

**RANCANG BANGUN TURBIN UAP PADA MAKET  
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP**



**MUHAMAD RIZKY SEPTIANTO**

**5115122622**

**Skripsi ini Ditulis untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan dalam  
Memperoleh Gelar Sarjana Pendidikan**




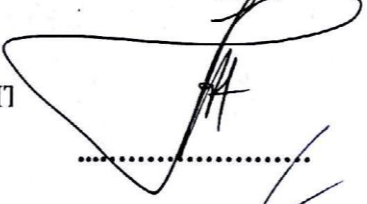

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA  
2017**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**RANCANG BANGUN TURBIN UAP PADA MAKET PEMBANGKIT  
LISTRIK TENAGA UAP**

**MUHAMAD RIZKY SEPTIANTO / 5115122622**

**PANITIA UJIAN SKRIPSI**

<b>NAMA DOSEN</b>	<b>TANDA TANGAN</b>	<b>TANGGAL</b>
Drs. Purwanto G., M.T (Ketua Penguji)		22.02.2017
Dr. Suyitno, M.Pd (Sekretaris)		16.02.2017
Imam AR, M.T (Dosen Ahli)		21.02.2017
Massus Subekti, S.Pd., MT (Dosen Pembimbing I)		17.02.2017
Dr. Daryanto, MT (Dosen Pembimbing II)		17.02.2017

Tanggal Lulus : 10 Februari 2017

## HALAMAN PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Karya tulis skripsi saya ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik sarjana, baik di Universitas Negeri Jakarta maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri dengan arahan dosen pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Universitas Negeri Jakarta.

Jakarta, Februari 2017

Yang membuat pernyataan



Muhamad Rizky Septianto

5115122622

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat, karunia serta hidayah sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Rancang Bangun Turbin Uap Pada Maket Pembangkit Listrik Tenaga Uap” yang merupakan persyaratan untuk meraih gelar Sarjana Pendidikan Teknik Elektro pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.

Dalam kesempatan kali ini, izinkan penulis sebagai penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang tak terhingga kepada :

1. Bapak Massus Subekti, M.T selaku koordinator Program Studi Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta.
2. Bapak Massus Subekti, M.T dan Bapak Drs. Daryanto, MT selaku dosen pembimbing yang dengan sabar memberikan bimbingan serta pengarahan selama penyusunan skripsi.
3. Bapak Bustomi, Bapak Pepen, Bapak Agus selaku pembimbing dari pihak PT. Alasindo Tbk., dan karyawan yang bertugas.

Terimakasih juga penulis ucapkan kepada Bapak, Mama, Dina, Mbah kung, Mbah uti, Rizka Amalia, keluarga besar PPM Baitul Hikmah, Keluarga Cemara, Crew Skripsi Rancang Bangun maket PLTU, serta sahabat dan teman-teman Retro2012 yang telah memberikan semangat, doa, serta dukungannya kepada penulis. Skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi peneliti dan pengembangan selanjutnya.

Jakarta, Februari 2017

Penulis

## ABSTRAK

**MUHAMAD RIZKY SEPTIANTO, Rancang Bangun Turbin Uap Pada Maket Pembangkit Listrik Tenaga Uap.** Skripsi. Jakarta: Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta 2017. Dosen Pembimbing Massus Subekti, S.Pd., MT dan Dr. Daryanto, MT.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan prototipe turbin uap yang mampu memutar torsi generator. Metode penelitian yang dipakai dalam penelitian ini adalah analisis deskriptif dengan jenis rekayasa teknik.

Turbin uap (*steam turbine*) adalah penggerak mula yang merubah energi potensial menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin. Turbin uap yang dibangun memiliki dimensi jenis turbin yang digunakan turbin *impuls single stage*, cakram turbin berdiameter 33 mm, jumlah sudu gerak 30 buah, jarak bagi antar sudu 14,6mm, jari-jari sudu 2,63mm, jenis nosel yang digunakan *konvergen*, luas penampang leher 3,2cm<sup>2</sup>, luas penampang sisi keluar 3,2cm<sup>2</sup>. Maket turbin uap tersebut dapat menghasilkan 1490 rpm untuk putaran turbin dengan generator pada tekanan uap 4 kg/cm<sup>2</sup> menggunakan volume air 19 liter. Tekanan maksimal yang mampu diterima oleh turbin uap ini adalah 8 kg/cm<sup>2</sup> dengan 11.000rpm, sesuai yang dihasilkan pada proses memanaskan *boiler* yaitu tekanan uap maksimalnya adalah 8kg/cm<sup>2</sup> pada suhu 170°C. serta mampu memutar generator dengan torsi 4,6 N dengan tekanan 8 kg/cm<sup>2</sup>.

Kesimpulan dalam penelitian ini adalah turbin dapat dibangun melalui perhitungan yang telah dilakukan dan dengan mempertimbangkan unjuk kerja antara *boiler* dan generator. Turbin uap yang dibangun dapat menghasilkan 1336,6 rpm untuk putaran turbin tanpa generator pada tekanan uap 2 kg/cm<sup>2</sup>. Turbin uap yang dibangun dapat menghasilkan 1408 rpm, dan menghasilkan tegangan 140,8 volt, serta mampu memutar torsi generator sebesar 0,6 Nm untuk putaran turbin dengan generator pada tekanan uap 4 kg/cm<sup>2</sup>. Tekanan maksimal yang diterima oleh turbin uap ini adalah 8 kg/cm<sup>2</sup> dengan 10.453 rpm untuk putaran turbin tanpa generator, dan menghasilkan tegangan 271,8 volt, serta mampu memutar torsi generator sebesar 0,9 Nm untuk putaran turbin dengan generator pada tekanan uap yang masuk sebesar 8 kg/cm<sup>2</sup>.

Kata Kunci: Rancang Bangun, Turbin uap, Pembangkit Listrik Tenaga Uap

## ABSTRACT

**MUHAMAD RIZKY SEPTIANTO, Design of Steam Turbine In Market Steam Power Plant.** Essay. Jakarta: Faculty of Engineering, State University of Jakarta 2017. Advisor: Massus Subekti, S.Pd., MT dan Dr. Daryanto, MT.

The purpose of this study was to produce a prototype steam turbine at market power plant steam generator torque that can play. The research method used in this research is descriptive analysis by type of engineering.

Steam turbine is a Primemover that converts potential energy into mechanical energy in the form of rotation of the turbine shaft. Steam turbine constructed dimensions turbine type used single stage impulse turbine, turbine disc diameter of 33mm, the amount of movement of the blade 30 pieces, the distance between the blade 14,6mm, radius 2,63mm blade, the type of nozzle used convergent, area 3,2cm<sup>2</sup> neck cross-section, the cross sectional area of 3,2cm<sup>2</sup> side exit. Mockups of the steam turbine can generate 1490 rpm for turbine with a steam generator at a pressure of 4 kg/cm<sup>2</sup> using a water volume of 19 liters. Maximum pressure that can be accepted by the steam turbine is 8 kg/cm<sup>2</sup> with 11.000rpm, produced according to the process of heating boiler which is the maximum vapor pressure of 8kg/cm<sup>2</sup> at a temperature of 170<sup>0</sup>C. and and be able to turn a generator with a torque of 4.6 Nm with a pressure of 8 kg/cm<sup>2</sup>

The conclusion of this study is the turbine can be built through the calculations have been carried out and taking into account the performance of the boiler and steam generator. Turbin built to produce 1336.6 rpm to spin the turbine without the steam generator at a pressure of 2 kg / cm<sup>2</sup>. Steam turbines are built to produce 1408 rpm, and generates a voltage 140.8 volts, and be able to play generatoe torque of 0.6 Nm for turbine with the steam generator at a pressure of 4 kg / cm<sup>2</sup>. Maximum pressure received by the steam turbine is 8 kg / cm<sup>2</sup> at 10 453 rpm for the turbine without a generator, and a voltage of 271.8 volts produces, as well as being able to roll generatoe torque of 0.9 Nm for turbine with a generator on the vapor pressure of the incoming sebesar 8 kg / cm<sup>2</sup>.

Keywords: Design, steam turbine, Electrical Generating Power Plant

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>ii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xiii</b>
 <b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Identifikasi Masalah .....	4
1.3. Pembatasan Masalah.....	4
1.4. Perumusan Masalah.....	5
1.5. Tujuan Penelitian.....	5
1.6. Manfaat Penelitian .....	5
 <b>BAB II KERANGKA TEORITIS DAN KERANGKA BERPIKIR</b>	
2.1. Pengertian Rancang .....	6
2.2. Evaluasi Kerja Utama dan Perpindahan Kalor .....	6
2.3. Pengertian Turbin.....	7
2.3.1 Turbin Uap .....	8
2.3.2 Tipe Turbin Uap.....	9
2.3.3 Cara kerja Turbin Uap.....	16
2.3.4 Segitiga Kecepatan Pada Turbin Impuls.....	17
2.4. Perancangan Nosel.....	21
2.4.1. Penentuan Dimensi Nosel.....	22
2.4.2 Perancangan Sudu Gerak.....	25
2.5. Kerangka Berfikir .....	34

### **BAB III METODE PENELITIAN**

3.1.	Tempat dan Waktu Penelitian.....	28
3.2.	Metode Penelitian.....	28
3.3.	Alat dan Bahan Penelitian.....	28
3.3.1.	Bahan Penelitian.....	28
3.3.2.	Alat Penelitian.....	29
3.4.	Diagram Alir Penelitian.....	30
3.5.	Teknik dan Prosedur Pengumpulan data.....	32
3.5.1.	Kecepatan Alir Uap.....	32
3.5.2.	Penentuan Dimensi Nosel.....	35
3.5.3.	Perancangan Pada Sudu Turbin.....	40
3.6.	Pengambilan Data dan Pengujian.....	39
3.7.	Teknik Analisis Data .....	42

### **BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

4.1.	Hasil Perhitungan dan Perencanaan.....	43
4.1.1.	Komponen Pembantu Turbin Uap.....	51
4.2.	Hasil Pengujian Turbin.....	54
4.3.	Analisis Data Pengujian.....	53
4.4.	Aplikasi Hasil Penelitian.....	61

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1.	Kesimpulan .....	62
5.2.	Saran.....	62

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>64</b>
-----------------------------	-----------

<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>65</b>
----------------------	-----------



## DAFTAR TABEL

	Halaman
3.1. Tabel Pengujian Turbin Tanpa Generator .....	39
3.2. Tabel Pengujian Turbin Dengan Generator Tanpa Beban.....	40
3.3. Tabel Pengujian Turbin Dengan Torsi Meter.....	41
4.1. Data Hasil Pengujian Turbin Tanpa Generator.....	55
4.2. Data Hasil Pengujian Turbin Dengan Generator Tanpa Beban.....	56
4.3. Data Hasil Pengujian Turbin dengan Torsi Meter.....	57

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
2.1. Prinsip Kerja dan Perpindahan Kalor pada Siklus <i>Rankine</i> .....	7
2.2. Turbin Uap <i>Singlestage</i> dan Turbin Uap <i>Multystage</i> .....	10
2.3. Penampang Turbin Reaksi.....	11
2.4. Penggabungan sudu turbin uap Impuls dan Reaksi.....	12
2.5. Sketsa Turbin Impuls <i>Singlestage</i> .....	14
2.6. Nosel dan Sudu Turbin Impuls <i>Singlestage</i> Tampak Radial.....	15
2.7. Segitiga Kecepatan Uap.....	16
2.8. Nosel Konvergen dan Nosel Konvergen-Divergen.....	20
2.10. Sudu Impuls.....	23
3.1. Diagram Blok Tahapan Penelitian.....	30
3.2. Diameter Cakram Turbin.....	34
3.3. Lebar Profil Sudu.....	35
3.4. Besarnya jari- jari busur dari profil sudu.....	36
3.5. Jarak Bagi Antar Sudu Gerak.....	36
3.6. Profil sudu gerak.....	37
3.7. Desain Pemasangan Turbin Pada Maket PLTU .....	38
4.1. .Realisasi Pembuatan Turbin Uap.....	53
4.2. Diagram Perubahan Rpm Turbi Tanpa Generator.....	57
4.3. Diagram Perubahan Rpm Turbi Dengan Generator Tanpa Beban.....	57
4.4. Diagram Perubahan Tegangan Turbi Dengan Generator Tanpa Beban....	58

## DAFTAR LAMPIRAN

	<b>Halaman</b>
<b>Lampiran 1. Komponen Turbin.....</b>	<b>67</b>
<b>Lampiran 2. Proses Balancing Komponen Turbin.....</b>	<b>68</b>
<b>Lampiran 3. Prosesl Pengujian.....</b>	<b>69</b>
<b>Lampiran 4. Pengujian Dengan Torsi Meter.....</b>	<b>70</b>
<b>Lampiran 5. Pengujian Dengan Generator Tanpa Beban.....</b>	<b>71</b>
<b>Lampiran 6. Pengujian Tanpa Generator.....</b>	<b>71</b>
<b>Lampiran 7. Desain Komponen Turbin.....</b>	<b>74</b>

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang Masalah**

Pada era modern sekarang ini, energi merupakan kebutuhan yang sangat penting bagi umat manusia. Energi sangat dibutuhkan untuk melakukan berbagai aktifitas sosial dan ekonomi. Energi akan mendukung untuk pemenuhan kebutuhan-kebutuhan dasar seperti penyediaan listrik yang digunakan pada berbagai bidang, ide tentang turbin uap sudah ada sejak tahun 120 S.M. Hero di Alexandria yaitu Turbin Hero, pembuat prototip turbin yang pertama yang bekerja berdasarkan prinsip reaksi, yaitu : terdiri sumber kalor, bejana yang diisi dengan air, penampang yang berbentuk bola dengan pipa penyembur (nosel). Air yang terdapat didalam bejana dipanaskan dan diuapkan yang menghasilkan uap jenuh, mengalir melalui pipa-pipa menuju penampung berbentuk bola. Dengan kenaikan tekanan, uap yang ada di dalam penampung berbentuk bola itu dikeluarkan ke ruang bebas melalui nosel. Semburan uap yang keluar dari nosel ini akan menyebabkan terjadinya gaya reaksi pada nosel itu sendiri dan memaksa bola itu berputar pada sumbu mendatarnya.(P. Shlyakhin,7)

Ada banyak sumber-sumber energi utama yang digolongkan menjadi dua kelompok besar yaitu sumber energi konvensional (tidak terbarukan) dan sumber energi non-konvensional (terbarukan). Energi konvensional adalah energi yang diambil dari sumber yang hanya tersedia dalam jumlah terbatas di bumi dan tidak dapat diregenerasi. Sumber-sumber energi ini akan berakhir cepat atau lambat dan berbahaya bagi lingkungan. Misalnya, minyak bumi, batu bara dan gas alam. Sedangkan Energi terbarukan adalah energi yang dihasilkan dari sumber alami

seperti matahari, angin, dan air dan dapat dihasilkan lagi. Sumber akan selalu tersedia dan tidak merugikan lingkungan.

Sumber-sumber energi konvensional dan non-konvensional / terbarukan bisa dikonversikan menjadi sumber-sumber energi sekunder. Energi sekunder merupakan energi primer yang telah mengalami proses lebih lanjut, seperti listrik. Sedangkan energi primer adalah energi yang langsung diberikan oleh alam dalam wujud aslinya dan belum mengalami perubahan. Sumber energi primer diperlukan untuk menghasilkan energi listrik. Misalnya minyak bumi, batu bara dan gas alam dikonversikan menjadi energi listrik menggunakan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) atau pembangkit listrik tenaga gas (PLTG). Energi potensial air diubah menjadi energi mekanik yang memutar turbin air yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik menggunakan generator pada pembangkit listrik tenaga air (PLTA).

Energi listrik merupakan bentuk energi sekunder yang paling dominan digunakan oleh manusia sekarang. Penggunaan energi listrik misalnya untuk penerangan menggunakan lampu, untuk memasak menggunakan *rice cooker*, mendengar berita melalui radio, melihat berita atau hiburan dari televisi dan masih banyak lagi kegunaan listrik bagi kehidupan manusia.

Pemanfaatan bahan bakar untuk dikonversikan menjadi energi yang dibutuhkan oleh manusia, dibagi menjadi konversi tenaga skala kecil, sedang dan menengah. Untuk konversi tenaga skala kecil ataupun sedang dapat menggunakan mesin-mesin torak diesel, bensin ataupun turbin gas. Namun untuk konversi tenaga dengan skala besar dari bahan bakar konvensional menjadi energi yang

dibutuhkan oleh manusia dapat menggunakan kombinasi ketel uap / *boiler* dengan turbin uap.

