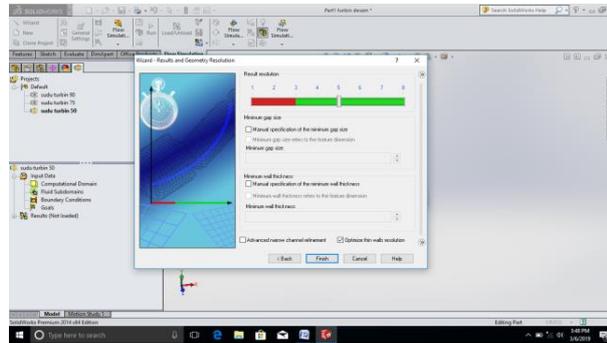
Instruksi untuk memasukkan nilai keterangan temperatur lingkungan pada saat pengujian yaitu 300 K dan velocity in Y direction -10 m/s



Gambar 3.19. *Initial and ambient conditions*

15. *Result and Geometry resolution*

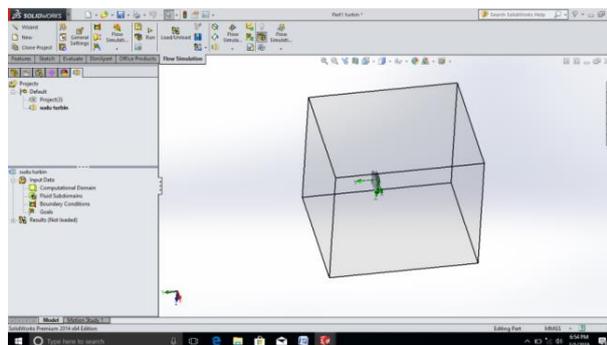
Adalah tampilan akurasi pada hasil simulasi yang akan dilakukan dipilih 5 setelah itu klik *finish*, maka dengan itu selesai memasukkan keterangan dan nilai pada pengujian *flow simulation*



Gambar 3.20. *Result and Geometry resolution*

16. *Creat lid*

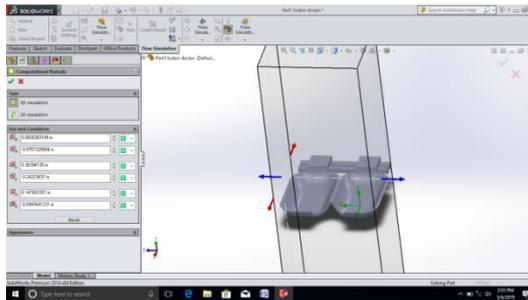
Tools yang menginstruksi untuk menentukan saluran masuk dan saluran keluar.



Gambar 3.21. *Creat lid*

17. *Computational domain*

Instruksi untuk analisa daerah yang akan dilakukan simulasi harus lebih dari luas cetakan.

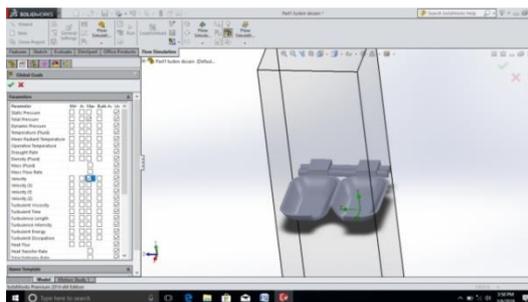


Gambar 3.22. menentukan *Computational domain*

18. Goals

Instruksi parameter yang akan diketahui pada aliran fluida.

Klik kanan pada *goal* – pilih *insert global goal* – klik centang pada kotak total *torque (Y)* dan klik pada centang hijau.

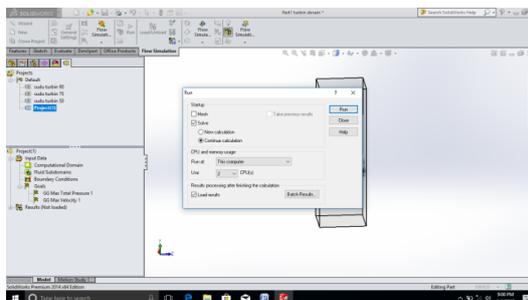


Gambar 3.23. menentukan *Goals*

19. Run

Klik *Run* dan tunggu saat proses *running* berjalan.

