

---

## SUBMISSION 43

# Perancangan Dimensi Bagian Utama Turbin Uap Impuls Skala

## Laboratorium

Hasan Hariri<sup>1</sup>, dan Fadhli Zainal<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta, 12640, Indonesia

**Abstrak.** Turbin uap adalah suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap air menjadi energi kinetik ini selanjutnya diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros turbin. Poros turbin dihubungkan dengan yang digerakan yaitu generator sebagai output dari putaran. Selanjutnya untuk mendapatkan putaran turbin yang diinginkan yaitu 2000-3000 rpm untuk menghasilkan listrik 50-100 watt dari generator dengan tekanan uap 3 bar atau 43 psi untuk skala laboratorium maka dalam penelitian ini akan dirancang dimensi bagian-bagian utama turbin satu tingkat yang terdiri dari jenis nosel, dimensi nosel, dimensi sudu gerak.

**Kata Kunci:** *turbin uap impuls skala laboratorium, prinsip kerja turbin, komponen utama turbin uap*

### 1. PENDAHULUAN

#### A. Latar Belakang

Perkembangan dan kemajuan di bidang ilmu pengetahuan dan teknologi yang terjadi di era modern seperti saat ini memang berlangsung begitu pesat dan membawa dampak yang besar terhadap tingkat kesejahteraan hidup umat manusia di muka bumi ini.

Dari berbagai macam teknologi pembangkit listrik salah satunya adalah turbin uap. Turbin uap adalah suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik dan energi kinetik ini selanjutnya diubah menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin. Turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang industri, untuk pembangkit tenaga listrik, dan untuk transportasi. Pengubahan energi potensial uap menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros dilakukan dengan berbagai cara.

Ide turbin uap ini sudah lama dan sudah umum diketahui bahwa kira-kira tahun 120 S.M. Hero di Alexandria membuat prototip turbin yang pertama yang bekerja berdasarkan prinsip reaksi. Beberapa abad kemudian pada tahun 1629, Giovanni Branca memberikan gambaran sebuah mesin yang dibuatnya. Mesin itu terdiri dari ketel uap, pipa yang panjang (nosel), roda mendarat dengan sudu-sudunya, poros dan roga gigi transmisi untuk menggerakkan kilang penumbuk. Uap yang dibangkitkan di dalam ketel sesudah diekspansikan pada nosel memperoleh kecepatan yang tinggi. Semburan uap yang berkecepatan tinggi ini menubruk sudu-sudu roda yang kemudian akan memutar roda. Kecepatan putar roda ini dan momen putarnya pada poros tergantung pada kecepatan dan jumlah aliran uap persatuan waktu.

Dari uraian di atas penulis mencoba untuk mengadakan penelitian dengan judul “PERANCANGAN DIMENSI BAGIAN UTAMA TURBIN UAP SKALA LABORATORIUM”

#### B. Tujuan

1. Merancang bagaimana cara kerja turbin uap dalam skala laboratorium
2. Menghasilkan rancang bangun turbin uap skala laboratorium