Turbin uap adalah suatu penggerak mula yang merubah energi potensial uap menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran pada poros turbin. Poros turbin ada yang langsung dihubungkan dengan mekanisme objek yang digerakkan, ada pula dengan bantuan roda gigi reduksi baru dihubungkan dengan mekanisme objek yang digerakkan. Dalam penulisan ini penulis menggunakan turbin ini sebagai penggerak mula dari generator untuk menghasilkan daya listrik. (Suyitno M., M.Pd., 2011: 135)

Dalam proses ini, energi potensial uap dirubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros. Turbin uap secara umum diklasifikasikan ke dalam tiga jenis, yaitu : Turbin *impuls*, Turbin reaksi, dan Turbin gabungan (impuls dan reaksi), yang tergantung pada cara perolehan energi potensial menjadi energi kinetik.

Sejak saat itu teori tentang turbin uap terus berkembang dengan pesat dan hal tersebut juga diikuti oleh perkembangan aplikasi dari turbin. Turbin uap sebagai salah satu mesin konversi energi merupakan salah satu alternatif yang baik karena dapat mengubah energi potensial uap menjadi energi mekanik pada poros turbin. Untuk menghasilkan energi listrik, mekanisme yang digunakan dalam hal ini adalah poros generator. Pada generator energi mekanik yang diteruskan dari poros akan diubah menjadi energi listrik. Selain itu turbin uap mempunyai kelebihan-kelebihan dibanding dengan mesin penggerak lainnya contohnya misalnya mesin uap, maka turbin uap mempunyai keuntungan untuk penerapan, seperti : Untuk daya yang sama, ukuran-ukuran turbin uap lebih kecil dari pada mesin uap torak.

Dengan bentuk dan konstruksi yang lebih ringan.(Wilson M.N.Gurning, 2010, Perancangan Turbin Uap untuk Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi, Medan )

Bertitik tolak dari uraian di atas, maka penulis tertarik untuk membuat turbin uap sederhana sebagai penggerak mula yang mampu memutar torsi generator berdasarkan dari tekan uap yang masuk, dan diubah menjadi putaran melalui putaran poros turbin.

## **1.2. Identifikasi Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan sebelumnya, dapat dijabarkan beberapa masalah yang dapat diidentifikasi, yaitu:

1. Bagaimanakah cara kerja turbin uap pada maket Pembangkit Listrik Tenaga Uap ?
2. Bagaimanakah merancang turbin uap pada maket Bagaimanakah cara merancang turbin uap pada maket ?
3. Bagaimanakah cara mengatur tekanan uap pada nosel turbin uap ?
4. Bagaimanakah cara mengatur rpm yang diinginkan untuk memutar rotor generator sehingga menghasilkan listrik ?
5. Bagaimana cara memperoleh torsi pada turbin uap untuk memutar rotor pada generator ?

## **1.3. Batasan Masalah**

Dari uraian permasalahan yang telah diidentifikasi, untuk lebih menspesifikasikan penelitian dilakukan pembatasan ruang lingkup penelitian sebagai berikut :

1. Jenis turbin yang digunakan: Turbin *impuls single stage*
2. Tekanan uap masuk maksimal :  $8 \text{ kg/cm}^2$

3. Tekanan uap masuk minimall : 4 kg/cm<sup>2</sup>
4. Temperature maksimal yang masuk: 170°C
5. Putaran minimal yang dihasilkan : 1500 rpm

#### **1.4. Perumusan Masalah**

Berdasarkan identifikasi masalah dan batasan masalah yang telah dikemukakan sebelumnya, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah apakah prototipe turbin uap pada maket pembangkit listrik tenaga uap yang dibangun mampu menghasilkan torsi lebih besar untuk memutar torsi generator ?

#### **1.5. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan prototipe turbin uap pada maket pembangkit listrik tenaga uap yang mampu memutar torsi generator.

#### **1.6. Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat baik dari segi keilmuan maupun segi praktis. Adapun kegunannya sebagai berikut :

1. Dari segi keilmuan, hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat dan memberikan kontribusi khususnya pada pengembangan ilmu dibidang pembangkit energi listrik yang berhubungan dengan perancangan turbin uap sebagai penggerak mula pada generator pembangkit listrik pada Jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Jakarta.
2. Dari segi praktis, hasil penelitian ini diharapkan menjadi referensi bagi pembuat/ produsen untuk mengembangkan jenis-jenis turbin uap untuk keperluan-keperluan tertentu seperti untuk industry dan kehi masyarakat.



## **BAB II**

### **KAJIAN TEORI**

#### **2.1. Pengertian Rancang Bangun**

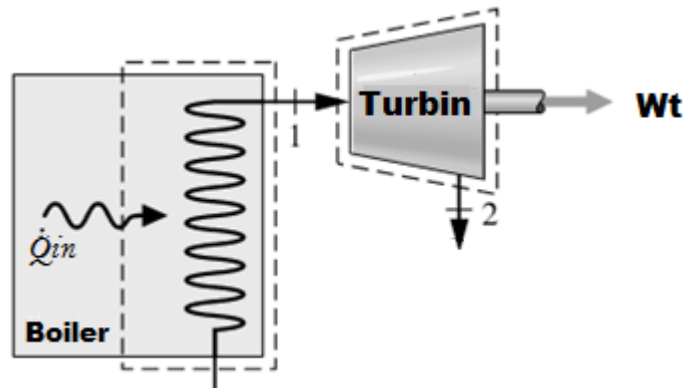
Rancang merupakan serangkaian prosedur untuk menerjemahkan hasil analisa dari sebuah sistem untuk mendeskripsikan dengan detail bagaimana komponen-komponen sistem diimplementasikan. Rancangan sistem adalah penentuan proses dan data yang diperlukan oleh sistem baru. Perancangan adalah kegiatan yang memiliki tujuan untuk mendesain sistem baru yang dapat menyelesaikan masalah-masalah yang dihadapi perusahaan yang diperoleh dari pemilihan alternatif sistem yang terbaik. Sedangkan pengertian bangun atau pembangunan sistem adalah kegiatan menciptakan sistem baru maupun mengganti atau memperbaiki sistem yang telah ada baik secara keseluruhan maupun sebagian (Pressman, 2002). Bangun sistem adalah membangun sistem informasi dan komponen yang didasarkan pada spesifikasi desain

Dengan demikian pengertian rancang bangun merupakan kegiatan menerjemahkan hasil analisa ke dalam bentuk paket kemudian menciptakan sistem tersebut ataupun memperbaiki sistem yang sudah ada.

#### **2.2. Evaluasi Kerja Utama dan Perpindahan Kalor**

Prinsip kerja dan perpindahan kalor dari sebuah siklus rankine akan diilustrasikan pada Gambar 2.1. dalam ilustrasi perpindahan energi dianggap positif kearah tanda panah. Perpindahan kalor yang terbuang tidak dapat dihindari antara komponen pembangkit dan sekelilingnya, hal tersebut akan diabaikan untuk memudahkan analisis. Perubahan energi kinetik dan potensial juga diabaikan. Setiap komponen dianggap beroperasi pada kondisi tunak. Dengan

menggunakan prinsip konservasi massa dan konservasi energi bersama-sama dengan idealisasi tersebut.



**Gambar 2.1. Prinsip kerja dan perpindahan kalor pada siklus *rankine***

(Sumber: <http://artikel-teknologi.com/siklus-rankine/>)

### 2.3. Pengertian Turbin

Turbin adalah suatu alat penggerak mula (prime mover engine), di mana sebuah fluida (energi potensial) yang langsung dipergunakan untuk menggerakkan turbin melalui nosel lalu diteruskan pada sudu-sudu turbin (energi mekanik). Jadi, berbeda dengan yang terjadi pada mesin torak, pada turbin tidak terdapat bagian mesin yang bergerak translasi.

Bagian turbin yang berputar dinamai rotor atau roda turbin, sedangkan bagian yang tidak berputar dinamai stator atau rumah turbin. Roda turbin terletak di dalam rumah turbin dan roda turbin memutar poros daya yang menggerakkan atau memutar bebannya (generator listrik, pompa, kompresor, baling-baling atau mesin lainnya). Di dalam turbin fluida kerja mengalami proses ekspansi, yaitu proses penurunan tekanan, dan mengalir secara kontinu. Fluida kerjanya dapat berupa air, uap air atau gas, sehingga ada 3 jenis turbin diantaranya : Turbin Air Turbin Uap Turbin Gas.

### 2.3.1. Turbin Uap

Turbin uap (*steam turbine*) adalah penggerak mula yang mengubah energi potensial menjadi energi kinetik dan energi kinetik ini selanjutnya di ubah menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin. Putaran poros turbin dapat langsung dihubungkan dengan mekanisme yang akan digerakkan. Tergantung pada mekanisme yang digunakan, turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang seperti bidang industri, untuk pembangkit tenaga listrik, dan untuk transportasi. Pada proses perubahan energi potensial menjadi energi mekanisnya yaitu dalam bentuk putaran dilakukan dengan berbagai cara.

Turbin uap pertama dikembangkan oleh *Sir Charles Parsons* pada tahun 1884. Pada perkembangannya, turbin uap ini mampu menggantikan peranan dari kinerja mesin uap piston torak. Hal ini disebabkan karena turbin uap memiliki kelebihan berupa efisiensi termal yang lebih besar dan perbandingan berat dengan daya yang dihasilkan yang cukup tinggi. Pada prosesnya turbin uap menghasilkan gerak rotasi, sehingga hal ini dapat digunakan sebagai penggerak generator listrik. Secara umum turbin uap diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu : Impuls, reaksi, dan gabungan impuls dan reaksi (*Shlyakhin,P: Turbin uap*)

Bagian utama pada turbin :

- Rumah turbin adalah sebagai penutup (rumah) bagian-bagian utama turbin.
- Rotor adalah bagian turbin yang berputar terdiri dari:
- Poros berfungsi sebagai komponen utama tempat dipasangnya cakram-cakram sepanjang sumbu.
- Sudu turbin atau deretan sudu berfungsi sebagai alat yang menerima gaya dari energi kinetik uap melalui nosel.

- Cakram berfungsi sebagai tempat sudu-sudu dipasang secara radial pada poros.
- Nosel berfungsi sebagai media ekspansi uap yang merubah energi potensial menjadi energi kinetik.
- Bantalan merupakan bagian yang berfungsi untuk menyokong kedua ujung poros dan banyak menerima beban.
- Kopling berfungsi sebagai penghubung antara mekanisme turbin uap dengan mekanisme yang digerakkan yaitu generator.

### 2.3.2. Tipe Turbin Uap

Secara umum tipe turbin uap dapat dibagi ke dalam beberapa kategori, diantaranya sebagai berikut:

Berdasarkan arah aliran uapnya

- a) Turbin aksial, yaitu turbin dengan arah aliran uap sejajar dengan sumbu poros, turbin ini banyak digunakan dengan fluida yang kompresibel serta lebih efisien daripada tipe radial dengan rentang operasi yang luas.
- b) Turbin radial, yaitu turbin dengan arah aliran uap tegak lurus terhadap sumbu poros.

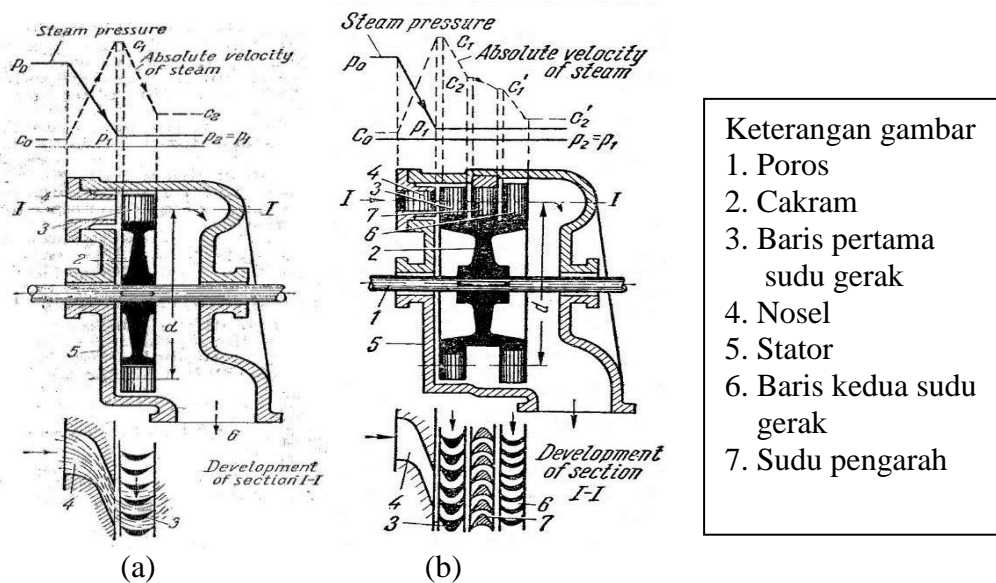
Berdasarkan geometri sudu dan proses konversi energi uap / prinsip kerja uap.

#### a) Turbin *Impuls*

Pada turbin *impuls*, uap diekspansikan di nosel sehingga terjadi konversi energi termal menjadi energi kinetik, yang selanjutnya diubah menjadi energi gerak pada sudu turbin dan digunakan untuk menggerakkan rotor. Menurut rentang operasinya, turbin impuls yang paling banyak digunakan terdiri dari :

- Turbin Uap *Curtis*

Turbin uap *Curtis* adalah turbin uap yang bekerja dengan prinsip impuls aksi dengan aliran aksial, sistem tingkat tekanan tunggal dan lebih dari satu tingkat kecepatan. Turbin uap ini memiliki putaran yang lebih rendah dari turbin uap *De-Laval* dan daya yang dihasilkan dapat mencapai 4.000 kW, sehingga turbin uap ini dapat dipakai untuk kapasitas generator yang sedang. Dalam turbin uap *Curtis* ini, uap hanya diekspansikan pada nosel (sudu tetap yang pertama) dan selanjutnya tekanan konstan sedangkan dalam baris sudu gerak tidak terjadi ekspansi. Meskipun demikian, dalam kenyataannya penurunan tekanan yang kecil di dalam sudu gerak dapat dihindarkan berhubung adanya gesekan, aliran turbulen dan kerugian lainnya. Keunggulan jenis turbin uap ini adalah konstruksinya sederhana, mudah dioperasikan namun efisiensinya rendah. Berikut ini Gambar 2.2. adalah penampang turbin uap *curtis* dan grafik tekanan serta kecepatan yang terjadi pada sudu turbin.



Gambar 2.2. (a) Turbin uap *singlestage* (b) Turbin uap *multystage*

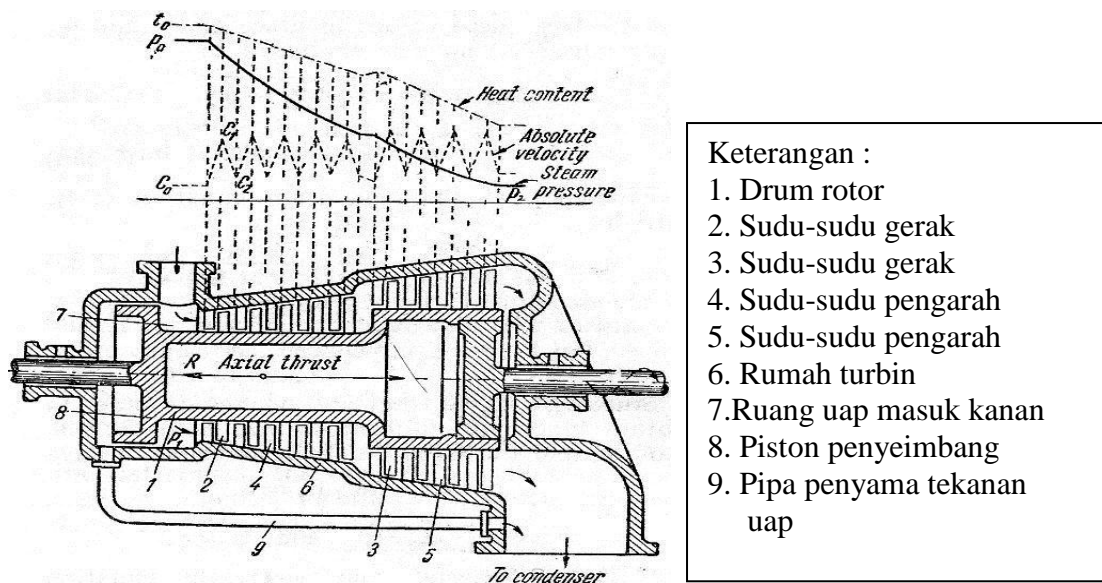
(Sumber: P. Shlyakhin: 58,62)

- Turbin Uap *Zoelly/Rateau*

Turbin uap *Zoelly/Rateau* adalah turbin uap yang bekerja dengan prinsip impuls aksi dengan sistem tekanan bertingkat. Tekanan uap turun secara bertahap di dalam baris sudu tetap saja, sedangkan di dalam baris sudu gerak tidak terjadi penurunan tekanan. Daya yang dihasilkan adalah daya yang besar pada putaran rendah. Sehingga turbin uap ini cocok dipakai sebagai penggerak daya generator yang besar. Keuntungan turbin ini adalah efisiensinya yang tinggi, tetapi biaya konstruksinya mahal. Dengan demikian konstruksinya lebih rumit dari turbin uap satu tingkat tekanan.

b) Turbin Reaksi

Berikut ini Gambar 2.3. adalah turbin reaksi, nosel dan sudu berekspansi sehingga tekanan static menurun di sudu gerak dan sudu tetap. Sudu tetap berlaku sebagai nosel dan mengarahkan aliran ke sudu gerak dengan kecepatan yang meningkat.