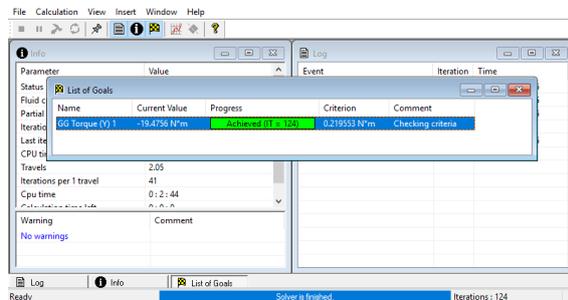
Printah untuk memproses data yang telah dimasukkan dan memproses secara komputasi.



Gambar 3.24. proses *Run*

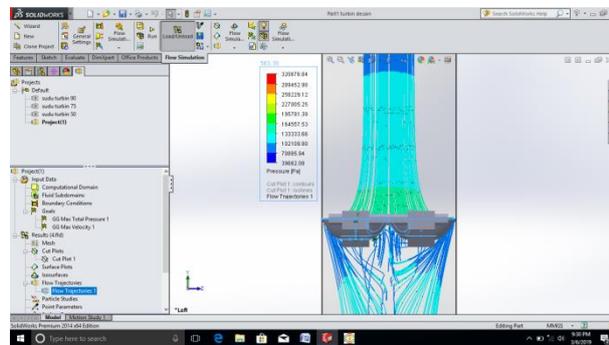
20. Finish run

Setelah di *run* maka akan terlihat tampilan seperti dibawah menunjukkan kerja komputasi sudah dapat hasil pada nilai yang ingin dicari.



Gambar 3.25. *Finish run*

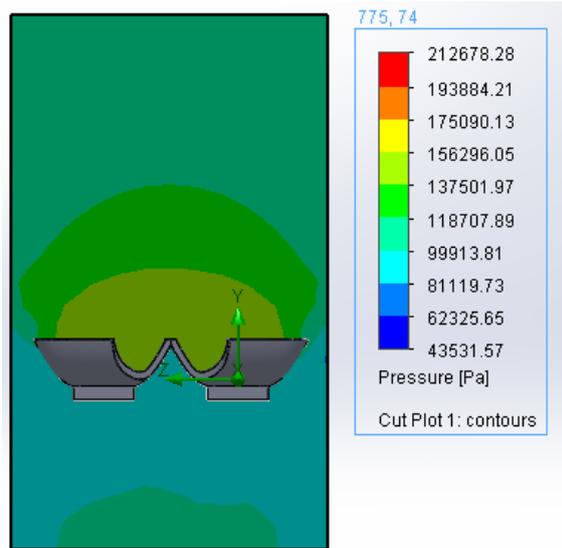
21. Apabila proses running sudah selesai maka klik *result* – klik *flow trajectories* – pilih *show* lalu menunggu progress dan dapat dilihat hasilnya.



Gambar 3.26. Simulasi

22. Berikut adalah hasil simulasi pada *sudu / bucket* turbin

Apabila ingin melihat hasil dalam running sudah selesai pada perpotongan maka klik *result* – klik *cut plot* – pilih *right plane* – klik tanda centang hijau.



Gambar 3.27. Simulasi pada *torque*(*Y*) pengaruh *pressure*

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Simulasi Torsi

Simulasi aliran air pada sudu masuk dan keluar turbin pelton dengan torsi dan laju aliran yang menggunakan perangkat lunak *solidworks2014* disajikan dalam tiga variasi percobaan yaitu pada sudut sudu 29°, 30° dan 31°. Berikut ini adalah hasil dari simulasi aliran air yang divariasikan pada sudut sudu.