### 2. LANDASAN TEORI

---

\*Corresponding author: fadli\_rezpektor@yahoo.com

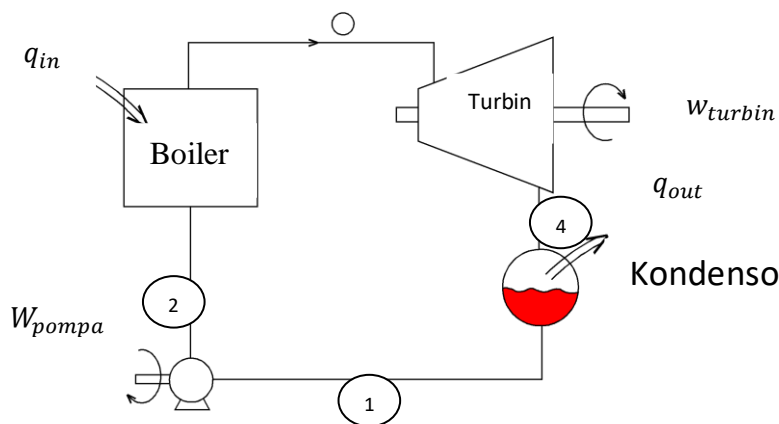
## A. Turbin Uap

Turbin uap termasuk mesin tenaga dimana hasil konversi energinya dimanfaatkan mesin lain untuk menghasilkan daya. Di dalam turbin terjadi perubahan dari energi potensial uap menjadi energi kinetik yang kemudian diubah lagi menjadi energi mekanik pada poros turbin, selanjutnya energi mekanik diubah menjadi energi listrik pada generator

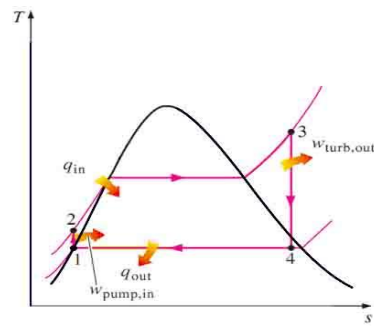
## B. Analisis Turbin Uap

Turbin uap bersama-sama dengan ketel uap, pompa dan kondensor, di padukan untuk membentuk suatu siklus daya uap atau siklus rankine. Siklus ini menggunakan fluida dalam dua fasa yaitu cairan dan uap.

Diagram alir siklus Rankine sederhana dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 2.1 Diagram alir Siklus Rankine sederhana



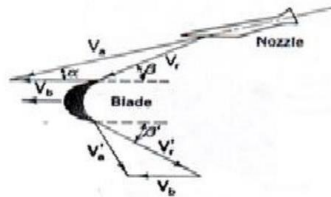
Gambar 2.2 Diagram T-s siklus Rankine sederhana

Proses termodinamika dalam siklus ini (Gambar 2.1 dan 2.2) dapat diterangkan sebagai berikut, yaitu: air dipompakan sehingga mencapai tekanan kerja ketel pada titik 2, kemudian pada ketel uap diberikan kalor pada tekanan konstan terhadap fluida sehingga mencapai keadaan titik 3, uap yang terjadi kemudian diekspansikan pada turbin sehingga mencapai titik 4, uap bekas dari turbin dikondensasikan di kondensor pada tekanan konstan sampai keadaan cair jenuh (titik 1) yang selanjutnya dipompakan kembali untuk air pengisian ketel.

Maka analisa pada masing-masing proses pada siklus untuk tiap satu- satuan massa dapat ditulis sebagai berikut:

- 1) Kerja pompa ( $W_p$ ) =  $h_2 - h_1 = v(P_2 - P_1)$
- 2) Penambahan kalor pada ketel ( $Q_{in}$ ) =  $h_3 - h_2$
- 3) Kerja turbin ( $W_T$ ) =  $h_3 - h_4$
- 4) Kalor yang dilepaskan dalam kondensor ( $Q_{out}$ ) =  $h_4 - h_1$

### C. Kecepatan Uap Melalui Sudu Turbin Impuls



Gambar 2.3. Segitiga kecepatan turbin impuls

Pertama kali uap diekspansikan keluar nosel dimana nantinya dihasilkan kecepatan uap ( $V_a$ ) yang akan memasuki sudu gerak pada turbin. Setelah uap memasuki sudu gerak pada turbin dan ikut berputar sehingga memiliki kecepatan ( $V_b$ ). Agar aliran uap yang keluar dari nosel mempunyai efisiensi dan bebas dari tumbukan maka harus memiliki perbandingan ( $V_a$ ) dan ( $V_b$ ) yang tertentu, dengan demikian bisa didapat sudut masuk dan sudut keluar uap dengan tepat. Hal ini dapat dilihat pada gambar segitiga kecepatan uap yang melalui sudu turbin impuls, Gambar 2.3.