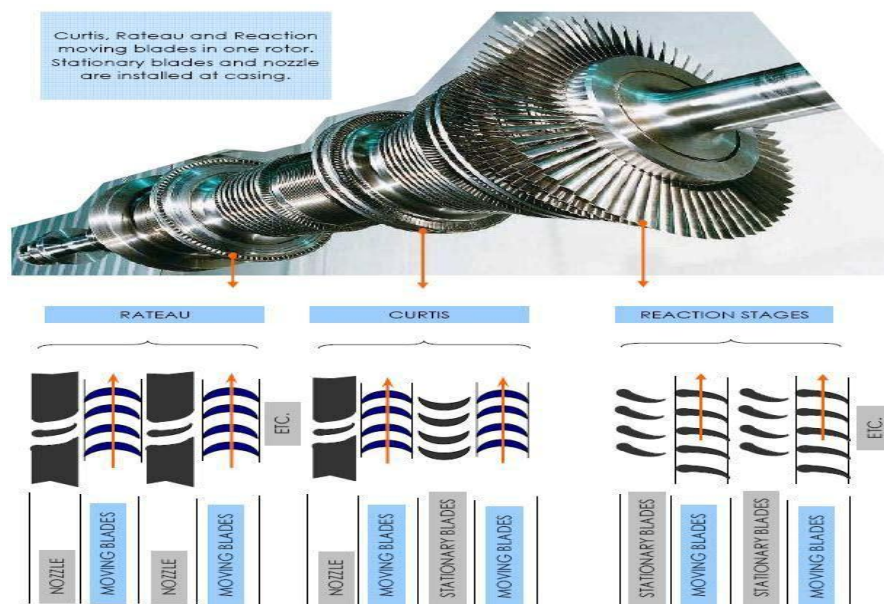


**Gambar 2.3. Penampang turbin reaksi**

(Sumber: P. Shlyakhin: 80)

Secara umum Berikut ini Gambar 2.4. adalah, konstruksi turbin reaksi banyak digabungkan dengan turbin impuls. Tujuan dari turbin impuls adalah untuk mengontrol kecepatan dan mereduksi enthalpi uap, sedangkan turbin reaksi hanya menerima kondisi uap dari sudu impuls. Beberapa tipe gabungan turbin reaksi dan impuls :

- 1 tingkat Curtis + beberapa baris Rateau + baris reaksi
- 1 tingkat Rateau + baris reaksi
- Beberapa baris Rateau + baris reaksi



**Gambar 2.4. Penggabungan sudu turbin uap Impuls dan Reaksi**  
 (Sumber: Anonymous, "Rateau, Curtis, Reaction Stage," [www.irnnco.com](http://www.irnnco.com), diakses: 3 Agustus 2016)

Susunan tingkat turbin pada Gambar 2.4. merupakan gabungan antara turbin jenis *Rateau*, *Curtis*, dan *Reaction stages*. Nosel dan sudu tetap pada masing-masing tingkat memiliki fungsi yang sama yakni menurunkan tekanan. Namun demikian berbeda dengan sudu tetap yang berbentuk impuls, dalam bentuk sudu ini tidak ada penurunan tekanan pada sudu tetap yang berbentuk impuls.

Berdasarkan kondisi uap yang meninggalkannya

a) Turbin tekanan lawan (*back pressure turbine*)

Yaitu turbin yang tekanan uap bekasnya berada di atas tekanan atmosfer dan digunakan untuk keperluan proses.

b) Turbin kondensasi langsung

Yaitu turbin yang uap bekasnya dikondensasikan langsung dalam kondensor untuk mendapatkan air kondensor pengisian ketel.

c) Turbin ekstraksi dengan tekanan lawan

Yaitu turbin yang sebagian uap bekasnya dicerat (diekstraksi) dan sebagian lagi digunakan untuk keperluan proses.

d) Turbin ekstraksi dengan kondensasi

Yaitu turbin yang sebagian uap bekasnya di cerat (diekstraksi) sebagian lagi dikondensasikan dalam kondensor untuk mendapatkan air kondensat pengisian ketel.

e) Turbin non kondensasi dengan aliran langsung

Yaitu turbin yang uap bekasnya langsung dibuang ke udara.

f) Turbin non kondensasi dengan ekstraksi

Yaitu turbin yang sebagian uap bekasnya dicerat (diekstraksi) dan sebagian lagi dibuang ke udara.

Berdasarkan tekanan uapnya, yaitu

a) Turbin tekanan rendah, yaitu turbin dengan tekanan uap masuk hingga 2 ata.

b) Turbin tekanan menengah, yaitu turbin dengan tekanan uap masuk hingga 40 ata.

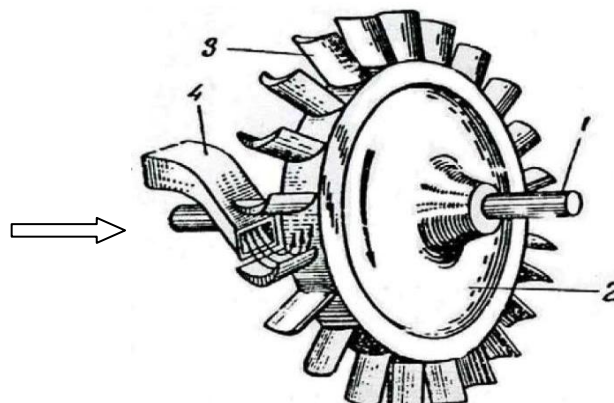


- c) Turbin tekanan tinggi, yaitu turbin dengan tekanan uap masuk hingga diatas 40 ata.
- d) Turbin tekanan sangat tinggi, yaitu turbin dengan tekanan uap masuk di atas 170 ata.
- e) Turbin tekanan super kritis, yaitu turbin dengan tekanan uap masuk di atas 225 ata.

Dalam merencanakan suatu turbin uap, dibutuhkan kecermatan dalam penentuan jenis turbin uap agar dapat menghasilkan daya yang diinginkan dengan tidak mengalami kerugian-kerugian yang besar. Penentuan jenis turbin uap ini sangat penting, bukan hanya dari factor teknisnya saja, tetapi juga faktor ekonomisnya, sehingga perlu diambil beberapa jenis turbin uap sebagai perbandingan terhadap turbin uap yang akan direncanakan (Anonymous, “*Rateau, Curtis, Reaction Stage,*” [www. irnnco.com](http://www.irnnco.com), diakses: 3 Agustus 2016).

### 2.3.3. Cara Kerja Turbin

Turbin uap telah mengalami perkembangan dalam desainnya. Turbin uap yang paling sederhana mempunyai komponen seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5. dengan komponennya, yaitu (1) poros, (2) roda, (3) sudu gerak, dan (4) nosel.

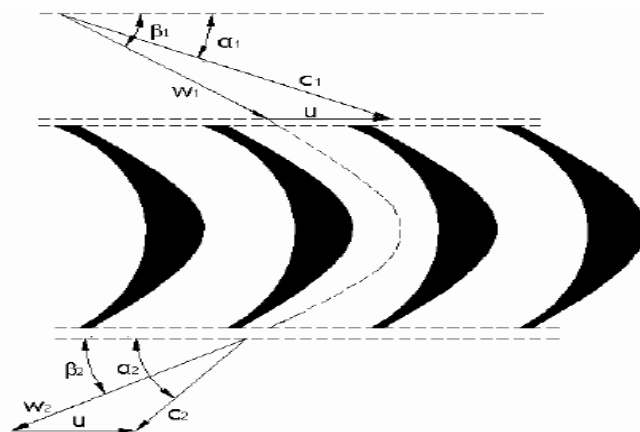


**Gambar 2.5** Sketsa turbin *impuls single stage*  
(Sumber: P. Shlyakhin, teori dan rancangan turbin uap: 8)

Ekspansi uap terjadi di dalam nosel dari tekanan awal yang tinggi ke tekanan akhir yang lebih rendah. Adanya penurunan tekanan dan entalpi akan menyebabkan terjadinya peningkatan kecepatan uap yang keluar dari nosel. Uap kemudian masuk kedalam sudu gerak yang menyatu dengan roda. Pada sudu, uap mengalami perubahan momentum atau momen momentum sehingga dibangkitkan gaya atau torsi yang memutar poros.

### 2.3.4. Segitiga Kecepatan Pada Turbin *Impuls*

Ketika sudu gerak berputar, maka akan terjadi kecepatan relatif antara uap dengan sudu gerak seperti pada gambar 2.6.



**Gambar 2.6. Nosel dan sudu turbin *impuls single stage* tampak radial**

(Sumber: P. Shlyakhin, teori dan rancangan turbin uap: 28)

Langkah pertama yang dilakukan dalam menentukan daya turbin yang akan dihasilkan dengan mencari penurunan entalpi ( $\Delta h$ )

$$W_t = Q$$

$$W_t = m_{\text{uap}} \times (\Delta h) \dots \dots \dots (\text{pers. 2.1})$$

Sehingga,

$$\Delta h = \frac{W_t}{m_{\text{uap}}}$$

Dimana:  $W_t$  = daya turbin (kW)

$Q$  = sumber energy (kJ/kg)

$m_{\text{uap}}$  = laju uap (kg/s)

$\Delta h$  = penurunan entalpi (kJ/kg)

Secara matematis, hubungan antara kecepatan-kecepatan tersebut dinyatakan sebagai berikut:

$$c = u + w \dots\dots\dots(\text{pers. 2.2})$$

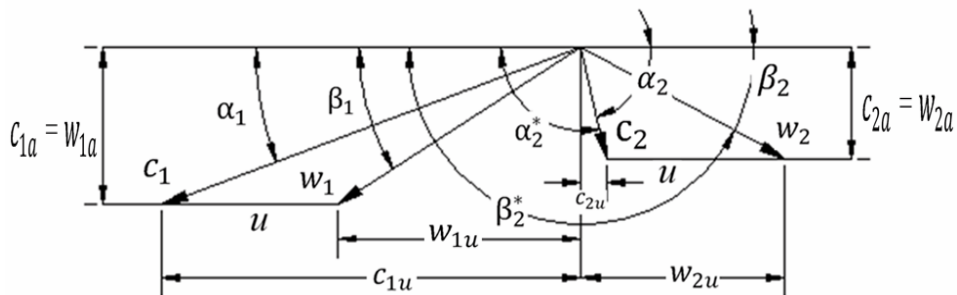
$$c_1 = u_1 + w_1 \text{ dan } c_2 = u_2 + w_2 \dots\dots\dots(\text{pers. 2.3})$$

dimana :  $c$  = kecepatan absolut uap

$u$  = kecepatan keliling sudu gerak

$w$  = kecepatan relatif uap terhadap sudu gerak

persamaan 2.2 dan 2.3 tersebut merupakan vektor dan biasa dinyatakan dalam segitiga kecepatan seperti pada Gambar 2.7. :



**Gambar 2.7. Segitiga Kecepatan Uap**

(SumberP. Shlyakhin, teori dan rancangan turbin uap: 59)

Dari Gambar 2.7. diperoleh persamaan:

Pada arah tangensial:

$$c_{1u} = c_1 \cdot \cos \alpha_1 \quad w_{1u} = w_1 \cdot \cos \beta_1 \dots\dots\dots(\text{pers. 2.4})$$

$$c_{2u} = c_2 \cdot \cos \alpha_2 \quad w_{2u} = w_2 \cdot \cos \beta_2 \dots\dots\dots(\text{pers. 2.5})$$

Pada arah aksial:

$$c_{1a} = c_1 \cdot \sin \alpha_1 \quad w_{1a} = w_1 \cdot \sin \beta_1 \dots \dots \dots (\text{pers. 2.6})$$

$$c_{2a} = c_2 \cdot \sin \alpha_2 \quad w_{2a} = w_2 \cdot \sin \beta_2 \dots \dots \dots (\text{pers. 2.7})$$

Dari segitiga kecepatan diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$c_{1u} + c_{2a} = (w_{1u} + u) + (w_{2u} + u)$$

$$c_{1u} + c_{2a} = w_{1u} + w_{2a} \dots \dots \dots (\text{pers. 2.8})$$

Daya poros turbin sendiri dapat dicari melalui persamaan sebagai berikut:

$$W_{Poros\ Turbin} = m \cdot (c_{1u} + c_{2a})u = m(w_{1u} + w_{2a})u \dots \dots \dots (\text{pers. 2.9})$$

Uap dengan kecepatan absolute  $c_1$  keluar dari nosel, kemudian masuk barisan sudu gerak dengan sudut  $\alpha_1$ . Kecepatan uap yang masuk sudu gerak tersebut akan berubah arah dan besarnya karena roda berputar dengan kecepatan tangensial  $u$ . Kecepatan uap tersebut dinamakan dengan kecepatan relatif uap masuk sudu gerak ( $w_1$ ).

Uap dengan kecepatan absolute  $c_1$  keluar dari nosel, kemudian keluar melalui pipa buang dengan sudut  $\alpha_1$ . Penurunan tekanan dari  $p_0$  ke  $p_1$  berlangsung pada nosel. Sebagai akibat dari penurunan tekanan tersebut, maka kecepatan uap bertambah dari  $c_0$  menjadi  $c_1$ , perubahan energi kinetik uap menjadi mekanik dalam bentuk putaran poros turbin berlangsung dalam sudu yang terpasang pada roda turbin.

Untuk memperoleh gaya tangensial yang benar, maka sudu serang nosel dibuat sekecil mungkin. Namun, karena dibatasi konstruksi turbin, maka sudut serang nosel berada dalam batas sebagai berikut :

- a.  $\alpha_1 = 14^\circ - 20^\circ$  untuk turbin curtis satu tingkat kecepatan.
- b.  $\alpha_1 = 16^\circ - 22^\circ$  untuk turbin curtis dua tingkat kecepatan.

c.  $\alpha_1 = 20^\circ - 24^\circ$  untuk turbin curtis tiga tingkat kecepatan.