Tabel 4.1. Hasil Simulasi

Sudut sudu turbin(°)	Kecepatan Aliran air (m/s)	Torsi (Nm)
29	10	15.4756
30	10	10.4544
31	10	10.1446

4.1.1 Hasil sudu turbin terhadap efisiensi pada sudut 29°

4.1.1.1 Menghitung hasil simulasi Turbin pada sudut 29°

Data	:	- Debit air (Q)	= 0.017 m ³ /s
		- Kecepatan aliran (V)	= 10 m/s (tabel 4.1)
		- Torsi (T)	= 15.4756 Nm (tabel 4.1)
		- Percepatan gravitasi (g)	= 9.81 m/s
		- Massa jenis air (ρ)	= 1000 kg/m ³
		- Putaran turbin (n)	= 484 rpm

- Menghitung *Head* efektif (h) pada sudut 29°

$$h = \frac{V^2}{2 \times g}$$

$$h = \frac{10^2 \text{ m/s}^2}{2 \times 9.81 \text{ m/s}}$$

$$h = 5.096 \text{ m}$$

- Menghitung Kecepatan Sudut(ω) pada sudut 29^0

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

$$\omega = \frac{2 \times 3.14 \times 484 \text{ rpm}}{60}$$

$$\omega = 50.658 \text{ rad/s}$$

- Menghitung nilai Efisiensi (η_t) turbin pada sudut sudu 29^0

$$\eta_t = \frac{PT}{P_{air}} \times 100\%$$

$$\eta_t = \frac{T \times \omega}{\rho \times g \times h \times Q} \times 100\%$$

$$\eta_t = \frac{15.4756 \text{ Nm} \times 50.658 \text{ rad/s}}{1000 \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/s} \times 5.096 \text{ m} \times 0.017 \text{ m}^3/\text{s}} \times 100\%$$

$$\eta_t = 92.24\%$$

4.1.2 Hasil sudu turbin terhadap efisiensi pada sudut 30^0

4.1.2.1 Menghitung hasil simulasi Turbin pada sudut 30^0

Data	:	- Debit air (Q)	= 0.017 m ³ /s
		- Kecepatan aliran (V)	= 10 m/s (tabel 4.1)
		- Torsi (T)	= 10.4544 Nm (tabel 4.1)
		- Percepatan gravitasi (g)	= 9.81 m/s
		- Massa jenis air (ρ)	= 1000 kg/m ³
		- Putaran turbin (n)	= 479 rpm

- Menghitung *Head* efektif (h) pada sudut 30^0

$$h = \frac{V^2}{2 \times g}$$

$$h = \frac{10^2 \text{ m/s}^2}{2 \times 9.81 \text{ m/s}}$$

$$h = 5.096 \text{ m}$$

- Menghitung Kecepatan Sudut(ω) pada sudut 30°

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

$$\omega = \frac{2 \times 3.14 \times 479 \text{ rpm}}{60}$$

$$\omega = 50.135 \text{ rad/s}$$

- Menghitung nilai Efisiensi (η_t) turbin pada sudut sudu 30°

$$\eta_t = \frac{PT}{P_{air}} \times 100\%$$

$$\eta_t = \frac{T \times \omega}{\rho \times g \times h \times Q} \times 100\%$$

$$\eta_t = \frac{10.4544 \text{ Nm} \times 50.135 \text{ rad/s}}{1000 \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/s} \times 5.096 \text{ m} \times 0.017 \text{ m}^3/\text{s}} \times 100\%$$

$$\eta_t = 61.67\%$$

4.1.3 Hasil sudu turbin terhadap efisiensi pada sudut 31°

4.1.3.1 Menghitung hasil simulasi Turbin pada sudut 31°

Data	:	- Debit air (Q)	= 0.017 m ³ /s
		- Kecepatan aliran (V)	= 10 m/s (tabel 4.1)
		- Torsi (T)	= 10.1446 Nm (tabel 4.1)
		- Percepatan gravitasi (g)	= 9.81 m/s
		- Massa jenis air (ρ)	= 1000 kg/m ³
		- Putaran turbin (n)	= 474 rpm