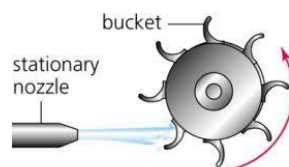
Dimana:

- $V_a$  dan  $V_a'$  : kecepatan absolut uap masuk dan keluar sudu
- $V_r$  dan  $V_r'$  : kecepatan relatif uap masuk dan keluar sudu
- $V_b$  : kecepatan keliling sudu gerak
- $\alpha_1$  dan  $\alpha_2$  : sudut absolut uap masuk dan keluar sudu
- $\beta_1$  dan  $\beta_2$  : sudut relatif uap masuk dan keluar sudu

### D. Turbin Uap Impuls

#### 1. Cara Kerja

Prinsip kerja dari turbin impuls dapat dilihat dari contoh kincir air dan turbin uap. Turbin Impuls bekerja dengan prinsip impuls atau hantaman. Turbin jenis ini juga disebut dengan turbin tekanan sama, karena oleh aliran air atau uap yang ke luar dari nosel, tekanannya adalah sama dengan tekanan atmosfer. Sebagai contoh pada gambar 2.2 adalah turbin impuls yang bekerja dengan prinsip hantaman, semua energi tinggi dan tekanan ketika masuk ke sudu turbin dirubah menjadi energi kinetik. Pancaran air atau uap tersebut yang akan menjadi gaya sentrifugal ( $F$ ) yang bekerja pada sudu roda.



Gambar 2.2 Cara Kerja Turbin Impuls

- a) Berdasarkan prinsip kerjanya.
  1. Turbin aksi (*impuls*), yaitu turbin yang perputaran sudu-sudu geraknya karena dorongan dari uap yang telah dinaikkan kecepatannya oleh *nozzel*.
  2. Turbin reaksi, yaitu turbin yang perputaran sudu-sudu geraknya karena gaya reaksi sudu-sudu itu sendiri terhadap aliran uap yang melewatinya.
- b) Komponen utama pada turbin uap.
  1. Casing  
Sebagai penutup (rumah) bagian utama turbin.
  2. Rotor adalah bagian turbin yang berputar terdiri dari :
    - a) Poros Berfungsi

Sebagai komponen utama tempat dipasangnya cakram-cakram sepanjang sumbu. Tegangan geser yang diizinkan untuk bahan poros dapat dihitung berdasarkan persamaan:

$$\tau_a = \sigma_b / S_f1 X S_f2 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Diameter poros  $d_p$  dihitung dengan persamaan:

$$d_p \left[ \frac{5,1}{\tau_a} x K_t x C_b x M_t \right]^{1/3} \text{ (mm)}$$

b) Sudu turbin atau deretan sudu

Berfungsi sebagai alat yang menerima gaya dari energi kinetik uap melalui nosel.

Besarnya jari-jari busur dari profil sudu baris pertama dapat dihitung dengan persamaan::

$$R_1 = \frac{b}{\cos\beta_1 + \cos\beta_2} \text{ (mm)}$$

Jarak bagi antara masing-masing sudu pada sudu gerak turbin dapat dihitung dengan persamaan:

$$t_1 = \frac{R_1}{\sin\beta_1 + \sin\beta_2} \text{ (mm)}$$

Jumlah sudu pada tingkat pertama dihitung dengan persamaan:

$$z_1 = \frac{\pi \cdot d}{t_1} \text{ (sudu)}$$

c) Cakram

Berfungsi sebagai tempat sudu-sudu dipasang secara radial pada poros.

3. Nosel

Berfungsi sebagai media ekspansi uap yang merubah energi potensial menjadi energi kinetik.