1) Kecepatan teoritis uap keluar dari nosel ( $c_{1t}$ ), yaitu :

$$c_{1t} = \sqrt{2000 \times \Delta h} \quad (\text{m/s}) \dots\dots\dots(\text{pers. 2.10})$$

Dimana :  $\Delta h$  = penurunan entalpi

2) Kecepatan uap keluar nosel ( $c_{1t}$ ), yaitu :

$$c_1 = \varphi \cdot c_{1t} \quad (\text{m/s}) \dots\dots\dots(\text{pers. 2.11})$$

Dimana  $\varphi$  = koefisien gesek pada dinding nosel (0,91 s/d 0,98)

3) Kecepatan keliling ( $u$ ), yaitu :

$$u = (u/c_1) \times c_1 \dots\dots\dots(\text{pers. 2.12})$$

Besarnya harga ( $u/c_1$ ) dipilih terlebih dahulu untuk turbin dengan kecepatan besarnya tersebut adalah sebagai berikut :

- a. Turbin impuls dengan satu tingkat kecepatan ( $u/c_1$ ) = 0,1 – 0,5
- b. Turbin impuls dengan dua tingkat kecepatan ( $u/c_1$ ) = 0,2 – 0,26
- c. Turbin impuls dengan tiga tingkat kecepatan ( $u/c_1$ ) = 0,1 – 0,18

4) Diameter cakram rata-rata ( $d$ ), yaitu :

$$d = \frac{u \cdot 60}{\pi \cdot n} \quad (\text{m}) \dots\dots\dots(\text{pers. 2.13})$$

dimana :  $n$  = putaran poros turbin (rpm)

$u$  = kecepatan putar keliling sudu (m/s)

5) Kecepatan relatif uap memasuki sudu gerak pertama ( $w_1$ ), yaitu :

$$w_1 = \sqrt{c_1^2 + u^2 - 2u c_1 \cos \alpha_1} \quad (\text{m/s}) \dots\dots\dots(\text{pers. 2.14})$$

6) Kecepatan absolut uap keluar sudu gerak baris pertama ( $c_{1u}$ ), yaitu :

$$c_{1u} = c_1 \cdot \cos \alpha_1 \quad (\text{m/s}) \dots\dots\dots(\text{pers. 2.15})$$

7) Kecepatan absolut uap keluar sudu gerak baris kedua ( $\beta_2$ ), yaitu :

$$c_{2u} = c_2 \cdot \cos \alpha_2 \quad (\text{m/s}) \dots\dots\dots(\text{pers. 2.16})$$

8) Sudut relatif masuk sudu gerak baris pertama ( $\beta_1$ ), yaitu :

$$\sin \beta_1 = \frac{c_1}{w_1} \sin \alpha_1 \dots\dots\dots(\text{pers. 2.17})$$

9) Sudut relatif masuk sudu gerak baris pertama ( $\beta_2$ ), yaitu :

$$\beta_2 = \beta_1 - (3^\circ - 6^\circ) \dots\dots\dots(\text{pers. 2.18})$$

10) Kecepatan relatif uap keluar sudu gerak pertama ( $w_2$ ), yaitu :

$$w_2 = \psi \times w_1 \dots\dots\dots(\text{pers. 2.19})$$

Dimana: koefisien sudu adalah ( $\psi$ ) = 0,82

11) Kecepatan mutlak uap keluar sudu gerak pertama ( $c_2$ ), yaitu :

$$c_2 = \sqrt{w_2^2 + u^2 - 2uw_2 \cos \beta_2} \quad (\text{m/s}) \dots\dots\dots(\text{pers. 2.20})$$

#### 2.4. Perancangan Nosel

Perancangan nosel yang dilakukan meliputi: pemilihan jenis, luas sisi masuk, luas sisi keluar, tinggi dan luas leher nosel. Pemilihan jenis nosel dibedakan menjadi dua golongan, yaitu:

- a) Nosel konvergen (nosel menguncup)
- b) Nosel konvergen-divergen (nosel menguncup-mengembang)

Acuan dalam perencanaan penggunaan kedua jenis nosel tersebut adalah sebagai berikut :

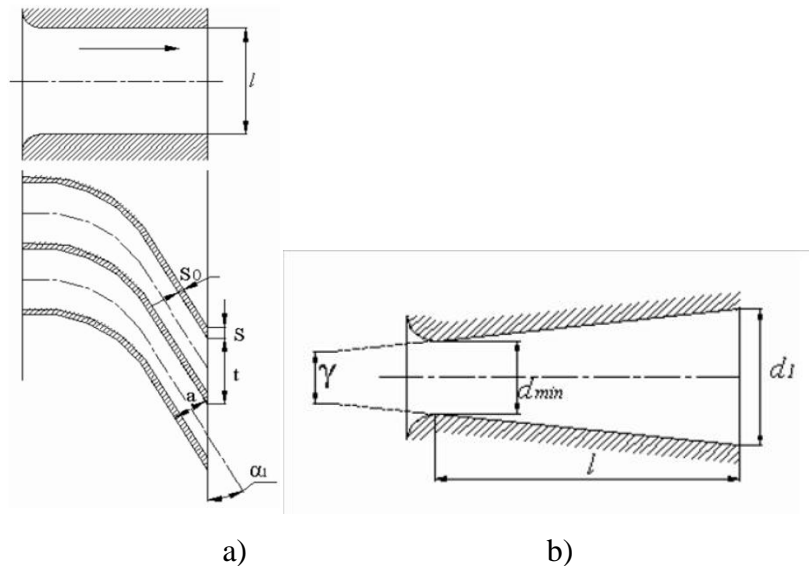
Apabila tekanan uap akhir setelah diekspansikan lebih kecil dari pada tekanan kritisnya ( $p_1 < p_{cr}$ ), maka nosel yang digunakan adalah nosel *konvergen-divergen*. Apabila tekanan uap akhir setelah diekspansikan lebih besar dari pada tekanan kritisnya, ( $p_1 < p_{cr}$ ), maka nosel yang digunakan adalah nosel *konvergen* seperti pada gambar 2.8.

Besar tekanan kritis didefinisikan sebagai berikut :

$$p_{cr} = p_0 \cdot v_{cr} \text{ (bar) .....(pers. 2.21)}$$

dimana :  $p_0$  = tekanan uap masuk nosel.

$v_{cr}$  = kecepatan kritis dengan besar 0,577 untuk uap kering jenuh dan 0,546 untuk uap panas lanjut.



**Gambar 2.8. a) Nosel konvergen dan b) Nosel konvergen-divergen**

(Sumber: P. Shlyakhin, teori dan rancangan turbin uap: 20)

### 2.4.1. Penentuan Dimensi Nosel

Dalam merencanakan dimensi nosel, hal pertama yang dilakukan adalah menentukan tinggi nosel dan derajat pemasukan uap. Berdasarkan derajat pemasukan uap, maka turbin dibagi menjadi: turbin dengan derajat pemasukan uap penuh dan turbin dengan derajat pemasukan sebagian (*partial admission*). Disebut turbin dengan derajat pemasukan uap penuh jika nosel yang digunakan, diletakan diseluruh keliling roda. Sedangkan turbin dengan derajat pemasukan sebagian adalah turbin dengan nosel tidak diletakan di seluruh bagian roda. Derajat pemasukan uap ( $\epsilon$ ) dinyatakan dengan persamaan:

$$\varepsilon = \frac{m}{\pi.d} = \frac{t.z}{\pi.d} \dots\dots\dots(\text{pers. 2.22})$$

Dimana :  $m$ : panjang busur yang digunakan nosel

$t$ : pitch, yaitu jarak dua buah nosel yang berdekatan pada diameter roda rata-rata

$z$ : jumlah nosel

$d$ : diameter roda rata-rata

Luas penampang nosel konvergen tegak lurus terhadap arah vektor kecepatan  $c_1$  adalah :

$$A_1 = a . l . z \dots\dots\dots(\text{pers. 2.23})$$

dimana :  $a$  : lebar nosel pada sisi keluar (minimum)

$l$  : tinggi nosel pada sisi keluar

$z$  : jumlah nosel

$b$  : lebar nosel

Dengan menerapkan persamaan kontinuitas pada sisi keluar maka diperoleh persamaan :

$$m . v_1 = A_1 . c_1 \dots\dots\dots(\text{pers. 2.24})$$

dimana :  $m$ : laju aliran massa melalui nosel (g/s)

$c_1$ : kecepatan uap pada sisi keluar nosel (m/s)

$v_1$ : volume spesifik uap pada sisi keluar ( $m^3 /g$ )

Dengan melakukan substitusi persamaan 2.24 ke persamaan 2.23 lalu persamaan 2.22 dan dari Gambar 2.8 bahwa  $a_1 = t . \sin a_1$  maka diperoleh :

$$G_1 . v_1 = a . l . z . c_1 = t . l . z . c_1 . \sin a_1 = \pi . d_1 . \varepsilon . l . c_1 . \sin a_1 \dots\dots(\text{pers. 2.25})$$

Dari persamaan 2.25 dapat diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$l = \frac{G_1 . v_1}{\pi . d_1 . \varepsilon . c_1 . \sin a_1} \text{ (mm)} \dots\dots\dots(\text{pers. 2.26})$$



Persamaan 2.27 sampai 2.32 adalah persamaan untuk menghitung dimensi nosel. Semua besaran pada persamaan diatas diketahui kecuali untuk harga  $l$  dan  $\varepsilon$ . Kita dapat menghitung  $l$  dengan mengasumsikan sejumlah nilai dari  $\varepsilon$  ataupun sebaliknya.

Nilai  $l$  dan  $\varepsilon$  harus memenuhi batasan tertentu. Hal ini sudah rekomendasikan oleh P. Sylyakhin, yaitu tinggi nosel maksimum adalah 10 mm dan minimum adalah 0,2. Pembatasan tersebut dilakukan karena kerugian yang terjadi pada nosel akan bertambah besar seiring dengan berkurangnya tinggi nosel dan derajat pemasukan uap sebagian.

Untuk nosel konvergen-divergen, luas penampang minimum ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

Untuk uap panas lanjut

Untuk uap jenuh kering

$$A_{min} = \frac{G_0}{209 \cdot \sqrt{\frac{p'_0}{v'_0}}}$$

$$A_{min} = \frac{G_0}{199 \cdot \sqrt{\frac{p'_0}{v'_0}}} \quad (\text{m}^2) \dots\dots(\text{pers. 2.27})$$

dimana :  $p_0$ : tekanan uap masuk nosel ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )

$v_0$ : volume spesifik uap sebelum nosel ( $(\text{kg}/\text{m}^3)$ )

Pada sisi masuk

$$A'_{min} = \frac{A_{min}}{z} \quad (\text{m}^2) \dots\dots\dots(\text{pers. 2.28})$$

Pada sisi keluar

$$A'_1 = \frac{A_1}{z} \quad (\text{m}^2) \dots\dots\dots(\text{pers. 2.29})$$

Lebar badan sebuah nosel adalah sebagai berikut:

Pada sisi masuk

$$a_{min} = \frac{A_{min}}{l_n} \quad (\text{m}) \dots\dots\dots(\text{pers. 2.30})$$

Pada sisi keluar

$$a_{min} = \frac{A'_1}{ln} \quad (\text{m}) \dots\dots\dots(\text{pers. 2.31})$$

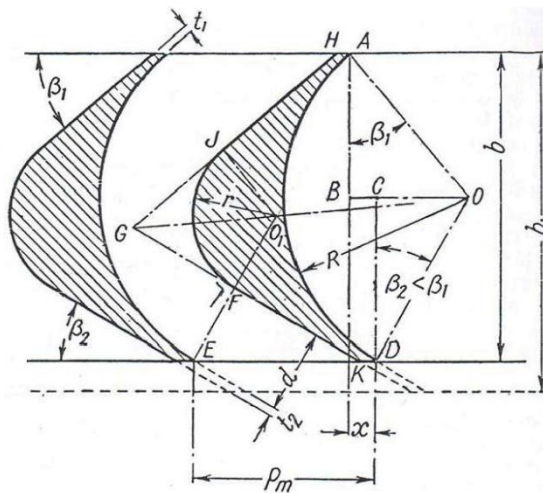
Panjang daerah divergensi nosel adalah sebagai berikut :

$$l_{div} = \frac{a_1 - a_{min}}{2 \cdot \tan(\gamma/2)} \quad (\text{m}) \dots\dots\dots(\text{pers. 2.32})$$

Sudut diversi nosel,  $\gamma$  disarankan  $6^\circ$ - $12^\circ$

### 2.4.2. Perancangan Sudu Gerak

Sudu gerak digunakan untuk merubah energi kinetik uap yang mengalir menjadi kerja mekanis pada poros turbin seperti pada gambar 2.9. Sudu gerak dipasang disekeliling rotor membentuk suatu piringan. Dalam suatu rotor turbin terdiri dari beberapa baris piringan dengan diameter yang berbeda-beda. Banyaknya baris sudu gerak biasanya disebut banyaknya tingkat.



**Gambar 2.9. Sudu impuls**

(Sumber: P. Shlyakhin, teori dan rancangan turbin uap: 61)

Luas penampang sudu gerak pada arah tegak lurus aliran uap didefinisikan sebagai berikut :

Untuk penampang sisi masuk sudu :

$$A_1 = \frac{G \cdot v_1}{w_1} \text{ (mm}^2\text{) .....(pers. 2.33)}$$

Untuk penampang sisi keluar sudu :

$$A_2 = \frac{G \cdot v_2}{w_2} \text{ (mm}^2\text{) .....(pers. 2.34)}$$

dimana :  $G$  = massa aliran uap melalui tingkatan turbin (kg/s)

$v_1, v_2$  = volume spesifik uap pada sisi masuk dan sisi keluar sudu (m /kg)

$w_1, w_2$  = kecepatan aliran uap pada sisi masuk dan sisi keluar sudu (m/s)

Tinggi sudu gerak dihitung dengan persamaan berikut :

$$l_1'' = \frac{G_0 \cdot v_2}{\pi \cdot d \cdot \varepsilon \cdot w_2 \cdot \sin \beta_2} \text{ (mm) .....(pers. 2.35)}$$

dimana :  $d$  = diameter rata-rata roda tempat sudu gerak (mm)

$\varepsilon$  = derajat pemasukan uap

Dimensi-dimensi lain sudu gerak ditentukan berdasarkan persamaan berikut :

$$\text{Radius depan sudu (R)} \quad : R = \frac{b}{\cos \beta_1 + \cos \beta_2} \text{ (mm) .....(pers. 2.36)}$$

dimana,  $b$  adalah lebar sudu

$$\text{Jarak bagi sudu (t)} \quad : t = \frac{R}{\sin \beta_1 + \sin \beta_2} \text{ (mm) .....(pers. 2.37)}$$

$$\text{Jumlah sudu (z)} \quad : z = \frac{\pi \cdot d}{t} \text{ (buah) .....(pers. 2.38)}$$

### 2.4.3. Kekuatan Sudu

Gaya – gaya sentrifugal yang bekerja pada sudu gerak menyebabkan terjadinya tegangan tarik yang besarnya konstan. Penampang yang paling berbahaya adalah penampang pada bagian leher sudu gerak karena ukurannya yang paling kecil.

Untuk menghitung besarnya gaya sentrifugal yang terjadi pada sudu gerak dengan penampang konstan dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{\pi \cdot n^2 \cdot \gamma}{900 \cdot g} \cdot [l_2'' \cdot r + \frac{F_s}{F_0} \cdot t_s \cdot r_s] \quad (\text{kg/cm}^2) \dots\dots\dots(\text{pers. 2.39})$$

dimana: n = putaran roda turbin ( rpm)

$\gamma$  = massa jenis bahan sudu (kg/cm

$l_2''$  = tinggi sudu keluar (cm)

r = jari-jari rata-rata sumbu sudu (cm)

$r_s$  = jari-jari rata-rata plat penguat sudu

$r_s = r + 0,5 \times l_2'' + 0,5 \times s$  ; (s = tebal selubung)

$t_s$  = panjang setiap bilah selubung

$$t_s = \frac{2\pi \cdot r_s}{z}$$

$F_s$  = luas plat penguat sudu = b x tebal selubung (cm<sup>2</sup>)

Besarnya momen torsi pada poros turbin dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$T = \frac{W_t \cdot 60}{2\pi \cdot n \cdot g} \quad (\text{Nm}) \dots\dots\dots(\text{pers. 2.40})$$

## 2.5.Pengertian Maket

Sebuah alat yang membutuhkan suatu rancangan yang detail tentang bagaimana alat tersebut akan dibuat. Dari mulai desain yang tidak hanya dilihat dari sisi depan atau sisi belakang, namun bisa dilihat dari segala sisi. Desain ini bisa berbentuk maket dalam bentuk yang lebih kecil dari aslinya.

Maket adalah model suatu bangunan yang diperkecil dengan perbandingan (skala) tertentu (Amin, 2006: 12). Dengan membuat maket kita dapat mengetahui bentuk ataupun detail bangunan tersebut nantinya. Dalam dunia arsitektur, maket

adalah model miniatur atau tiruan dari objek bangunan yang diperkecil dengan skala tertentu. Kriteria dari maket :

- Bentuk awal dari objek yang akan diproduksi dalam jumlah banyak.
- Maket dibuat berdasarkan pesanan untuk tujuan komersialisasi.
- Merupakan hasil penelitian dan pengembangan dari objek atau sistem yang direncanakan akan dibuat.
- Mudah dipahami dan dianalisis untuk pengembangan lebih lanjut.

## **2.6. Kerangka Berfikir**

Dalam penelitian rancang bangun turbin uap pada maket pembangkit listrik tenaga uap ini pertama turbin dirancang dengan melakukan perhitungan secara matang terlebih dahulu, berdasarkan dari teori-teori pendukungnya. Pemilihan bahan-bahan yang digunakan sebagai bahan utama dalam pembuatan turbin uap, agar mudah dalam pembuatan sudu-sudu, nosel, rumah turbin. sebelum membuat sudu-sudu turbin, sebelumnya kita harus mengetahui putaran yang dibutuhkan, yang dipengaruhi dari tekanan yang dihasilkan dari proses pembakaran pada boiler yang ditampung pada tangki uap, serta amati suhu uap yang dihasilkan, kerana apabila tekanannya tidak sesuai dengan perancangan pada perhitungan sudu-sudu turbin, maka terdapat kemungkinan-kemungkinan, seperti : apabila tekanan terlalu besar maka putaran turbin akan tidak stabil dan dapat menimbulkan kerusakan pada bagian turbin lainnya, dan tekanan yang seharusnya dapat memaksimalkan putaran turbin, tetapi hanya terbuang sia-sia melalui saluran pembuangan. Akan tetapi apabila tekanannya kurang dari perhitungannya maka energi kinetik yang diterima oleh sudu-sudu turbin tidak dapat memutar poros turbin dengan maksimal, sehingga saat generator berputar energi listrik

yang dihasilkan tidak sesuai dengan perhitungan yang sudah direncanakan. Rumah turbin juga terbuat dari bahan plat yang lebih tebal untuk dapat menopang berat turbin, sehingga tidak terjadi perubahan saat turbin beroperasi.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1. Tempat dan Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan di PT. BAHAGIA JAYA SEJAHTERA, Jatiasih, Bekasi dan bengkel mekanik jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Jakarta, Rawamangun, Jakarta Timur. Penelitian ini dilaksanakan pada Januari 2016–Desember 2016, Semester 103 dan 105 Tahun Akademik 2015/2016

#### **3.2. Metode Penelitian**

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif komparatif dengan pendekatan kuantitatif. Metode kuantitatif dapat diartikan sebagai metode penelitian yang berlandaskan pada filsafat positifisme, digunakan untuk meneliti pada populasi atau sampel tertentu, pengumpulan data menggunakan instrumen penelitian, analisis data bersifat kuantitatif/statistik, dengan tujuan untuk menguji hipotesis yang telah ditetapkan (Sugiyono,2009: 8).