- Menghitung *Head* efektif (h) pada sudut 31°

$$h = \frac{V^2}{2 \times g}$$

$$h = \frac{10^2 \text{ m/s}^2}{2 \times 9.81 \text{ m/s}}$$

$$h = 5.096 \text{ m}$$

- Menghitung Kecepatan Sudut(ω) pada sudut 31°

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

$$\omega = \frac{2 \times 3.14 \times 474 \text{ rpm}}{60}$$

$$\omega = 49.612 \text{ rad/s}$$

- Menghitung nilai Efisiensi (η_t) turbin pada sudut sudu 31°

$$\eta_t = \frac{PT}{P_{air}} \times 100\%$$

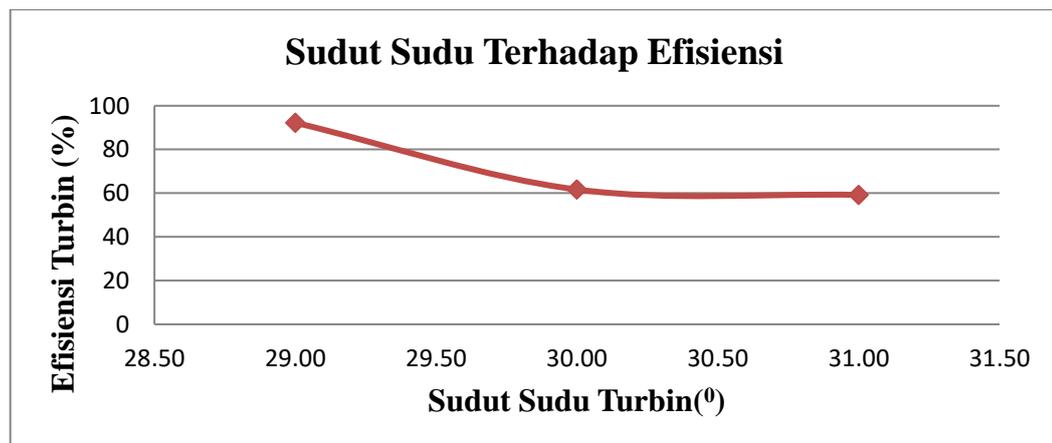
$$\eta_t = \frac{T \times \omega}{\rho \times g \times h \times Q} \times 100\%$$

$$\eta_t = \frac{10.1446 \text{ Nm} \times 49.612 \text{ rad/s}}{1000 \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/s} \times 5.096 \text{ m} \times 0.017 \text{ m}^3/\text{s}} \times 100\%$$

$$\eta_t = 59.22\%$$

Table 4.2. Hasil analisa sudut sudu terhadap efisiensi turbin

Sudut sudu turbin($^\circ$)	Efisiensi (η_t) %
29	92.24
30	61.67
31	59.22



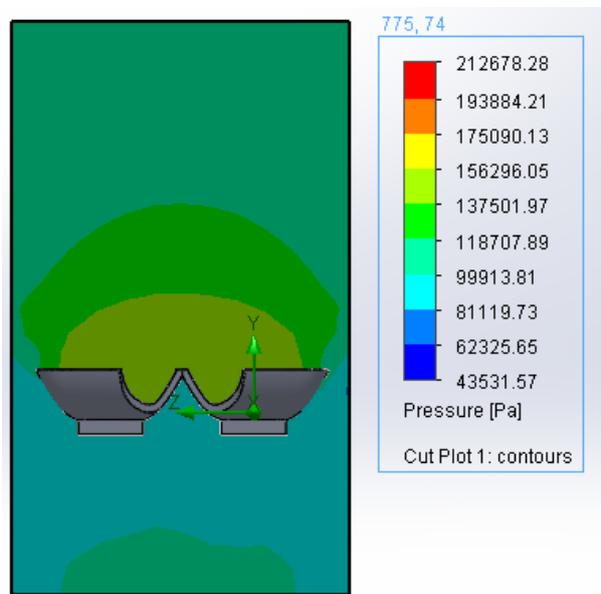
Gambar 4.1. Grafik Sudut sudu terhadap Efisiensi Turbin