Penampang sisi keluar nosel:

$$f_1 \frac{G_0 \cdot V_1}{C_1} \text{ (m}^2\text{)}$$

Tinggi nosel :  $1_n$

Derajat pemasukan parsial uap:

$$\varepsilon = \frac{f_1}{\pi \times d \times 1 \times \sin\alpha_1}$$

Tinggi sisi masuk sudu gerak baris pertama:

$$1_1' = 1_n + 2$$

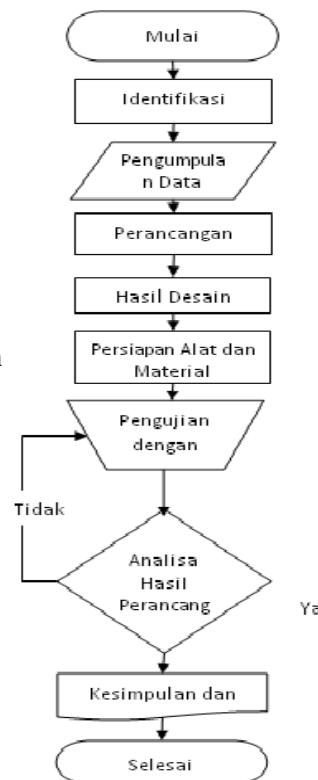
Tinggi sudu nosel baris pertama

$$1_1'' = \frac{G_0 \cdot V_1}{\pi \times d \times \varepsilon \times \sin\beta_2} \text{ (mm)}$$

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

#### A. Perancangan

Gambar 3.1 *Flow chart* Penelitian



#### B. Proses Perancangan

Teknik Mesin FTUP	Daftar Persyaratan Turbin Uap Impuls	Tanggal :
D/W	Persyaratan	
	Dimensi	
D	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ukuran konstruksi tidak memakan tempat karena untuk berada diruangan laboratorium</li> <li>Konstruksi mudah untuk dipindahkan</li> </ul>	
	Material	
D	<ul style="list-style-type: none"> <li>Material yang digunakan untuk perancang turbin uap impuls mudah didapat serta aman digunakan</li> </ul>	
W	<ul style="list-style-type: none"> <li>Umur Instalasi penggunaan yang lama</li> </ul>	
	Energi	
D	<ul style="list-style-type: none"> <li>Putaran tinggi 2000 s/d 3000 rpm</li> </ul>	
D	<ul style="list-style-type: none"> <li>Menghasilkan daya 50 s/d 100 watt</li> </ul>	
	Keselamatan	
D	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aman terhadap pengguna</li> </ul>	
	Perawatan	
D	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tidak memerlukan perawatan khusus</li> </ul>	
D	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pernggantian atau pemasangan komponen yang rusak mudah dilakukan</li> </ul>	

<p>Keterangan :</p> <p>D : Demand (Tuntutan)</p> <p>W : Wishes (Keinginan)</p>
--

Tabel 3.1 Daftar Persyaratan

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN PENELITIAN

##### A. Perhitungan Ukuran Poros

Pada perencanaan ini poros mempunyai fungsi sebagai penghubung yang memindahkan daya dan putaran turbin serta tempat pemasangan cakram dan sudu, sehingga beban yang akan dialami poros ini adalah:

1. Beban lentur yang berasal dari berat sudu-sudu dan cakram
2. Beban puntir yang berasal dari cakram

Dalam perancangan poros dari segi kekuatan mekanis, tegangan-tegangan pada penampang terlemah diambil sebagai dasar perhitungan, yang antara lain:

- Penampang yang momen lenturnya terbesar
- Penampang yang momen puntirnya maksimal

Untuk poros putaran sedang dan beban berat digunakan baja paduan dengan pengerasan kulit. Untuk ini dipilih bahan poros adalah baja krom nikel JIS4102 SNC 21 yang memiliki kekuatan tarik  $80 \text{ kg/mm}^2$ .