Statistik deskriptif adalah statistik yang digunakan untuk menganalisis data dengan cara mendeskripsikan atau menggambarkan data yang telah terkumpul sebagaimana adanya tanpa bermaksud membuat kesimpulan yang berlaku untuk umum atau generalisasi (Sugiyono,2009:147).

#### **3.3.Alat dan Bahan Penelitian**

Alat dan bahan yang digunakan dalam perancangan dan penelitian ini adalah sebagai berikut :

##### **3.3.1. Bahan Penelitian**

- Pelat besi 3mm 1m<sup>2</sup>
- Pelat besi 5mm 1m<sup>2</sup>

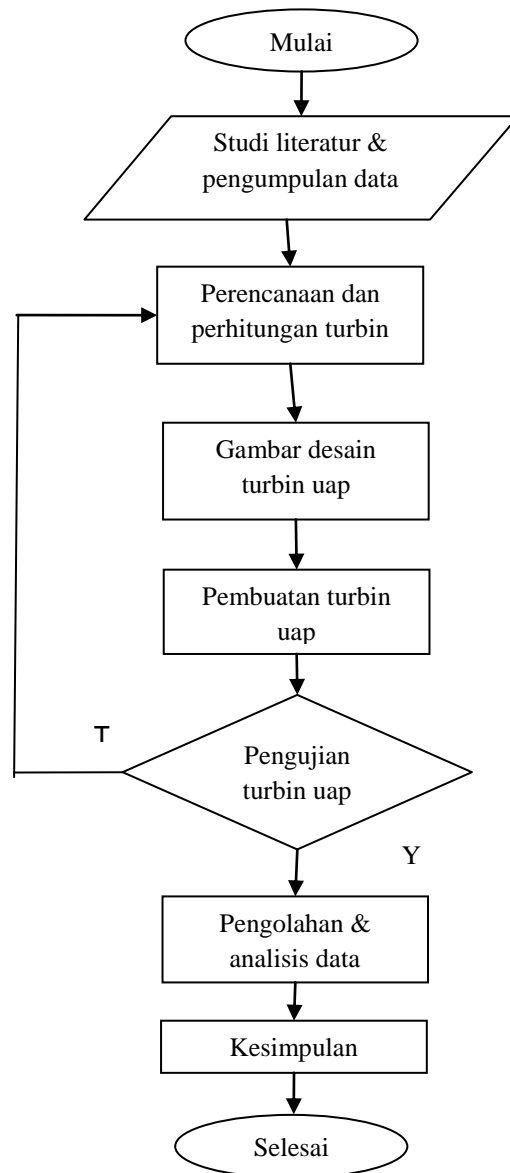
- Laher 6203 2buah
- Paking karet 1m<sup>2</sup>
- Poros besi 18 mm 30cm

### **3.3.2. Alat Penelitian**

- Perangkat komputer/laptop
- Mesin *Welding*
- Gerinda
- Mesin Bubut
- Alat penggulung
- pemotong pelat besi
- Penggaris
- Penitik
- Kacamata



### 3.4. Diagram Alir Penelitian



**Gambar 3.1. Diagram Blok Tahapan Penelitian**

Dikarenakan penelitian ini merupakan pembuatan alat, oleh sebab itu dilakukan pendahuluan dengan cara perancangan alat terlebih dahulu. Sebelum melakukan perancangan perlu mengetahui kebutuhan yang diperlukan seperti memahami konsep dasar turbin uap jenis impuls *single stage*, membuat sketsa bentuk alat yang akan dibuat, mulai dari perhitungan rumus-rumus dari teori

konsep turbin uap, perancangan dimensi tiap bagian turbin, perancangan nosel, dan perancangan kontrol tekanan uap.

a. Studi literatur dan pengumpulan data

Studi literature meliputi mencari dan mempelajari bahan pustaka yang berkaitan dengan segala permasalahan mengenai perencanaan maket turbin uap yang diperoleh dari berbagai sumber antara lain, buku, publikasi-publikasi ilmiah dan survei untuk mengumpulkan data mengenai komponen-komponen perakitan yang ada dipasaran.

b. Perencanaan dan perhitungan

Perencanaan dan perhitungan ini bertujuan untuk mendapatkan desain dan mekanisme yang optimal dengan memperhatikan data yang telah didapat dari studi literatur sehingga didapatkan referensi alat serta perhitungan yang dibutuhkan untuk pembuatan alat tersebut.

c. Gambar desain turbin uap

Membuat gambar desain turbin uap setelah melakukan proses perhitungan secara teliti yang berguna untuk mempermudah dalam proses penyusunan ukuran tiap bagian dan proses pembuatan turbin uap.

d. Pembuatan dan perakitan turbin uap

Pada tahap ini dilakukan proses pembuatan pada rancang bangun alat yang diperoleh dari perencanaan dan perhitungan. Dari hasil perhitungan dan perencanaan tersebut dapat diketahui dari spesifikasi dan dimensi dari komponen yang dibutuhkan pembuatan turbin uap. Dari komponen yang diperoleh kemudian dilakukan perakitan untuk membuat turbin uap yang sesuai dengan desain yang telah ditentukan.

e. Sesuai dengan perencanaan

Setelah rancang bangun alat selesai, silakukan pengujian alat tersebut dan dicatat hasil pengujiannya sesuai atau tidak dengan gambar perencanaan, perencanaan dan perhitungan, serta pembuatan dan perakitan yang telah dilakukan sebelumnya.

f. Pengolahan dan analisis data

Tahap ini dilakukan dengan mengolah dan menganalisis data yang didapat dari hasil pengujian yang telah dilakukan. Setelah itu menarik kesimpulan dan pembuatan laporan.

### **3.5. Teknik dan Prosedur Pengumpulan data**

#### **3.5.1. Perancangan Turbin Uap (*steam turbine*)**

Turbin Uap ini menggunakan tipe turbin *impuls single stage*, sehingga sudu-sudunya yang bergerak karena mendapat energi kinetik dari nosel. Turbin uap ini terdiri dari tiga bagian utama yaitu turbin, sudu-sudu, nosel, rumah turbin.

Sebelum melakukan perancangan dan perhitungan dimensi turbin, maka terlebih dahulu harus mengetahui spesifikasi *boiler* serta generator sehingga uap yang akan disuplai bisa untuk memutar torsi generator dengan tekanan dan kecepatan yang sesuai.

##### **3.5.1.1. Kecepatan Alir Uap**

Langkah pertama yang dilakukan dalam menentukan daya turbin yang akan dihasilkan dengan mencari penurunan entalpi ( $\Delta h$ ) sesuai dengan persamaan 2.1.

$$W_t = Q$$

$$W_t = m_{\text{uap}} \times (\Delta h)$$

Sehingga,

$$\Delta h = \frac{Wt}{m u_{ap}}$$

Uap dengan kecepatan absolute  $c_1$  keluar dari nosel, kemudian masuk barisan sudu gerak dengan sudut  $\alpha_1$ . Kecepatan uap yang masuk sudu gerak tersebut akan berubah arah dan besarnya karena roda berputar dengan kecepatan tangensial  $u$ . Kecepatan uap tersebut dinamakan dengan kecepatan relatif uap masuk sudu gerak ( $w_1$ ).

Uap dengan kecepatan absolute  $c_1$  keluar dari nosel, kemudian keluar melalui pipa buang dengan sudut  $\alpha_1$ . Penurunan tekanan dari  $p_0$  ke  $p_1$  berlangsung pada nosel. Sebagai akibat dari penurunan tekanan tersebut, maka kecepatan uap bertambah dari  $c_0$  menjadi  $c_1$ , perubahan energi kinetik uap menjadi mekanik dalam bentuk putaran poros turbin berlangsung dalam sudu yang terpasang pada roda turbin.

Untuk memperoleh gaya tangensial yang benar, maka sudu serang nosel dibuat sekecil mungkin. Namun, karena dibatasi konstruksi turbin, maka sudut serang nosel berada dalam batas sebagai berikut :

1.  $\alpha_1 = 14^\circ - 20^\circ$  untuk turbin curtis satu tingkat kecepatan.
2.  $\alpha_1 = 16^\circ - 22^\circ$  untuk turbin curtis dua tingkat kecepatan.
3.  $\alpha_1 = 20^\circ - 24^\circ$  untuk turbin curtis tiga tingkat kecepatan.

Kecepatan teoritis uap keluar dari nosel ( $c_{1t}$ ), sesuai dengan persamaan 2.10:

$$c_{1t} = \sqrt{2000 \times \Delta h} \quad (\text{m/s})$$

Maka didapat Kecepatan uap keluar nosel ( $c_{1t}$ ), sesuai dengan persamaan 2.11:

$$c_1 = \varphi \cdot c_{1t} \quad (\text{m/s})$$

Besarnya harga  $\left(\frac{u}{c_1}\right) = 0,3$  dipilih untuk turbin impuls dengan satu tingkat

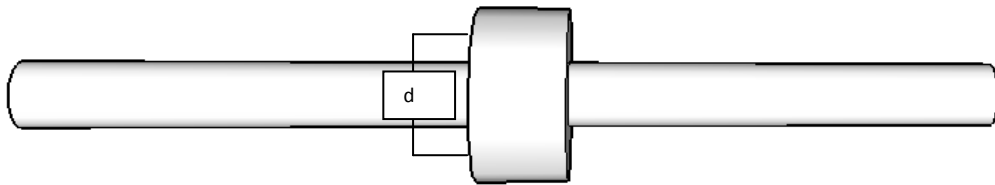
kecepatan  $(u/c_1) = 0,1 - 0,5$

Kecepatan keliling ( $u$ ), sesuai dengan persamaan 2.12:

$$u = (u/c_1) \times c_1$$

Diameter cakram rata-rata ( $d$ ), sesuai dengan persamaan 2.13 dan seperti pada gambar 3.2.

$$d = \frac{u \cdot 60}{\pi \cdot n}$$



**Gambar 3.2. Diameter Cakram Turbin**

Kecepatan relatif uap memasuki sudu gerak ( $w_1$ ), sesuai dengan persamaan 2.14:

$$w_1 = \sqrt{c_1^2 + u^2 - 2u c_1 \cos a_1} \quad (\text{m/s})$$

Sudut kecepatan relative uap memasuki sudu gerak sesuai dengan persamaan 2.17 :

$$\sin \beta_1 = \frac{c_1}{w_1} \cdot \sin a_1$$

Kecepatan relatif uap keluar sudu gerak pertama ( $w_2$ ), sesuai dengan persamaan 2.19:

$$w_2 = \psi \cdot w_1$$

Dengan mengambil sudut relatif keluar uap ( $\beta_2$ ) lebih kecil 3 dari sudut kecepatan relatif masuk uap:  $\beta_2 - 3 = 87^\circ$  sesuai dengan persamaan 2.18,

diperoleh kecepatan absolute uap keluar sudu gerak sesuai dengan persamaan 2.20 :

$$c_2 = \sqrt{w_2^2 + u^2 - 2u w_2 \cos \beta_2} \quad (\text{m/s})$$

### 3.5.1.2. Penentuan Dimensi Nosel

Nilai minimum terjadi pada kerongkongan yang disebut tekanan kritis ( $P_{cr}$ ) yang sama dengan  $0,577 P_0$  (untuk uap jenuh) dan  $0,546 P_0$  (untuk uap panas lanjut). maka tekanan kritisnya dapat dicari sesuai dengan persamaan 2.21 :

$$P_{cr} = 0,577 \times P_0$$

Luas penampang sisi keluar nosel sesuai dengan persamaan 2.24 :

$$\dot{m} \cdot v_1 = A_1 \cdot c_1$$

sehingga.

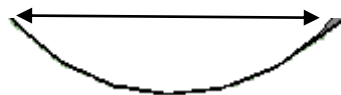
$$A_1 = \frac{\dot{m} \cdot v_1}{c_1} \text{ (cm}^2\text{)}$$

Dalam perencanaan ini, jumlah nosel ( $z_n$ ) sebanyak 1 buah, sehingga besarnya luas penampang badan nosel dapat dihitung menggunakan persamaan 2.28 :

$$A = \frac{A_1}{z_n} \text{ (cm}^2\text{)}$$

### 3.5.1.3. Perancangan Pada Sudu Turbin

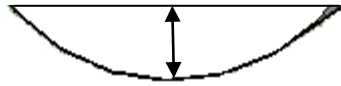
Lebar sudu gerak ( $b$ ) berkisar 15 - 25 mm untuk turbin kapasitas kecil. Dalam perencanaan ini ditetapkan lebar sudu gerak 15 mm seperti pada gambar 3.3.



**Gambar 3.3. Lebar profil sudu**

Besarnya jari- jari busur dari profil sudu dapat dihitung sesuai dengan persamaan 2.36 seperti pada gambar 3.4 :

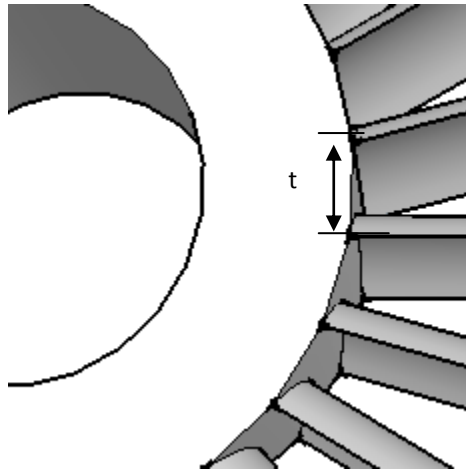
$$R = \frac{b}{\cos \beta_1 + \cos \beta_2}$$



**Gambar 3.4. Besarnya jari- jari busur dari profil sudu**

Jarak antara masing-masing sudu pada sudu gerak turbin dapat dihitung sesuai dengan persamaan 2.37, seperti pada gambar 3.5 :

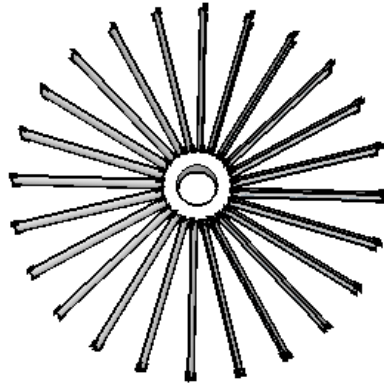
$$t = \frac{R}{\sin \beta_1 + \sin \beta_2}$$



**Gambar 3.5. Jarak bagi antara sudu gerak**

Jumlah sudu gerak dihitung sesuai dengan persamaan 2.38 seperti pada gambar 3.6. profil sudu turbin :

$$z = \frac{\pi \cdot d}{t}$$



**Gambar 3.6. Profil Sudu Turbin**

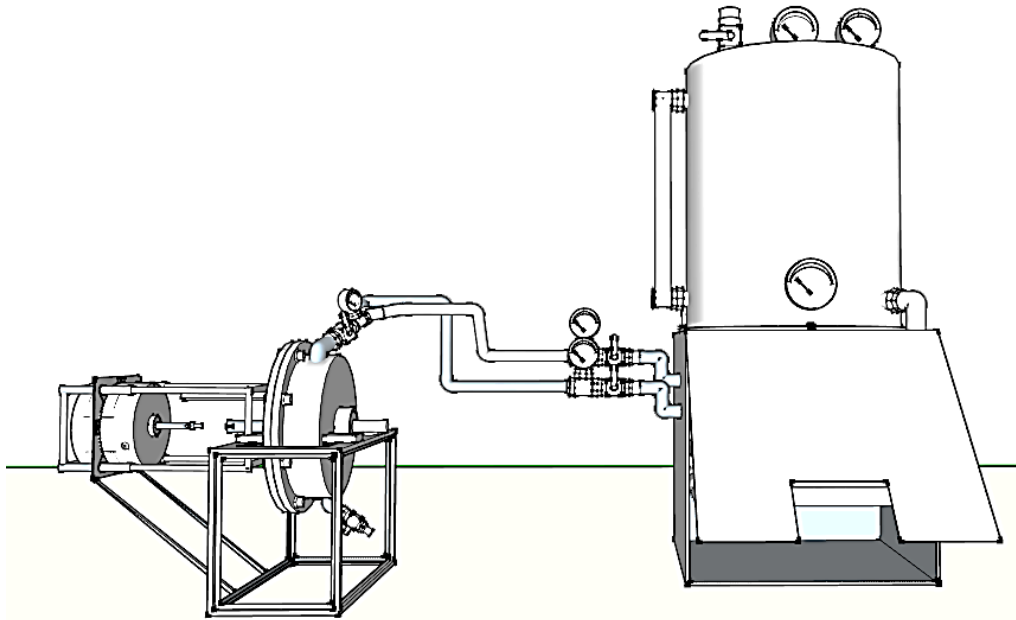
Besarnya momen torsi pada poros turbin dapat dihitung dengan persamaan 2.40 :

$$T = \frac{W_t \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot n}$$

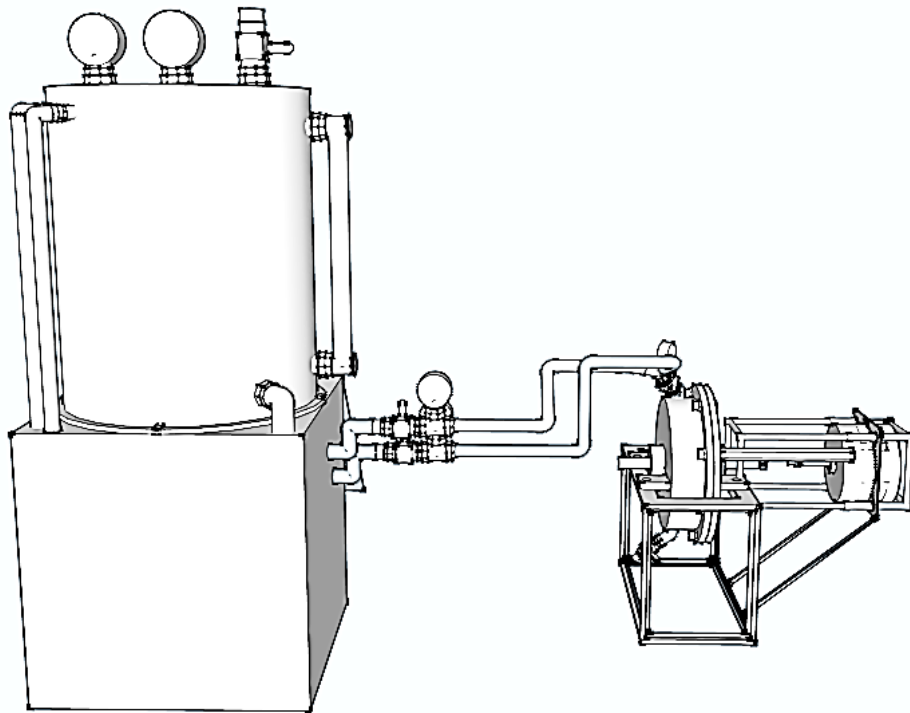
Pada maket pembangkit listrik tenaga uap, pemasangan poros turbin dengan poros generator berada pada satu poros. Penentuan ini dilakukan agar kecepatan putar turbin sama besar dengan kecepatan putar pada rotor generator.

Untuk merubah besar kecilnya kecepatan putar pada turbin dapat diatur dengan cara memperbesar atau memperkecil bukaan katup (*valve*) pada pipa uap dari boiler menuju turbin uap atau terdapat katup (*valve*) pada masukan nosel . Semakin besar bukaan katup, semakin besar pula uap yang mengalir menuju turbin dan semakin cepat putaran turbin dan generator yang dihasilkan. Sedangkan semakin kecil bukaan katup, maka semakin kecil pula uap yang mengalir menuju turbin dan semakin lambat pula putaran turbin dan generator yang dihasilkan. Pemasangan turbin pada maket PLTU dapat dilihat pada gambar 3.9. dan 3.10.





**(a) Desain Tampak Depan**



**(b) Desain Tampak Belakang**

**Gambar 3.7. (a) dan (b) Desain Pemasangan Turbin Pada Maket PLTU**

### 3.6. Pengambilan Data dan Pengujian

Adapun alat bantu penelitian yang digunakan pada penelitian yaitu lembar pengamatan alat yang berisi data pengukuran, tachometer, termometer untuk mencatat suhu pengujian alat.

1. Tachometer digunakan untuk mengetahui putaran turbin saat mendapat energi kinetik.
2. Termometer digunakan untuk mengukur suhu uap yang masuk, sehingga dapat diketahui suhu yang di serap oleh turbin.
3. Torsi meter digunakan untuk mengukur torsi yang mampu diputar oleh turbin berdasarkan dari variasi tekanan uap yang diberikan.

Data-data hasil penelitian turbin tanpa generator kemudian dimasukkan kedalam table 3.1. dengan format sebagai berikut:

**Tabel 3.1. Tabel Pengujian Turbin Tanpa Generator**

No	Tekanan (bar)	Volume Air (lt)	Temperatur (°C)	Waktu (sekon)	Turbin Tanpa Generator	
					Rpm	Keterangan
1	2			90		
2	2			90		
3	2			90		
4	2			90		
5	2			90		
rata- rata 2 bar				90		
6	4			90		
7	4			90		
8	4			90		
9	4			90		
10	4			90		
rata- rata 4 bar				90		
11	6			90		
12	6			90		
13	6			90		
14	6			90		

No	Tekanan (bar)	Volume Air (lt)	Temperatur (°C)	Waktu (sekon)	Turbin Tanpa Generator	
					Rpm	Keterangan
15	6			90		
rata- rata 6 bar				90		
16	8			90		
17	8			90		
18	8			90		
19	8			90		
20	8			90		
rata- rata 8 bar				90		

Data-data hasil penelitian turbin dengan generator tanpa beban kemudian dimasukkan kedalam table 3.2. dengan format sebagai berikut:

**Tabel 3.2. Tabel Pengujian Turbin Dengan Generator Tanpa Beban**

No	Tekanan (bar)	Volume Air (lt)	Temperatur (°C)	Waktu (sekon)	Turbin Generator Tanpa Beban		
					Rpm	Tegangan (V)	Keterangan
1	2	19		90			
2	2	19		90			
3	2	19		90			
4	2	19		90			
5	2	19		90			
rata- rata 2 bar				90			
6	4	19		90			
7	4	19		90			
8	4	19		90			
9	4	19		90			
10	4	19		90			
rata- rata 4 bar				90			
11	6	19		90			
12	6	19		90			

**Tabel 3.2. (Lanjutan)**

No	Tekanan (bar)	Volume Air (lt)	Temperatur (°C)	Waktu (sekon)	Turbin Generator Tanpa Beban		
					Rpm	Tegangan (V)	Keterangan
13	6	19		90			
14	6	19		90			
15	6	19		90			
Rata-rata 6 bar				90			
16	8	19		90			
17	8	19		90			
18	8	19		90			
19	8	19		90			
20	8	19		90			
Rata-rata 8 bar				90			

Data-data hasil penelitian turbin dengan torsi meter kemudian dimasukkan kedalam table 3.3. dengan format sebagai berikut:

**Tabel 3.3. Tabel Pengujian Turbin Dengan Torsi Meter**

No	Tekanan (bar)	Volume Air (lt)	Temperatur (°C)	Tegangan torsi motor	Torsi 1	Rpm 2	Torsi 2
1	2			4			
2	2			8			
3	2			12			
4	2			16			
5	4			4			
6	4			8			
7	4			12			
8	4			16			

**Tabel 3.3. (Lanjutan)**

No	Tekanan (bar)	Volume Air (lt)	Temperatur (°C)	Tegangan torsi motor	Torsi 1	Rpm 2	Torsi 2
9	6			4			
10	6			8			
11	6			12			
12	6			16			
13	8			4			
14	8			8			
15	8			12			
16	8			16			

Ket: Rpm 2 = Rpm setelah diberi torsi

Torsi 1 = Torsi awal

Torsi 2 = Torsi saat berputar

### **3.7. Teknik Analisis Data**

Pada perancangan dan pembuatan turbin uap, data yang diperoleh berupa data pengukuran pengaruh tekanan uap yang dihasilkan *boiler* terhadap kecepatan putar turbin dan torsi. Data yang akan dihasilkan berupa grafik.

Setelah didapat data baik dengan pengukuran, maka dapat diperoleh presentase perbedaan dari tekanan yang dihasilkan *boiler* dengan kecepatan putar turbin dan torsi turbin. Sehingga didapat data pada tekanan uap berapa turbin dapat berputar secara maksimal dengan torsi maksimal.

Selanjutnya dilakukan variasi pengujian dengan tujuan untuk mengetahui yang mana lebih efektif dalam percobaan tersebut. Variasi tersebut diambil dari 2, 4, 6, dan 8 bar tekanan uap dan 4, 8, 12, dan 16 *volt* tegangan yang diberikan pada torsi meter

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Hasil Perhitungan

Dari hasil perhitungan dan perancangan pada teori rancang bangun turbin uap maka didapatkan turbin uap pada maket pembangkit listrik tenaga uap. Pada pengujian dan pengumpulan data alat yang telah dilakukan sebelumnya, didapatkan data-data dibawah ini:

Langkah pertama yang dilakukan dalam menentukan daya turbin yang akan dihasilkan dengan mencari penurunan entalpi ( $\Delta h$ ) sesuai dengan persamaan 2.1

$$W_t = Q$$

$$80(W) = m_{\text{uap}} \times (\Delta h)$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} \Delta h &= \frac{0,08 \text{ (KW)}}{1,317} \\ &= 0,06 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Kecepatan teoritis uap keluar dari nosel ( $c_{1t}$ ), sesuai dengan persamaan 2.10:

$$\begin{aligned} c_{1t} &= \sqrt{2000 \times \Delta h} \text{ (m/s)} \\ c_{1t} &= \sqrt{2000 \times 0,06} \\ &= 10,95 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Kecepatan uap keluar nosel ( $c_1$ ), sesuai dengan persamaan 2.11:

$$c_1 = \varphi \cdot c_{1t} \text{ (m/s)}$$

$$c_1 = 0,8 \times 10,95$$

$$= 8,76 \text{ m/s}$$

Dimana  $\phi$  = koefisien gesek pada dinding nosel (0,8)

Kecepatan keliling ( $u$ ), sesuai dengan persamaan 2.12:

$$u = (u / c_1) \times c_1$$

$$u = 0,3 \times 8,76$$

$$= 2,6 \text{ m/s}$$

Diameter cakram rata-rata ( $d$ ), sesuai dengan persamaan 2.13 seperti pada gambar 3.2:

$$d = \frac{u \cdot 60}{\pi \cdot n}$$

$$d = \frac{2,6 \times 60}{3,14 \times 1.500}$$

$$= 0,033 \text{ m}$$

$$= 3,3 \text{ cm}$$

Kecepatan relatif uap memasuki sudu gerak ( $w_1$ ), sesuai dengan persamaan 2.14:

$$w_1 = \sqrt{c_1^2 + u^2 - 2u c_1 \cos a_1} \quad (\text{m/s})$$

$$= \sqrt{76,73 + 6,76 - 18,6}$$

$$= \sqrt{64,89}$$

$$= 8,05 \text{ m/s}$$

Sudut kecepatan relative uap memasuki sudu gerak sesuai dengan persamaan

2.17 :

$$\sin \beta_1 = \frac{c_1}{w_1} \cdot \sin a_1$$

$$= \frac{8,76}{8,08} \cdot \sin 20^\circ$$

$$\beta_1 = 90$$

Kecepatan relatif uap keluar sudu gerak pertama ( $w_2$ ), sesuai dengan persamaan 2.19:

$$w_2 = \psi \cdot w_1$$

$$w_2 = 0,82 \times 8,05$$

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

Kecepatan absolute uap keluar sudu gerak sesuai dengan persamaan 2.20 :

$$c_2 = \sqrt{w_2^2 + u^2 - 2u w_2 \cos \beta_2} \quad (\text{m/s})$$

$$= \sqrt{43,56 + 6,76 - 19,55}$$

$$= \sqrt{30,77} = 5,54 \text{ m/s}$$

Penentuan Dimensi Nosel

Nilai minimum terjadi pada kerongkongan yang disebut tekanan kritis ( $P_{cr}$ ) yang sama dengan  $0,577 P_o$  (untuk uap jenuh) dan  $0,546 P_o$  (untuk uap panas lanjut). maka tekanan kritisnya sesuai dengan persamaan 2.21 :

$$P_{cr} = 0,577 \times P_o$$

$$P_{cr} = 0,577 \times 8 = 4,66 \text{ bar}$$

Dimana tekanan sesudah nosel  $P_1 = 4,8 \text{ bar}$ , karena  $P_1$  lebih besar dari  $P_{cr}$ , maka digunakan nosel konvergen.

Luas penampang sisi keluar nosel sesuai dengan persamaan 2.24 :

$$\dot{m} \cdot v_1 = A_1 \cdot c_1$$



$$A_1 = \frac{m \cdot v_1}{c_1}$$

$$A_1 = \frac{1,317 \times 0,0215}{8,76}$$

$$= 0,0032 \text{ m}^2$$

Dimana:  $\dot{m}$  = massa aliran uap (g/s)

$v_1$  = volume spesifik uap pada penampang ( $\text{m}^3/\text{g}$ )

$c_1$  = kecepatan aktual uap pada penampang (m/s)

Dalam perencanaan ini, jumlah nosel ( $z_n$ ) sebanyak 1 buah, sehingga besarnya luas penampang leher nosel dapat dihitung menggunakan persamaan 2.28 :

$$A = \frac{A_1}{z_n}$$

$$= \frac{0,0032}{1}$$

$$= 3,2 \text{ cm}^2$$

Lebar sudu gerak ( $b$ ) berkisar 15 - 25 mm untuk turbin kapasitas kecil. Dalam perencanaan ini ditetapkan lebar sudu gerak 15 mm seperti pada gambar 3.3.

Besarnya jari- jari busur dari profil sudu dapat dihitung dengan persamaan 2.36 seperti pada gambar 3.4 :

$$R = \frac{b}{\cos \beta_1 + \cos \beta_2}$$

$$= \frac{15}{\cos 90 + \cos 87}$$

$$= \frac{15}{0,57} = 2,63 \text{ mm}$$

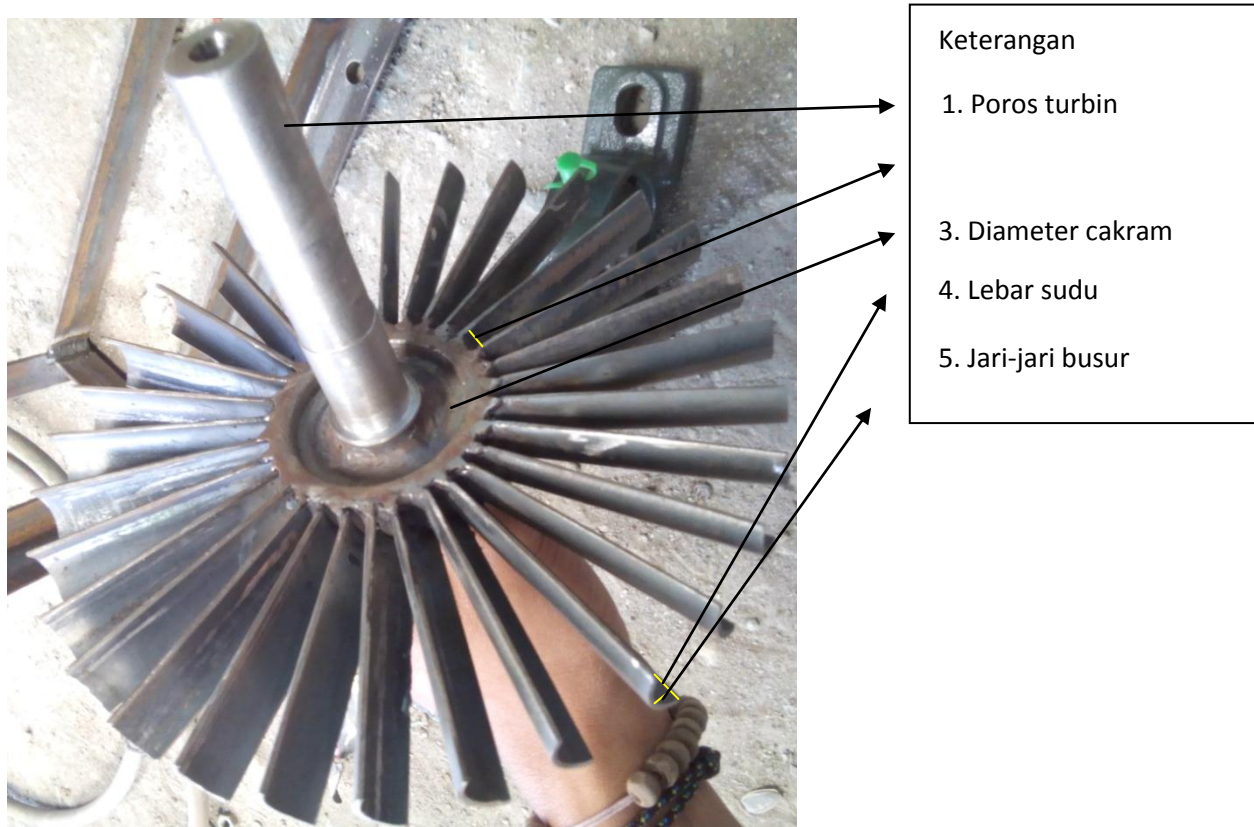
Jarak antara masing-masing sudu pada sudu gerak turbin dapat dihitung dengan persamaan 2.37, seperti pada gambar 3.5 :

$$\begin{aligned}t &= \frac{R}{\sin \beta_1 + \sin \beta_2} \\&= \frac{2,63}{1 + 0,8} \\&= 14,6 \text{ mm}\end{aligned}$$

Jumlah sudu gerak dihitung dengan persamaan 2.38 seperti pada gambar 4. :

$$\begin{aligned}z &= \frac{\pi \cdot d}{t} \\&= \frac{3,14 \times 139}{14,6} = 30 \text{ buah}\end{aligned}$$

dimana :  $d$  = diameter turbin,  $t$  = jarak bagi sudu gerak



**Gambar 4.1. Realisasi Profil Sudu Turbin**

Besarnya momen torsi pada poros turbin dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut 2.40 :

$$\begin{aligned}
 T &= \frac{W_t \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot n} \\
 &= \frac{80 \times 60}{2 \times 3,14 \times 1500} \\
 &= 0,51 \text{ N m}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan dan dengan mempertimbangkan hasil perhitungan pada *boiler* dan generator maka didapat hitungan turbin uap jenis turbin *impuls single stage* sebagai berikut:

- Jenis turbin uap : Turbin *impuls single stage*
- Tekanan turbin uap maksimal : 8 kg/cm<sup>2</sup>
- Temperatur uap : 170°C

- Daya turbin uap : 80 watt
- Massa uap yang dihasilkan : 4,783 kg/jam
- Putaran yang dihasilkan minimal : 1500 rpm
- Kecepatan teoritis uap masuk : 10,95 m/s
- Kecepatan uap masuk : 8,76 m/s
- Kecepatan relatif uap masuk : 8,05 m/s
- Kecepatan keliling : 2,6 m/s
- Kecepatan relative uap keluar : 6.6 m/s
- Kecepatan *absolute* uap keluar : 5,54 m/s
- Jumlah sudu gerak : 30 buah
- Jarak bagi antar sudu gerak : 14,6 mm
- Jari-jari sudu gerak : 2,63 mm
- Diameter cakram : 3,3 cm
- Jenis nosel : *Konvergen*
- Luas penampang sisi keluar nosel : 3,2 cm<sup>2</sup>
- Luas penampang sisi keluar nosel : 3,2 cm<sup>2</sup>
- Torsi turbin : 0,5 Nm

Setelah menentukan prancangan dan perhitungan, langkah selanjutnya adalah proses pembuatan tiap komponen mulai dari poros, cakram, pembentukan sudu-sudu, selanjutnya masuk pada proses penyambungan tiap bagian, serta mempersiapkan dan menerapkan sistim K3 (Keselamatan Kesehatan Kerja) dan akan dijelaskan proses pembuatannya sebagai berikut:

- Pertama adalah membuat dan membentuk cakram yang akan digunakan, dengan cara memilih lempeng cakram lalu membentuknya dengan menggunakan mesin bubut sehingga didapat bentuk dan ukuran yang diinginkan
- Kedua adalah setelah menyiapkan cakram, selanjutnya menyiapkan poros yang akan digunakan, dalam proses penyambungan cakram pada poros, hal yang perlu diperhatikan adalah dalam proses pengelasan harus menyeluruh keliling pada bagian poros yang menempel pada silinder cakram, setelah lakukan proses balansing menggunakan mesin bubut.
- Ketiga setelah proses balansing selesai selanjutnya adalah proses pemotongan dan penekukan pelat besi sesuai dengan perancangan dan perencanaan sebelumnya untuk pembuatan keping sudu gerak turbin, setelah selesai pemotongan dan penekukkan pelat besi yang membentuk sudu yang diinginkan sesuai perhitungan dan jumlah yang diinginkan, selanjutnya adalah penyambungan tiap keping sudu dengan cakram. Proses ini dilakukan dengan detail dan teliti, karena proses ini selain menyatukan bagian keping sudu dengan bagian cakram adalah terdapat proses pembagian jarak antar keping sudu yang sangat terpenting, sehingga jumlah sudu yang telah di buat dapat terpasang semuanya, hal yang perlu diperhatikan adalah dalam proses pengelasan keping sudu dengan cakram harus secara menyeluruh atau keliling agar keping sudu menyambung dengan baik pada bagian cakram turbin. Setelah proses penyambungan selesai, selanjutnya adalah melakukan kembali proses balansing, tetapi kali ini balansing dilakukan pada seluruh keping sudu

yang sudah tersambung dengan baik pada bagian cakram yang bertujuan agar mendapat putaran yang seimbang saat turbin dioperasikan.

- Keempat setelah turbin susun dengan baik, selanjutnya adalah pembuatan rumah turbin atau kesing, untuk memaksimalkan tekanan uap yang masuk dalam turbin maka bagian dalam rumah turbin harus dibuat sedekat mungkin jarak antar turbin dengan rumah turbin, dan proses ini memerlukan mesin bubut untuk merapihkan sisi dalam rumah turbin sehingga presisi dan turbin tidak menyerempet pada sisi dalam rumah turbin.
- Kelima setelah turbin dan rumah turbin menyatu, selanjutnya adalah penyambungan rumah turbin dengan nosel, hal yang perlu diperhatikan adalah penentuan sudut tembak nosel yang mengarah pada sudu turbin sehingga tekanan uap yang masuk dalam turbin dapat memutar turbin dan memiliki torsi untuk memutar generator.
- Keenam proses mengujian dan finising.

#### **4.1.1. Komponen Pembantu Turbin Uap**

Komponen pembantu turbin uap merupakan komponen-komponen tambahan yang mempunyai sistem kerja tersendiri yang dipasang pada unit turbin uap untuk membantu proses kerja unit turbin uap secara keseluruhan sehingga tanpa adanya komponen tersebut unit turbin uap akan mengalami gangguan atau tidak bekerja sesuai dengan yang diharapkan.

Komponen pembantu turbin uap yang dipasang pada unit turbin uap sangat beragam jenisnya dengan fungsi dan sistem kerja tertentu yang disesuaikan dengan kapasitas dan spesifikasi unit turbin uap yang digunakan. Semakin besar

kapasitas turbin uap umumnya komponen pembantu turbin uap yang digunakan semakin banyak dan mempunyai sistem kerja yang rumit dan kompleks.

#### **4.1.1.1. Stop Valve**

Komponen pembantu turbin uap yang banyak digunakan untuk proses menghidupkan (*start up*) dan proses mematikan (*shut down*) pada turbin uap dengan cara mengalirkan atau menghentikan aliran uap ke dalam turbin uap yang dilakukan secara manual sehingga berfungsi juga sebagai *safety valve*. Penggunaan *stop valve* sebagai komponen pembantu turbin uap cukup beragam, diantaranya adalah :

- a. *Hand nozzle valve* yang berfungsi untuk mengalirkan atau menghentikan aliran uap masuk ke dalam nosel terutama pada saat turbin uap dihidupkan (*start up*) maupun turbin uap dimatikan (*shut down*).
- b. *Automatic drain turbine exhaust* berfungsi untuk membuang sisa uap bekas yang masih terdapat di dalam turbin uap pada saat turbin uap sudah dimatikan (*shut down*).

#### **4.1.1.2. Pressure Gauge**

Komponen pembantu turbin uap yang berfungsi untuk mengukur tekanan pada turbin uap seperti tekanan uap masuk, tekanan uap keluar dan tekanan minyak pelumas.

#### 4.1.2. Hasil Perencanaan Turbin

Hasil perhitungan desain turbin yang ditampilkan dalam tugas akhir ini diperoleh dari beberapa teori masukan yang terdiri dari daya turbin, tekanan masuk dan keluar, temperatur masuk dan keluar, dan laju aliran.

Dari data masukan tersebut, dapat didesain sebuah turbin dengan mencari perhitungan kecepatan *absolut* ( $c_{1t}$ ), kecepatan putaran keliling sudu turbin ( $u$ ), kecepatan tiap komponen pada segitiga kecepatan, perhitungan diameter cakram ( $d$ ), tinggi, penentuan dan perhitungan *nozzle* ( $l$ ), tinggi sudu gerak, jarak bagi antara sudu gerak dan jumlah sudu.

Pada perancangan ini sumber panas yang digunakan yakni panas dengan suhu dibawah  $200^{\circ}\text{C}$ . Sumber panas tersebut digunakan sebagai pemanas atau pegubah fase sebuah cairan menjadi uap panas. Uap panas yang dihasilkan ini kemudian ditampung pada *boiler* lalu dialirkan ke turbin untuk memutar generator dan menghasilkan energi listrik.

Dalam perencanaan ini dipilih turbin uap impuls jenis satu tingkat tekanan dan satu tingkat kecepatan. Adapun alasan dan pertimbangan dalam pemilihan jenis turbin ini adalah :

1. Pertimbangan efisiensi dan keandalan

Turbin curtis mempunyai efisiensi yang cukup tinggi sehingga energy potensial uap dapat dimanfaatkan cukup efisien

2. Segi Pemeliharaan

Perawatan dan pemakaian turbin impuls relatif tidak sulit dan tidak mahal.



### 3. Segi Kontruksi

Konstruksi turbin curtis lebih sederhana jika dibandingkan dengan turbin jenis lain, dari segi pengadaan komponen mudah didapatkan.

Untuk membangkitkan energi listrik pada generator, dibutuhkan sejumlah uap pada kondisi tertentu untuk memutar turbin, kemudian turbin akan memutar poros generator. Berdasarkan data awal diperoleh kondisi-kondisi uap sebagai berikut:

1. Tekanan uap masuk turbin ( $P_o$ ) = 8 Bar
2. Temperatur uap masuk turbin ( $T_o$ ) = 170°C

### 4.2. Hasil Pengujian Turbin

Tekanan uap yang dihasilkan pada proses pembakaran *boiler* pada ruang bakar dengan menggunakan kompor mawar dapat memutar turbin.. Data diambil setiap 90 *sekon*. Untuk keakuratan data, Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali dengan tekanan yang berbeda-beda, serta variable yang berbeda pula, seperti pengujian turbin tanpa generator, pengujian dengan generator tanpa beban.

Berikut adalah table data hasil pengujian putaran turbin tanpa generator, tabel hasil pengambilan data turbin dapat dilihat pada table 4.1 dibawah ini.

**Tabel 4.1. Tabel Pengujian turbin Tanpa Generator**

No	Tekanan (bar)	Volume Air (lt)	Temperatur (°C)	Waktu (sekon)	Turbin Tanpa Generator	
					Rpm	Keterangan
1	2	19	119	90	1189	Berputar
2	2	19	119	90	1201	Berputar
3	2	19	119	90	1239	Berputar
4	2	19	119	90	1489	Berputar
5	2	19	119	90	1565	Berputar
rata-rata 2 bar			119	90	1336.6	Berputar
6	4	19	144	90	3722	Berputar
7	4	19	144	90	3978	Berputar

No	Tekanan (bar)	Volume Air (lt)	Temperatur (°C)	Waktu (sekon)	Turbin Tanpa Generator	
					Rpm	Keterangan
8	4	19	144	90	4223	Berputar
9	4	19	144	90	4253	Berputar
10	4	19	144	90	4118	Berputar
rata- rata 4 bar			144	90	4058.8	Berputar
11	6	19	153	90	2260	Berputar
12	6	19	153	90	2354	Berputar
13	6	19	153	90	2588	Berputar
14	6	19	153	90	2935	Berputar
15	6	19	153	90	3035	Berputar
rata- rata 6 bar			153	90	2634.4	Berputar
16	8	19	170	90	9267	Berputar
17	8	19	170	90	11146	Berputar
18	8	19	170	90	10001	Berputar
19	8	19	170	90	10193	Berputar
20	8	19	170	90	11658	Berputar
rata- rata 8 bar			170	90	10453	Berputar

Selanjutnya tabel data hasil pengujian turbin dengan generator tanpa beban. pengambilan data turbin dapat dilihat pada table 4.2 dibawah ini.

**Tabel 4.2. Tabel Pengujian Turbin Dengan Generator Tanpa Beban**

No	Tekanan (bar)	Volume Air (lt)	Temperatur (°C)	Waktu (sekon)	Turbin Generator Tanpa Beban		
					Rpm	Tegangan (V)	Keterangan
1	2	19	119	90	0	0	Tidak berputar
2	2	19	119	90	0	0	Tidak berputar
3	2	19	119	90	0	0	Tidak berputar
4	2	19	119	90	0	0	Tidak berputar
5	2	19	119	90	0	0	Tidak berputar
rata- rata 2 bar			119	90	0	0	Tidak berputar
6	4	19	145	90	1337	141	Berputar
7	4	19	145	90	1330	138	Berputar
8	4	19	145	90	1344	140	Berputar

No	Tekanan (bar)	Volume Air (lt)	Temperatur (°C)	Waktu (sekon)	Turbin Generator Tanpa Beban		
					Rpm	Tegangan (V)	Keterangan
9	4	19	145	90	1490	144	Berputar
10	4	19	145	90	1337	141	Berputar
rata-rata 4 bar			145	90	1367.6	140.8	Berputar
11	6	19	155	90	2882	197	Berputar
12	6	19	155	90	3060	201	Berputar
13	6	19	155	90	3181	205	Berputar
14	6	19	155	90	4022	212	Berputar
15	6	19	155	90	4157	223	Berputar
rata-rata 6 bar			155	90	3460.4	207.6	Berputar
16	8	19	171	90	1418	266	Berputar
17	8	19	171	90	1492	272	Berputar
18	8	19	171	90	1512	273	Berputar
19	8	19	171	90	1549	274	Berputar
20	8	19	171	90	1847	274	Berputar
rata-rata 8 bar			171	90	1563.6	271.8	Berputar

Selanjutnya tabel data hasil pengujian turbin dengan torsimotor, pengambilan data turbin dapat dilihat pada table 4.3 dibawah ini.

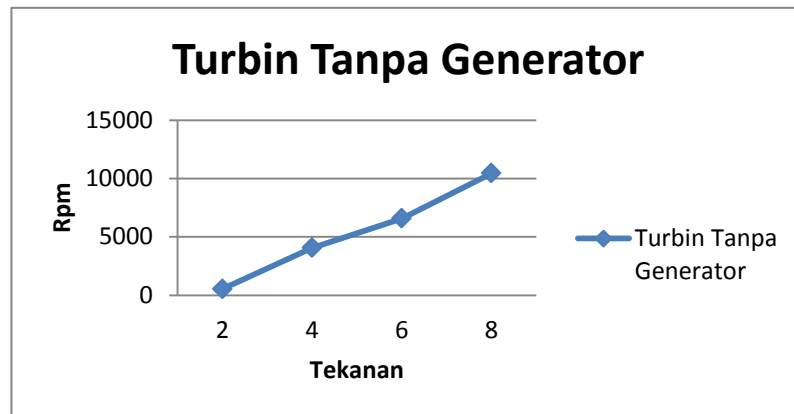
**Tabel 4.3. Tabel Pengujian Turbin Dengan Torsi Meter**

No	Tekanan (bar)	Volume Air (lt)	Temperatur (°C)	Tegangan Torsi Motor	Torsi 1	Rpm 2	Torsi 2
1	2	19	119	4	0	0	0
2	2	19	119	8	0	0	0
3	2	19	119	12	0	0	0
4	2	19	119	16	0	0	0
5	4	19	146	4	10	6	1.2
6	4	19	146	8	8.8	19.5	1.2
7	4	19	148	12	3.9	57.7	1.19
8	4	19	149	16	1.2	120	0.6
9	6	19	160	4	10	16.8	2.15
10	6	19	160	8	8	62.5	2.6
11	6	19	162	12	4.25	581.8	1.8
12	6	19	162	16	1.2	1497	0.8

No	Tekanan (bar)	Volume Air (lt)	Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )	Tegangan Torsi Motor	Torsi 1	Rpm 2	Torsi 2
14	8	19	170	8	8.5	196.19	3.8
15	8	19	170	12	4.6	224.3	2.45
16	8	19	172	16	1.35	2872	0.9

### 4.3. Pembahasan

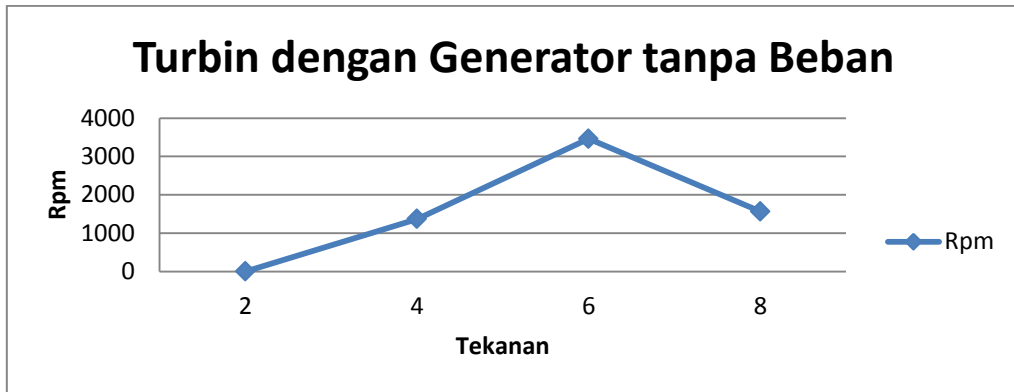
Perbandingan dari keempat tekanan pada pengujian Rpm turbin tanpa generator sebanyak lima kali dapat dilihat pada gambar grafik 4.2 dibawah ini:



**Gambar 4.2. Diagram Perubahan Rpm Turbin Tanpa Generator**

Berdasarkan gambar diagram 4.2. perubahan tekanan uap yang memasuki sudu turbin melalui nosel, mempengaruhi putaran pada poros turbin. Semakin rendah tekanan uap yang memasuki turbin maka semakin rendah putaran pada poros turbin. Semakin besar tekanan uap yang memasuki turbin maka semakin tinggi putaran pada poros turbin.

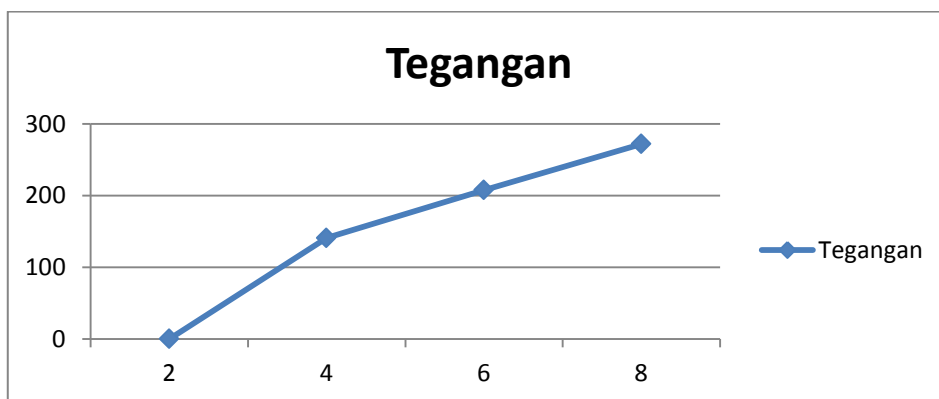
Perbandingan dari keempat tekanan pada pengujian Rpm turbin dengan generator tanpa generator sebanyak lima kali dapat dilihat pada gambar grafik 4.3. dibawah ini:



**Gambar 4.3. Diagram Perubahan Rpm Turbin Dengan Generator Tanpa Beban**

Berdasarkan gambar diagram 4.3. perubahan tekanan uap yang memasuki sudu turbin melalui nosel, mempengaruhi putaran pada poros turbin. Semakin rendah tekanan uap yang memasuki turbin maka semakin rendah putaran pada poros turbin. Semakin besar tekanan uap yang memasuki turbin maka semakin tinggi putaran pada poros turbin.

Perbandingan dari keempat tekanan pada pengujian tegangan yang dapat dihasilkan saat pengujian turbin dengan generator tanpa generator sebanyak lima kali dapat dilihat pada gambar grafik 4.4. dibawah ini:



**Gambar 4.4. Diagram Perubahan Tegangan Turbin Dengan Generator Tanpa Beban**

Berdasarkan gambar diagram 4.4. perubahan tekanan uap yang memasuki sudu turbin melalui nosel, mempengaruhi teganan yang dihasilkan generator melalui putaran poros turbin. Semakin rendah tekanan uap yang memasuki turbin maka semakin rendah teganan yang dihasilkan generator melalui putaran poros turbin. Semakin besar tekanan uap yang memasuki turbin maka semakin tinggi teganan yang dihasilkan generator melalui putaran poros turbin.

#### **4.3. Analisis Data Penelitian**

Berdasarkan hasil perencanaan dan peenghitungan turbin uap yang dibangun memiliki dimensi jenis turbin yang digunakan turbin *impuls single stage*, cakram turbin berdiameter 33 mm, jumlah sudu gerak 30 buah, jarak bagi antar sudu 14,6mm, jari –jari sudu 2,63mm, jenis nosel yang digunakan *konvergen*, luas penampang leher 3,2cm<sup>2</sup>, luas penampang sisi keluar 3,2cm<sup>2</sup>.

Berdasarkan gambar diagram 4.2. perubahan tekanan uap yang memasuki sudu turbin melalui nosel, mempengaruhi putaran pada poros turbin. Semakin rendah tekanan uap yang memasuki turbin maka semakin rendah putatan pada poros turbin. Semakin besar tekanan uap yang memasuki turbin maka semakin tinggi putatan pada poros turbin.

Berdasarkan gambar diagram 4.3. perubahan tekanan uap yang memasuki sudu turbin melalui nosel, mempengaruhi putaran pada poros turbin. Semakin rendah tekanan uap yang memasuki turbin maka semakin rendah putatan pada poros turbin. Semakin besar tekanan uap yang memasuki turbin maka semakin tinggi putatan pada poros turbin.

Berdasarkan gambar diagram 4.4. perubahan tekanan uap yang memasuki sudu turbin melalui nosel, mempengaruhi tegangan yang dihasilkan generator melalui putaran poros turbin. Semakin rendah tekanan uap yang memasuki turbin maka semakin rendah tegangan yang dihasilkan generator melalui putaran poros turbin. Semakin besar tekanan uap yang memasuki turbin maka semakin tinggi tegangan yang dihasilkan generator melalui putaran poros turbin.

#### **4.4. Aplikasi Hasil Penelitian**

Pengaplikasian dari produk penelitian yang telah dihasilkan adalah dalam pembangkitan listrik khususnya tenaga uap. Selain itu maket turbin uap sederhana ini dapat dijadikan sebagai bahan pembelajaran pada mata kuliah yang berkaitan untuk melihat langsung perencanaan, pembuatan dan serta memahami cara kerja turbin uap yang digunakan pada pembangkit listrik tenaga uap tanpa mendatangi langsung ke tempat pembangkit listrik.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Setelah melakukan perencanaan, perhitungan dan perancangan maka dapat disimpulkan:

Turbin uap pada maket pembangkit listrik tenaga uap yang dibangun dan mampu menghasilkan torsi untuk memutar torsi generator. Turbin uap yang dibangun menggunakan jenis turbin *impuls single stage*, memiliki spesifikasi: cakram turbin berdiameter 33 mm, jumlah sudu gerak 30 buah, jarak bagi antar sudu 14,6 mm, jari-jari sudu 2,63 mm, jenis nosel yang digunakan *konvergen*, luas penampang leher 3,2cm<sup>2</sup>, luas penampang sisi keluar 3,2 cm<sup>2</sup>. Turbin uap yang dibangun dapat menghasilkan 1336,6 rpm untuk putaran turbin tanpa generator pada tekanan uap 2 kg/cm<sup>2</sup>. Turbin uap yang dibangun dapat menghasilkan 1408 rpm, dan menghasilkan tegangan 140,8 volt, serta mampu memutar torsi generator sebesar 0,6 Nm untuk putaran turbin dengan generator pada tekanan uap 4 kg/cm<sup>2</sup>. Tekanan maksimal yang diterima oleh turbin uap ini adalah 8 kg/cm<sup>2</sup> dengan 10.453 rpm untuk putaran turbin tanpa generator, dan menghasilkan tegangan 271,8 volt, serta mampu memutar torsi generator sebesar 0,9 Nm untuk putaran turbin dengan generator pada tekanan uap yang masuk sebesar 8 kg/cm<sup>2</sup>.

#### 5.2. Saran

Penulis memiliki saran untuk para pembaca guna meningkatkan dan melengkapi dalam pengujian prototipe ini yaitu sebagai berikut:



1. Dalam membuat alat ini, diperlukan pengkajian terhadap fluida yang digunakan berdasarkan kebutuhan yang akan diperlukan.
2. Dalam penelitian ini penulis masih menggunakan alat kendali manual, dimana dalam penelitian berikutnya dalam menggunakan kendali semi otomatis ataupun kendali otomatis menggunakan *software* kendali
3. Dibutuhkan pemeriksaan terlebih dahulu untuk mengoprasikan atau pengujian, sehingga didapat hasil yang sesuai dengan perencanaan. Terutama pada bagian bantalan poros atau *bearing* turbin, karena uap panas yang masuk pada turbin dapat menyebabkan pelumas pada *bearing* mengering atau habis.
4. Dalam penelitian ini dibutuhkan daya tampung uap yang lebih besar, sehingga memudahkan pembaca dalam pengujian dan pengambilan data dengan variable yang beragam
5. Dalam penelitian ini dibutuhkan generator yang sesuai dengan daya semu yang dihasilkan turbin, sehingga memudahkan pembaca dalam pengujian dan pengambilan data dengan variable yang beragam

## DAFTAR PUSTAKA

- Agfinansyah, Windrawan. 2015. *Desain Turbin Uap Impuls Single Stage Velocity Untuk Sistim Organic Rankine Cycle* [skripsi]. Semarang: Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
- Anonymous, “Rateau, Curtis, Reaction Stage,” [www. irnnco.com](http://www.irnnco.com), diakses: 3 Agustus 2016
- M, Suyitno, 2011. *Pembangkit Energi Listrik* . Jakarta:Rineka Cipta.
- Moran Michael J, Shapiro Howard N, Nugroho Sulistyoyo Yulianto. 2004. “*Termodinamika Teknik Edisi 4 Jilid 2*”. Jakarta : Erlangga
- Shlyakhin, P, “Turbin Uap (*Steam Turbines*) Teori dan Rancangan”, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1990.
- Sugiyono. 2009. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Wilson M.N.Gurning. 2010. Perancangan Turbin Uap untuk Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi [jurnal]. Medan.

# LAMPIRAN

**LAMPIRAN**

**1**

**(DOKUMENTASI)**

## Komponen Turbin



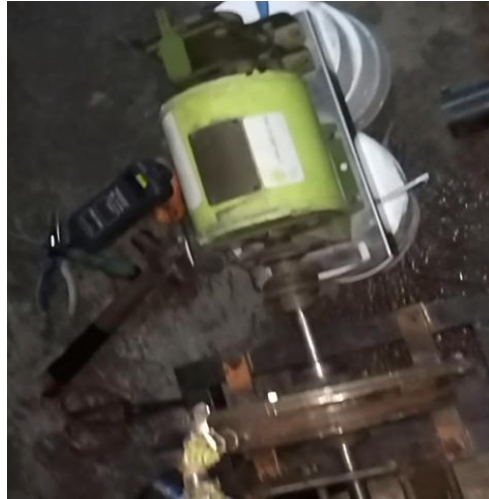
## Proses Balancing Komponen Turbin



## Proses pengujian



## Pengujian Dengan Torsi Meter





## Pengujian Dengan Generator Tanpa Beban



## Pengujian Tanpa Generator



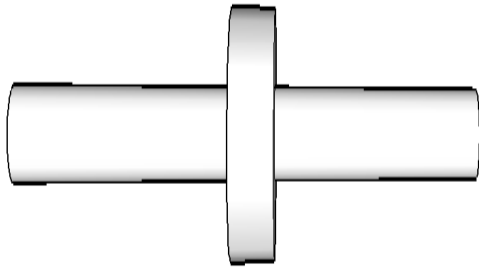


**LAMPIRAN**

**2**

**(DESAIN RANCANGAN)**

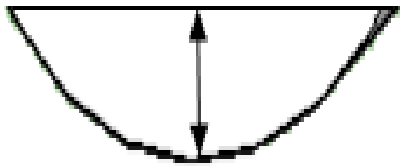
## Komponen Turbin



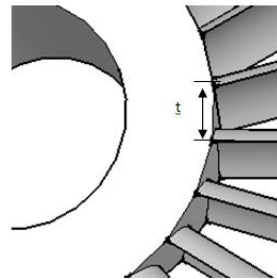
**Poros dan Cakram Turbin**



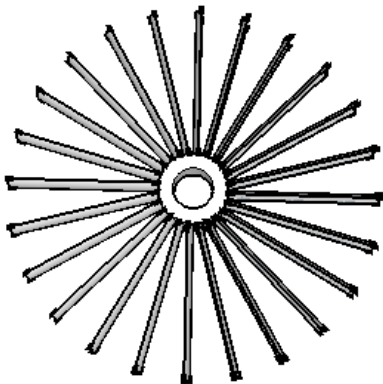
**Lebar sudu tuebin**



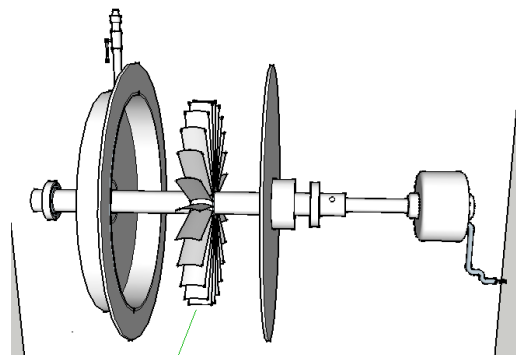
**Jari-jari Turbin**



**Jarak Bagi Antar Sudu**

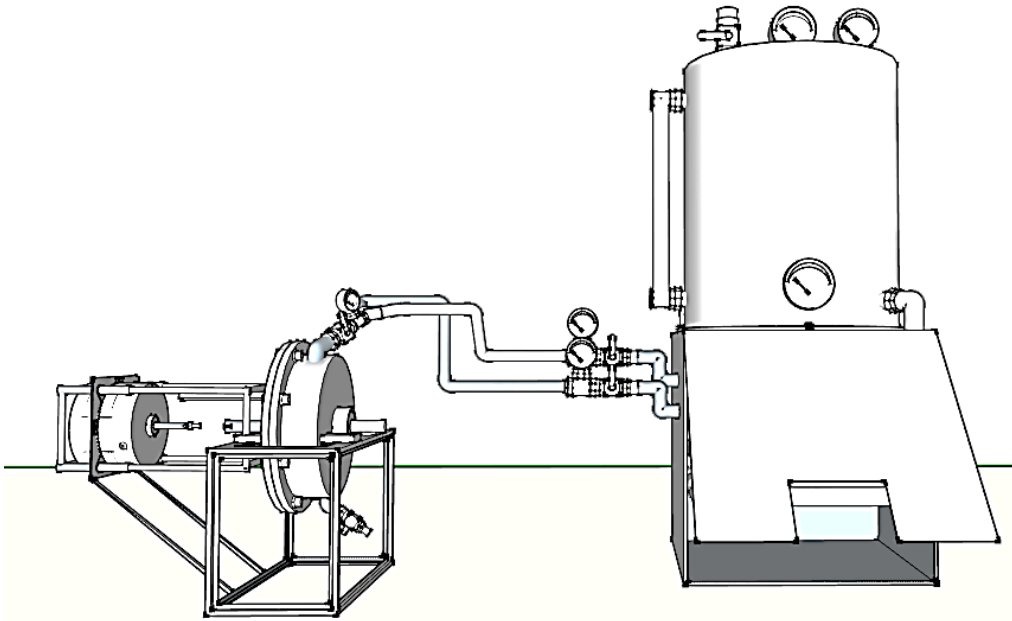


**Profil Sudu Turbin**



**Rumah Turbin**

## Rancang Bangun Turbin Uap Pada Maket Pembangkit Listrik Tenaga Uap



**Generator | Turbin | Boiler**

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Muhamad Rizky Septianto,  
Lahir di Bekasi, 09 September 1994. Penulis menyelesaikan Pendidikan Sekolah Dasar di SDN Jatirasa IV di Bekasi pada tahun 2000 dan lulus pada tahun 2006. Kemudian melanjutkan Pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Tulus Bhakti Bekasi pada tahun 2006 dan lulus pada tahun 2009, lalu melanjutkan Pendidikannya di SMAN 11 Bekasi pada tahun 2009 dan lulus pada tahun 2012. Penulis melanjutkan pendidikan ke Universitas Negeri Jakarta dengan program studi Pendidikan Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik.

Penulis melakukan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di PT. Indonesia Power UBP Priok Jakarta Utara pada tanggal 1-28 Februari 2015 dan melaksanakan Praktek Keterampilan Mengajar (PKM) di SMK RISTEK KIKIN Jakarta Timur dari bulan September-November 2015.