4.2 Pembahasan

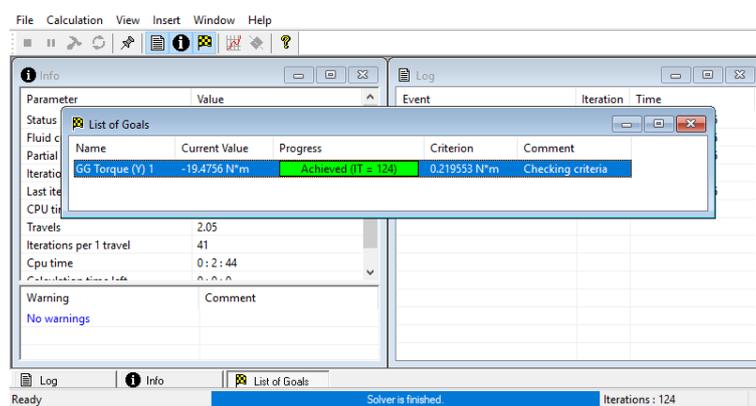
Dari hasil simulasi menggunakan *software solidworks* 2014 dengan bentuk sudut sudu turbin pelton yang divariasikan pada sudut 29° , 30° , 31° yang ingin diketahui adalah nilai *torque* dengan *pressure* masuk fluida.

4.2.1 Simulasi *software solidworks* pada sudut sudu 29°

Dengan simulasi *software solidworks* dapat dilihat pada gambar 4.2 yang mempengaruhi *pressure* dan pada gambar 4.3 dapat melihat nilai *torque* 15.4756 Nm.



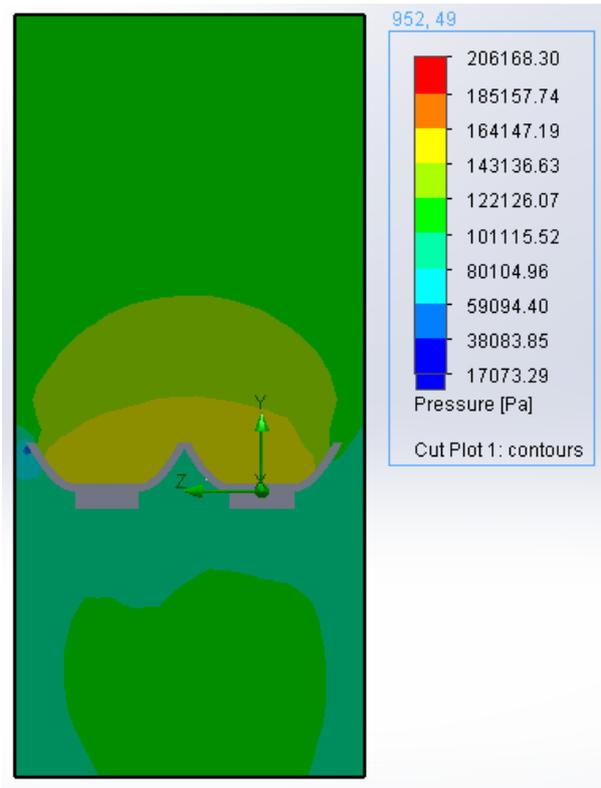
Gambar 4.2. Visualisasi *pressure* pada sudut sudu 29°



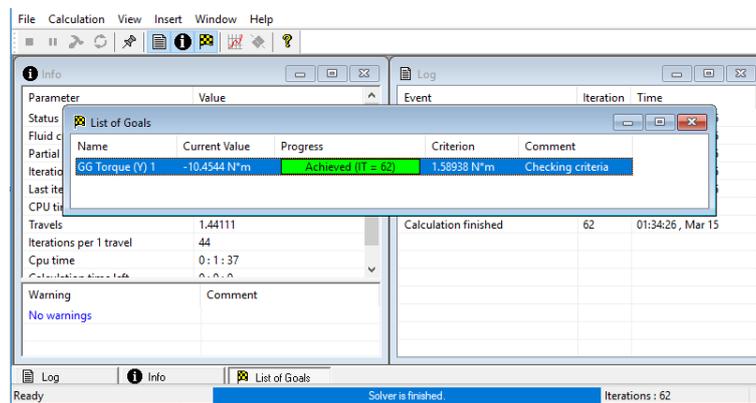
Gambar 4.3. Nilai *torque* pada sudut sudu 29°

4.2.2 Simulasi *software solidworks* pada sudut sudu 30^0

Dengan simulasi *software solidworks* dapat dilihat pada gambar 4.4 yang mempengaruhi *pressure* dan pada gambar 4.5 dapat melihat nilai *torque* 10.4544 Nm.