Tegangan geser yang diizinkan untuk bahan poros dapat dihitung berdasarkan persamaan:

$$\tau_a = \sigma_b / S_f1 \times S_f2$$

Dimana:  $S_f1$  = Keamanan karena berat poros (untuk baja paduan 6)

$S_f2$  = Faktor keamanan karena adanya pasak, poros dan konsentrasi tegangan (1,3-3,0), diambil sebesar 3,0

$$\begin{aligned} \tau_a &= \frac{80 \text{ kg/mm}}{6 \times 3,0} \\ &= 4,44 \text{ kg/mm}^2 \end{aligned}$$

Daya nominal (N) yang ditransisikan pada perancangan ini = 100 watt, jika di jadikan kW = 0,1 kW ,pada putaran (n) = 3000rpm. Maka besar momen torsi ( $M_t$ ) [9] dapat dihitung persamaan :

$$M_t = 9,74 \cdot 10^5 \frac{N}{n}$$

$$M_t = 9,74 \cdot 10^5 \frac{0,1 \text{ kW}}{3000 \text{ rpm}}$$

$$M_t = 32,466 \text{ kg./mm}$$

Diameter poros  $d_p$  dihitung dengan persamaan:

$$d_p \left[ \frac{5,1}{\tau_a} \times K_t \times C_b \times M_t \right]^{1/3}$$

dimana:

$K_t$  = Faktor pembebanan (1,5 – 3,0), untuk beban kejutan dan tumbukan yang besar di ambil 2,2

$C_b$  = Faktor pembebanan lentur (1,2 – 2,3) yang di ambil 2,2

$$d_p = \left[ \frac{5,1}{4,44} \times 2,2 \times 2,2 \times 32,466 \right]^{1/3}$$

$$= 12 \text{ mm}$$

Dari satndar yang ada maka dipilih diameter poros terkecil yang dipakai pada perencanaan ini adalah 12mm.

### C. Perhitungan Sudu Turbin

Dalam perancangan ini ditetapkan lebar sudu gerak 22 mm  
Besarnya jari-jari busur dari profil sudu baris pertama:

$$R_1 = \frac{b}{\cos\beta_1 + \cos\beta_2} = \frac{22}{\cos 27,15 + \cos 24,15} = 12,20 \text{ mm}$$

Jarak bagi antara masing-masing sudu pada sudu gerak turbin:

$$t_1 = \frac{R_1}{\sin\beta_1 + \sin\beta_2} = \frac{12,20}{\sin 27,15 + \sin 24,15} = 14,09 \text{ mm}$$

Jumlah sudu pada tingkat pertama

$$z_1 = \frac{\pi \cdot d}{t_1} = \frac{\pi \cdot 150}{14,09} = 33 \text{ sudu}$$

dimana :

$d$  = diameter sudu rata-rata tingkat pertama

$t$  = jarak bagi sudu

### D. Perhitungan Nosel dan Sudu Gerak

Nosel adalah suatu laluan yang penampangnya bervariasi dimana pada nosel tersebut energi potensial uap dikonversikan mmenjadi energi kinetik berupa pancaran uap ke sudu gerak turbin. Dari penyelidikan-penyelidikan secara teoritis dan percobaan, ternyata bahwa uap yang mengalir melalui bagian nosel dengan penampang konvergen sewaktu berekspansi didalamnya hanya mencapai nilai minimum tertentu yang disebut tekanan kritis ( $P_{kr}$ ) yang sama dengan 0,577  $P_o$  untuk uap jenuh dan 0,546  $P_o$  untuk uap panas lanjut. Kecepatan uap pada tekanan ini disebut kecepatan kritis.

Bila tekanan sesudah nosel lebih besar dari tekanan kritis  $P_1 > P_{kr}$ , maka ekspansi uap yang terjadi hanya sampai tekanan  $P_1$  dan kecepatan uap pada sisi keluar tekanan ini lebih kecil dari kecepatan kritis, dalam hal ini digunakan nosel konvergen, sedangkan untuk mendapatkan tekanan isi keluar  $P_1 < P_{kr}$  dan kecepatan superkritis  $C_1 > C_{kr}$  digunakan nosel konergen divergen.

Untuk menentukan jenis nosel yang digunakan dalam perencanaan ini, terlebih dahulu ditentukan harga-harga tekanan kritis  $P_{kr}$  pada tiap tingkat.

### E. Tinggi Nosel dan Sudu Gerak

Kondisi uap pada tingkat pertama adalah uap panas lanjut, maka tekanan kritisnya:

$$P_{kr} = 0,546 \times P_o$$

$$= 0,546 \times 3 \text{ bar} = 1,638 \text{ bar}$$

dimana tekanan sesudah nosel  $P_1 = 2 \text{ bar}$  ,karena  $P_1$  lebih besar dr  $p_{kr}$  maka digunakan nosel konvergen

Penampang sisi keluar nosel:

$$f_1 \frac{G_0 V_1}{C_1} \text{ (m}^2\text{)}$$

dimana:

$G_0$  = masa aliran uap = 1,1 kg/det

$V_1$  = volume spesifik uap pada penampang sisi keluar = 0,210 m<sup>3</sup>/kg

$C_1$  = kecepatan aktual uap pada penampang sisi keluar = 685 m/det

$$f_1 \frac{1,1 \times 0,210}{685} = 0,00033 \text{ m}^2$$

Tinggi nosel disarankan diantara 10 mm-20 mm, dan derajat pemasukan parsial tidak kurang dari 0,2.

Dengan membuat tinggi nosel  $l_n$  sebesar 15 mm dapat diperoleh derajat pemasukan parsial uap:

$$\epsilon = \frac{f_1}{\pi \times d \times l_n \times \sin \alpha_1}$$

$$\epsilon = \frac{0,00033}{\pi \times 0,15 \times 15 \times 10^{-3} \times \sin 20^\circ} = 0,1365$$

Tinggi sisi masuk sudu gerak baris pertama dibuat sebesar:

$$l_1' = l_n + 2 = 17 \text{ mm}$$

Tinggi sudu nosel baris pertama

$$\begin{aligned} l_1'' &= \frac{G_0 V_1}{\pi \times d \times \epsilon \times w_2 \times \sin \beta_2} \\ &= \frac{1,1 \times 0,210}{\pi \times 0,15 \times 0,1365 \times 453,165 \times 24,15} \\ &= 0,01937 \text{ m (19,37mm)} \end{aligned}$$

Untuk bahan nosel diambil dari aluminium yang sama dengan bahan sudu karena dari kondisi uap yang masuk merupakan uap panas lanjut, sehingga material yang dipilih adalah Aluminium 2024 Alloy (UNS 092024) dengan tegangan tarik dan lentur total akibat gaya sentrifugal adalah sebesar 3303,88 kg/cm<sup>2</sup> atau 46992,2 psi ,jadi pemilihan bahan dan material sudah aman.

## 5. KESIMPULAN

### A. KESIMPULAN

Dari perhitungan-perhitungan yang dilakukan, maka dapatlah dibuat beberapa kesimpulan yaitu:

1. Dimensi bagian utama turbin uap:
  - a. Poros



- Diameter = 12 mm
  - Panjang = 10 mm
  - Bahan = JIS 4102 SNC 21
- b. Nosel
- Jenis nosel = Konvergen
  - Jumlah nosel = 1
  - Tinggi = 15 mm
  - Lebar = 4,48 mm
- c. Sudu gerak
- Jumlah = 33 buah
  - Tinggi sisi masuk = 17 mm
  - Tinggi sisi keluar = 19,37

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- 1 P.Shlyakhin “Turbin Uap (*Steam Turbines*) Teori dan Rancangan”. Zulkifli Harahap, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1993
- 2 Saptodoso Admigroho “Rancang Bangun Yoke Pada Simulator Pesawat Caesna 172 Dengan Metode Vdi 221”, 2017
- 3 Sularso, Kiyokatsu Suga, Dasar perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin, Pradnya Paramita, Jakarta, 1994.
- 4 Mafruddin “Studi Eksperimental Sudut Nosel Dan Sudut Sudu Terhadap Kinerja Turbin Cross-Flow Sebagai Pltmh Di Desa Bumi Nabung Timur” Program Pascasarjana Magister Teknik Mesin Universitas Lampung ,2016.