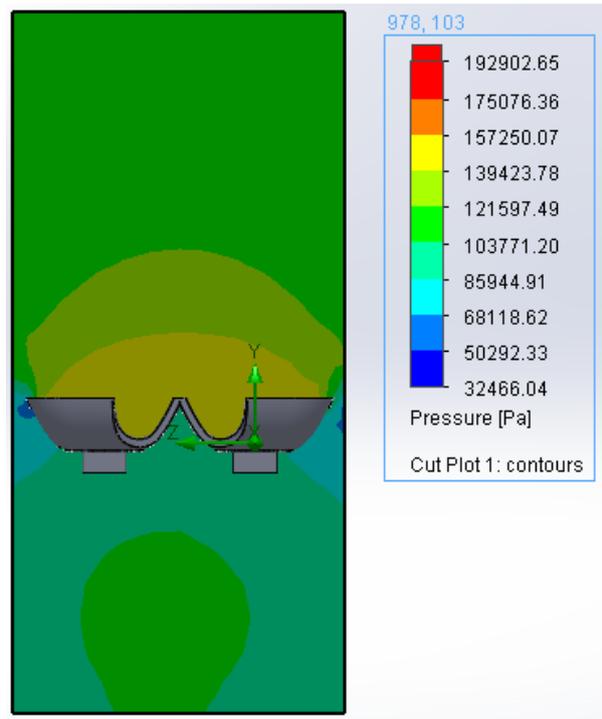
Gambar 4.4. Visualisasi *pressure* pada sudut sudu 30^0



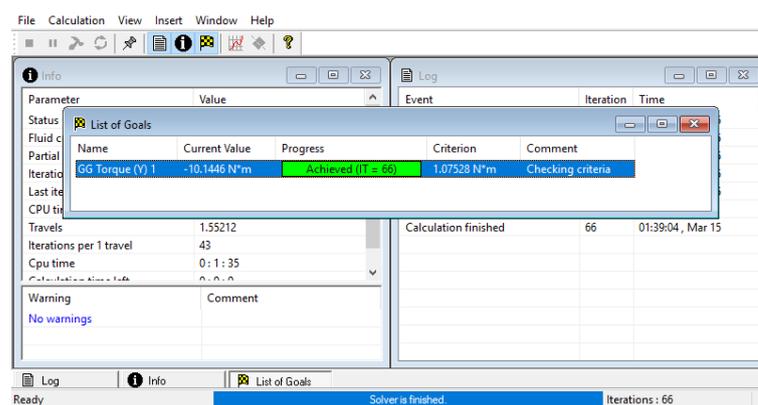
Gambar 4.5. Nilai *torque* pada sudut sudu 30^0

4.2.3 Simulasi *software solidworks* pada sudut sudu 31°

Dengan simulasi *software solidworks* dapat dilihat pada gambar 4.6 yang mempengaruhi *pressure* dan pada gambar 4.7 dapat melihat nilai *torque* 10.1446 Nm.



Gambar 4.6. Visualisasi *pressure* pada sudut sudu 31°



Gambar 4.7. Nilai *torque* pada sudut sudu 31°

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan dari simulasi menggunakan *solidworks* dan pembahasan serta analisa yang telah dilakukan pada bab sebelumnya maka dapat di tarik kesimpulan bahwa:

1. Semakin tinggi nilai sudut sudu maka nilai *torque* akan semakin kecil.
2. Semakin tinggi nilai sudut sudu turbin pelton maka efisiensi turbin akan semakin kecil.
3. Pada penelitian ini menyatakan bahwa semakin kecil nilai sudut sudu turbin maka nilai efisiensinya lebih baik.
4. Diantara variasi sudut sudu masuk dan keluar turbin yang lebih efektif adalah sudut 29^0 dengan nilai efisiensi 92.24%.

5.2 Saran

Pada pelaksanaan penelitian ini masih terdapat banyak kekurangan dan menghambat dalam kegiatan penelitian. Adapun saran yang diajukan oleh penulis yaitu proses simulasi penelitian sebaiknya menggunakan Komputer dengan spesifikasi yang lebih tinggi agar dalam proses simulasi *solidwork* pengambilan data tidak lama dan lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Bono dan Gatot Uwoto. (2011). *Karakterisasi Daya Turbin Pelton Sudu Setengah Silinder Dengan Variasi Perbandingan Lebar Sudu Dengan Diameter Nosel Pada Harga Perbandingan Jet Sebesar 18*. Semarang : Fakultas Teknik Universitas Wahid Semarang.
- Fritz Dietsel. (1988). *Turbin Pompa Dan Kompresor*, Erlangga, Jakarta.
- Muliawan, Arief dan Ahmad Yani. (2014). *Analisis Daya Dan Efisiensi Turbin Air Kinetis Akibat Perubahan Putaran Runner*. Bontang: Departemen Teknik Mesin Universitas Trunajaya Bontang
- Priangkoso, Tabah., Ali Mustaqim dan Heriyanto dan Asyadudin Malik. (2017). *Uji Efisiensi Turbin Pelton Dengan Sudu Setengah Pipa Elbow*. Semarang: Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim
- Raffli, Deni dan Mulfi Hazwi. (2014). *Simulasi Numerik Penggunaan Pompa Sebagai Turbin Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (Pltmh) Dengan Head 9,29 M Dan 5,18 M Menggunakan Perangkat Lunak Cfd Pada Pipa Berdiameter 10,16 Cm*. Medan: Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU).
- Tampubolon, Frans Ade Putra Dan Tekad Sitepu. (2014). *Uji Performansi Turbin Pelton Dengan 26 Sudu Pada Head 5,21 Meter Dengan Mengunkan Satu Buah Nosel Dan Analisa Perbandingan Menggunakan Variasi Bentuk Sudu* . Medan: Departemen Teknik Mesin Universitas Sumatera Utara.
- Thobari, Ali., Mustaqim dan Hadi Wibowo. (2017). *Analisa Pengaruh Sudut Keluar Sudu Terhadap Putaran Turbin Pelton* . Tegal : Faculty of Engineering Universitas Pancasakti Tegal
- Sentanuhady, Jayan dan Davin Sanchorehan. (2016). *Analysis and Numerical Simulation for Low Head Pelton Turbine Operated in Grojogan Sewu*

Waterfall. Surabaya: Departemen Teknik Mesin dan Industri Universitas Gadjah Mada.

Siahaan, Kiki Ananda. (2018). *Pengaruh Jumlah Nozzel Terhadap Kinerja Prototype Turbin Pelton*. [laporan tugas akhir]. Medan : Fakultas Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

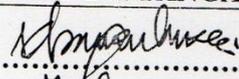
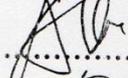
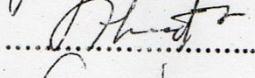
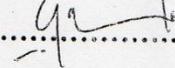
Simamora, Muhammad Saleh. (2017). *Perancangan Alat Uji Prestasi Turbin Pelton*. Yogyakarta: Fakultas Teknik Universitas Pasis Pengaraian.

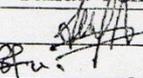
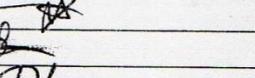
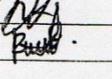
Sari, Dr. Sri Purnomo. Dan Rendi Yusuf (2013). *Pengaruh Jarak Dan Ukuran Nozzle Pada Putaran Sudu Terhadap Daya Listrik Turbin Pelton*. Guna darma: Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Gunadarma.

LAMPIRAN

**DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK – UMSU
TAHUN AKADEMIK 2018 – 2019**

Peserta Seminar
 Nama : Ahmad Saputra Siregar
 NPM : 1407230161
 Judul Tugas Akhir : Analisa Numerik Sudut Masuk Dan Keluar Turbin Pel-
 Ton Terhadap Efisiensi Turbin.

DAFTAR HADIR	TANDA TANGAN
Pembimbing – I : Khairul Umurani.S.T.M.T	: 
Pembimbing – II : Sudirman Lubis.S.T.M.T	: 
Pembanding – I : Ahmad Yuni S.T.M.T	: 
Pembanding – II : Chandra A Siregar.S.T.M.T	: 

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1407230200	M. FACHRULPOZI DAMANIK	
2	1407230040	M. Sulhaini	
3	1407230066	M. Robby burmawan	
4	1407230047	AZHAR	
5	1407230114	ZULKIFLI	
6	1407220183	KENUN GHIFARI	
7	1407230085	DOPI HARISANDI	
8	1407230232	KENDI IKHAKSON	
9	1407230190	Abdullah Afif Al Karim	
10	1407230134	Fa. Hidayat	

Medan, 04 Rajab 1440 H
11 Maret 2019 M

Ketua Prodi. T.Mesin

 Affandi S.T.M.T



DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

NAMA : Ahmad Saputra Siregar
NPM : 1407230161
Judul T.Akhir : Analisa Numerik Sudut Masuk Dan Keluar Turbin Pelton Terhadap Efisiensi Turbin.

Dosen Pembimbing - I : Khairul Umurani.S.T.M.T
Dosen Pembimbing - II : Sudirman Lubis.S.T.M.T
Dosen Pembanding - I : Ahmad Marabdi Srg.S.T.M.T
Dosen Pembanding - II : Chandra A Siregar.S.T.M.T

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

- lihat catatan pada T.A. yang telah diperiksa
- Perbaiki Bahan pada Bab 3

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

Medan 04 Rajab 1440H
11 Maret 2019 M.



Diketahui :
Ketua Prodi. T.Mesin

Affandi S.T.M.T

Dosen Pembanding- I

Ahmad Marabdi Siregar.S.T.M.T

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

NAMA : Ahmad Saputra Siregar
NPM : 1407230161
Judul T.Akhir : Analisa Numerik Sudut Masuk Dan Keluar Turbin Pelton Terhadap Efisiensi Turbin.

Dosen Pembimbing – I : Khairul Umurani.S.T.M.T
Dosen Pembimbing – II : Sudirman Lubis.S.T.M.T
Dosen Pemanding - I : Ahmad Marabdi Srg.S.T.M.T
Dosen Pemanding - II : Chandra A Siregar.S.T.M.T

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
- ② Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

..... lihat buku tugas akhir
.....
.....

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

.....
.....
.....
.....

Medan 04 Rajab 1440H
11 Maret 2019 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T.Mesin



Dosen Pemanding- II


Chandra A Siregar.S.T.M.T

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Analisis dan Numerik sudut sudu masuk dan keluar Turbin Pelton terhadap Efisiensi Turbin

Nama : Ahmad Saputra Siregar
NPM : 1407230161

Dosen Pembimbing 1 : Khairul Umurani, S.T., M.T

Dosen Pembimbing 2 : Sudirman Lubis, S.T., M.T

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
		- Pembertan spesifikasi tugas.	le
		- perbaiki pendahuluan.	le
		- perbaiki tinjauan pustaka.	le
		- perbaiki metode.	le
		- perbaiki analisa data.	le
		- lanjut ke pembimbing 2.	le

ACC, Seminar.

le

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Nama : Ahmad Saputra Siregar
Npm : 1407230161
Tempat / Tanggal Lahir : Medan / 24 April 1995
Jenis Kelamin : Laki – Laki
Agama : Islam
Status : Belum Menikah
Alamat : Jl. Tangguk Bongkar II No. 70

Kel / Desa : Tegal Sari Mandala II
Kecamatan : Medan Denai
Kabupaten : Kota Medan
Provinsi : Sumatera Utara

No. HP : 0857 – 6242 – 4014
Email : ahmadsaputrasrg24@gmail.com

Nama Orang Tua
Ayah : Untung Siregar
Ibu : Elfina Saharo Pulungan

PENDIDIKAN FORMAL

2001 – 2007 : SD Negeri 066050 Medan
2007 – 2010 : MTs Syuhada Medan
2010 – 2013 : SMK Swasta Prayatna 2 Medan
2014 – 2019 : Mengikuti Pendidikan S1 Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara