

# PERENCANAAN TURBIN UAP PENGGERAK GENERATOR DENGAN DAYA 100 MW PADA 3000 RPM

Wisnaningsih

Fakultas Teknik Universitas Sang Bumi Ruwa Jurai  
wisnaningsih.1968@gmail.com

**Abstrak.** Turbin uap adalah suatu penggerak mula yang mengubah energi termis uap menjadi energi kinetik dan energi kinetik ini selanjutnya diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros turbin. Secara umum, turbin uap terdiri dari bagian yang diam yang disebut stator atau rumah turbin dan bagian yang berputar yang disebut rotor. Pada stator terdapat nosel, dimana uap diekspansikan didalamnya sehingga kecepatannya naik. Sedangkan pada rotor terdapat sudu gerak (moving blade) dan cakram (disc) merupakan kedudukan sudu gerak. Berdasarkan data perencanaan yang diperoleh dari PLTU Tarahan dimana, daya generator pada terminal 100 MW, Putaran poros yang direncanakan ( $n$ ) sebesar 3000 rpm, tekanan awal ( $P_0$ ) sebesar 128,0 ata, temperatur awal ( $T_0$ ) sebesar 538<sup>0</sup>C yang dihasilkan dari ketel uap. Serta tekanan keluar turbin ( $P_1$ ) sebesar 0,082 ata. Dari data ini, maka dapat dikategorikan turbin yang direncanakan adalah turbin kondensing. Pada perencanaan ini dibuat perhitungan besaran-besaran pada turbin uap mencakup daya efektif turbin, efisiensi internal turbin, perhitungan nosel dan sudu gerak sampai pada perhitungan rumah turbin. Jenis turbin yang akan direncanakan untuk menghasilkan daya seperti tersebut adalah jenis turbin “*multistage impuls condensing turbine*” atau turbin impuls bertingkat kondensasi. Jenis turbin yang akan direncanakan ini dengan alasan: Efisiensi dan Daya yang diperlukan dapat dipenuhi, jumlah tingkat tidak terlalu banyak, konstruksi sederhana, pemeliharaan dan perawatan cukup murah.

**Kata kunci:** Generator, Kondensasi, Termis uap, Turbin.

## I. PENDAHULUAN

Turbin uap termasuk dalam kelompok pesawat-pesawat konversi energi yang meng-konversikan energi potensial uap menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros turbin. Sebelum dikonversikan menjadi energi mekanik terlebih dahulu dikonversikan menjadi energi kinetik dalam nozel ( pada turbin impuls) atau dalam nozel dan sudu-sudu gerak (pada turbin reaksi). Poros turbin secara langsung atau dengan bantuan roda gigi reduksi dihubungkan dengan mekanisme yang digerakkan, seperti : generator listrik, pompa, kompresor dan sebagainya.

Turbin uap pertama tercatat dalam sejarah adalah yang dibuat oleh hero dari alexandria sekitar abad pertama masehi. Alat ini terdiri dari sebuah bola yang dapat berputar bebas pada sumbu horizontal antara dua pipa tetap yang menghubungkan

ke suatu pendidih. Uap yang dibangkitkan di dalam pendidih masuk kedalam bola dan keluar ke atmosfer melalui dua nosel yang terletak dalam bidang yang tegak-lurus terhadap sumbu putaran menyebabkan bola itu berputar.

Pada zamannya dominasi bahan bakar batubara turbin uap memonopoli mesin kapal, baik kapal dagang maupun kapal perang. Sekarang di saat dunia mengalami krisis energi, para ahli mulai berpaling pada energi batubara dan energi alternatif, yaitu energi panas bumi dan lain-lain yang sejenis, sehingga mulai dibangun beberapa PLTU dan PLTP di Indonesia, bahkan PLTN. Semuanya itu mengoperasikan turbin uap yang merupakan rotating equipment, tempat dimana tenaga potensial uap yang dihasilkan oleh boiler (ketel uap) diubah menjadi energi mekanik berupa muatan output.

Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) perlu didukung oleh pesawat ketel uap yang

mampu menghasilkan serta menyediakan tenaga uap yang cukup besar, sehingga kebutuhan tenaga uap untuk turbin sebagai penggerak generator listrik dapat terpenuhi. Bahan bakar ketel yang digunakan di PLTU Tarahan, berupa batubara disamping residu sebagai pembakaran awal. Pembangkit-pembangkit listrik di Indonesia menggunakan generator untuk menghasilkan tenaga listrik. Untuk itu diperlukan mesin sebagai penggerak mula yang salah satunya adalah turbin uap.

Permasalahannya adalah bagaimanakah perencanaan dari pada turbin uap yang dipakai sebagai penggerak generator dalam pembangkit listrik tenaga uap ini memenuhi faktor energi, ekonomi, dan ekologi yang efisien. Sehubungan dengan persoalan diatas, maka dibuat perumusan masalah yang akan dijadikan penelitian dengan judul: **“Perencanaan Turbin Uap Penggerak Generator Dengan Daya 100 MW Dan Putaran 3000 RPM”**.

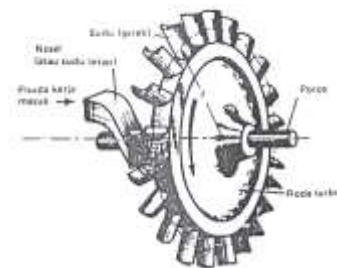
## II. KAJIAN TEORI

### Pengertian 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. Perubahan energi ini dengan cara mengekspansikan uap tersebut pada sudu geraknya. Ada empat bagian utama turbin uap, yaitu :

1. Stator  
Stator merupakan bagian turbin uap yang tidak berputar, seperti rumah turbin.
2. Rotor  
Rotor merupakan bagian turbin uap yang berputar, pada rotor diletakkan sudu-sudu gerak turbin.

3. Sudu Gerak  
Sudu gerak merupakan tempat pengkonversian energi kinetik menjadi energi mekanis.
4. Nosel  
Nosel adalah suatu laluan yang luas penampangnya bervariasi yang didalamnya energi potensial uap dikonversikan menjadi energi kinetik. Nosel juga berfungsi sebagai pengarah aliran uap yang akan masuk ke sudu gerak, oleh sebab itu nosel disebut juga sebagai sudu pengarah.



Gambar 1. Bagian-bagian utama turbin uap

### Prinsip Kerja Turbin Uap

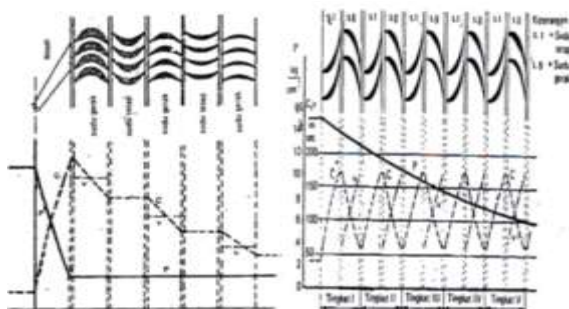
Prinsip kerja turbin uap secara umum ada dua macam, yaitu :

1. Prinsip kerja aksi (impuls)  
Dimana proses ekspansi penurunan tekanan fluida kerja hanya terjadi di dalam baris sudu tetapnya saja. Bila pada sebuah turbin uap, uap dari ketel diekspansikan dalam nosel dari tekanan ketel ( $P_0$ ) ketekanan tertentu ( $P_1$ ), maka akibat penurunan tekanan ini akan terjadi kenaikan kecepatan uap, dari kecepatan uap memasuki nosel ( $C_0$ ) ke kecepatan uap memasuki sudu gerak ( $C_1$ ). Oleh karena energi potensial uap yang disebut juga enthalpi uap tergantung pada tekanan dan suhu uap, maka pada penurunan tekanan akan terjadi juga penurunan suhu akibat penurunan tekanan. Dalam sudu-sudu gerak terjadi penurunan kecepatan uap

dari kecepatan mutlak  $C_1$  menjadi  $C_2$ , maka tekanan uap memasuki turbin  $P_1$  sama dengan uap keluar  $P_2$ . Sehingga prinsip kerja dari turbin aksi ini, di dalam nosel terjadi perubahan energi potensial menjadi energi kinetik sedangkan yang terjadi dalam sudu-sudu gerak terjadi perubahan energi mekanik.

## 2. Prinsip kerja reaksi

Turbin reaksi adalah dimana proses ekspansi dari fluida kerja terjadi baik di dalam baris sudu tetap maupun sudu geraknya. Turbin reaksi juga dinamai turbin parson. Pada turbin reaksi baris sudu tetap maupun sudu gerak berfungsi sebagai nosel, sehingga kecepatan relatif uap keluar setiap sudu lebih besar dari kecepatan uap masuk sudu yang bersangkutan. Prinsip reaksi ini, uap mengembang dalam nosel dan sudu-sudu gerak. Pada nosel tekanan uap turun dari  $P_0$  ke  $P_1$ , kecepatan uap naik dari  $C_0$  ke  $C_1$  dan enthalpy uap turun dari  $h_0$  menjadi  $h_1$ . sehingga kehilangan energi panas dalam sudu-sudu geraknya ini setara dengan kenaikan energi kinetik. Jadi, prinsip kerja turbin reaksi ini terjadi ekspansi uap dalam nosel atau dalam sudu tetap dan sudu gerak mempunyai bentuk yang hampir sama. Maka pada kedua jenis sudu itu terjadi penurunan tekanan.



**Gambar 2.** Tingkat Impuls (a) dan Tingkat Reaksi (b) 2.

## Klasifikasi Turbin Uap

Turbin uap dapat diklasifikasikan ke dalam kategori yang berbeda yang tergantung pada konstruksinya, proses penurunan kalor, kondisi-kondisi awal dan akhir uap dan pemakaiannya di bidang industri sebagai berikut :

1. Menurut prinsip aksi uap
  - a. Turbin impuls, pada turbin ini ekspansi uap hanya terjadi pada nosel atau sudu tetapnya saja.
  - b. Turbin reaksi, ekspansi uap terjadi pada sudu tetap maupun sudu geraknya.
2. Menurut arah aliran uap
  - a. Turbin aksial, dimana arah aliran uapnya sejajar dengan sumbu poros.
  - b. Turbin radial, dimana arah aliran uapnya tegak lurus dengan sumbu poros.
3. Menurut jumlah tingkat tekanan
  - a. Turbin satu tingkat tekanan dengan satu atau lebih tingkat kecepatan. Turbin ini biasanya digunakan sebagai penggerak mula dari mesin-mesin kerja yang membutuhkan daya yang kecil.
  - b. Turbin impuls atau reaksi nekatingkat, jenis ini biasanya digunakan sebagai penggerak mula dari mesin kerja yang membutuhkan daya yang besar.
4. Menurut metode pengaturan uap masuk
  - a. Turbin dengan pengaturan pengecilan (throttling), yang uap segarnya masuk melalui satu atau lebih katup pengecil yang dioperasikan serempak.
  - b. Turbin dengan pengaturan nosel yang uap segarnya masuk melalui dua atau lebih pengatur pembuka yang berurutan.

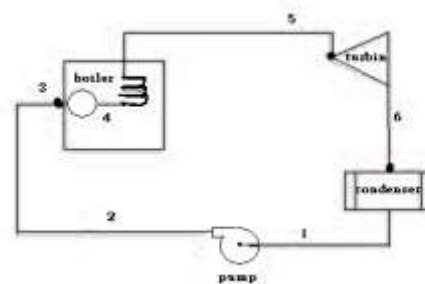
- c. Turbin dengan pengaturan langkau (by pass governing), yang uap segarnya selain di alirkan ke tingkat pertama juga dialirkan ke satu, dua atau tiga tingkat menengah turbin tersebut.
5. Menurut proses penurunan kalor
    - a. Turbin kondensasi dengan regenerator, dimana uap pada tekanan yang lebih rendah dari tekanan atmosfer dialirkan melalui kondensor.
    - b. Turbin kondensasi dengan satu atau dua penceratan dari tingkat menengahnya pada tekanan tertentu untuk keperluan industri dan pemanasan.
    - c. Turbin tekanan lawan (back pressure turbin), dimana uap buang dipakai untuk keperluan industri dan pemanasan.
    - d. Turbin tumpang, yang juga merupakan jenis turbin tekanan lawan dengan perbedaan bahwa uap buang dari jenis turbin ini lebih lanjut masih dipakai untuk turbin kondensasi tekanan menengah dan rendah.
    - e. Turbin tekanan lawan dengan penceratan uap dari tingkat-tingkat menengah pada tekanan tertentu, dimana uap disuplai kepada konsumen pada berbagai kondisi tekanan dan temperatur.
    - f. Turbin dengan tekanan campur dengan dua atau tiga tingkat tekanan dengan suplai uap buang ke tingkat-tingkat menengahnya.

### Sistem Turbin Uap

Dalam pengoperasian turbin uap tidak dapat berdiri sendiri, artinya turbin uap tersebut memerlukan alat-alat pelengkap lainnya. Jadi turbin uap merupakan salah satu komponen dari suatu sistem

pembangkit tenaga. Ditinjau dari segi siklus aliran kerjanya dapat dibagi dua yaitu, siklus terbuka dan siklus tertutup. Kedua siklus ini mempunyai keuntungan dan kerugian masing-masing.

Skema dibawah ini merupakan sistem dengan siklus tertutup (Gambar 3.). siklus tertutup ini lebih banyak digunakan, karena siklus ini mempunyai efisiensi lebih tinggi. Uap keluar dari turbin tidak langsung dibuang tapi dimanfaatkan lagi dengan cara mengkonden -sasiannya menjadi air kemudian diuapkan lagi didalam ketel sehingga air tetap bersih dan terhindar dari kotoran.



**Gambar 3.** Sistem turbin uap dengan siklus tertutup 3.

### III. METODE PENELITIAN

#### Data Perencanaan

Direncanakan turbin uap penggerak generator :

- Tekanan uap masuk  $P_0$  : 128,0 ata
- Temperature uap masuk,  $T_0$  : 538,0 °C
- Tekanan uap keluar,  $P_2$  : 0.082 ata
- Daya generator pada terminal : 100 MW
- Putaran,  $n$  : 3.000 rpm.

#### Pemilihan Jenis Turbin

Dalam pemilihan jenis turbin uap yang direncanakan ini akan ditentukan yang mampu beroperasi berdasarkan data yang

diberikan, serta memenuhi karakteristik yang diinginkan. Dan juga diharapkan turbin tersebut memiliki konstruksi yang sederhana, efisiensi yang diinginkan dapat terpenuhi, perawatan dan pengoperasian relative lebih mudah.

Berdasarkan data perencanaan, daya generator pada terminalnya 1000000 kW sedangkan pada kopling terjadi kerugian. Dengan mengganggap kerugian oada kopling sebesar 5 %, maka daya efektif yang keluar dari turbin pada perencanaan ini adalah :

$$\begin{aligned} N_e &= N_{Turbin} + 5 \% \\ &= 100000 + (5\% \times 100000) \\ &= 105000 \text{ kW} \end{aligned}$$

Putaran poros  $n$  direncanakan sebesar 15000 rpm, tekanan awal  $P_0$  sebesar 128,0 ata, temperature awal  $T_0$  sebesar 538,0 °C serta tekanan keluar  $P_2$  sebesar 0.082 ata dari Data ini, maka dapat dikategorikan turbin yang direncanakan adalah turbin kondensing.

#### Perencanaan Nosel dan Sudu Gerak

Nosel adalah suatu bagian pengalir uap sebelum masuk ke sudu gerak yang penampangnya bervariasi dan berfungsi mengkonversikan energy potensial uap menjadi energy kinetik. Menurut kecepatan aliran uap yang melewatinya, nosel dibagi menjadi dua jenis yaitu, nosel konvergen dan nosel konvergen – divergen.

Untuk menentukan jenis nosel yang dipergunakan, terlebih dahulu ditentukan besarnya tekanan kritis uap yang melalui nosel tersebut. Dalam hal ini tekanan kritis adalah tekanan minimum yang dicapai oleh uap yang berekspansi disepanjang laluan nosel, jika tekanan kritis lebih kecil dari tekanan uap keluar nosel, maka dipakai nosel konvergen. Sebaliknya jika tekanan kritis lebih besar dari pada tekanan keluar nosel, maka dipakai nosel kovergen – divergen. Untuk jenis uap jenuh

tekanan kritisnya 0.577 kali tekanan mula – mula, sedangkan untuk uap superheat 0.546 kali tekanan mula – mula.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perencanaan turbin yang direncanakan merupakan poros bertingkat, dnegan alur pasak sebagai tempat untuk mengikat roda gerak. Beban yang diterima oleh poros turbin adalah berupa bebam punter yang berasal dari putaran roda gerak.

Untuk menentukan diameter minimum poros yang memindahkan torsi, maka terlebih dahulu diketahuio bearnya tegangan kerja yang diperbolehkan dari bahan poros tersebut. Bahan poros yang digunakan adalah ASTM Steels A293-50T<sup>1)</sup>, dengan komposisi kimianya sebagai berikut :

Carbon, C	= 0.50 %
Mangan, Mn	= 1.00 %
Posfor, P	= 0.050 %
Sulfur S	= 0.050 %
Silikon, Si	= 0.15 %
Class	= 5

Sifat mekanisme bahan

Tensile strength $\sigma_t$	= 100.000 Psi
	= 7032 kg / cm <sup>2</sup>
Yield strength $\sigma_y$	= 70.000 Psi
	= 4922.4 kg / cm <sup>2</sup>

$$M_1 = 973000 \cdot \frac{N_i}{n}$$

Dimana :

$N_i$	= daya internal
	= 105411.1033 kW
$n$	= putaran turbin
	= 3.000 rpm

$$\begin{aligned} M_1 &= 973000 \cdot \frac{105411.1033}{3000} \\ &= 6837666.901 \text{ kg. cm} \end{aligned}$$

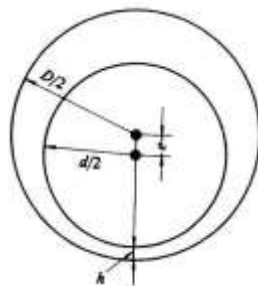
Tegangan tarik yang diizinkan :

$$\begin{aligned} \sigma &= 0.45 - 0.5 \sigma_y \\ \sigma &= 0.5 \sigma_y \\ \sigma &= 0.5 \times 4922.4 \end{aligned}$$

$$\sigma = 2461.2 \text{ kg/cm}^2.$$

Untuk menumpu poros turbin yang membunyai berat yang cukup besar serta putaran poros yang tinggi, dan bantalan yang dipilih adalah bantalan luncur. Disamping itu konstruksi bantalan luncur sangat mudah dan sederhana. Bantalan dia gi atas dua macam, yaitu :

1. Bantalan luncur radial  
Bantalan ini menerima beban dalam arah tegak lurus dengan sumbu poros beban pada bantalan ini berasal dari cakram roda gigi dan gaya sentrifugal pada poros.
2. Bantalan luncur aksial  
Bantalan ini menerima beban dalam arah sejajar dengan sumbu poros, beban pada bantalan ini berasal dari gaya aksial sudu gerak akibat kecepatan uap aksial yang mendorong sudu gerak.



Gambar 4. Bantalan dan Poros

Untuk menghitung tebal dinding rumah turbin dengan tepat sangat sulit, sebab bentuknya sangat kompleks. Oleh karena itu, dalam perhitungan ini bentuk rumah turbin dianggap berbentuk silinder.

Bahan rumah turbin yang dipilih adalah baja tuang ASTM A217 – 49T<sup>12)</sup> Grade C4 dengan komposisi sebagai berikut:

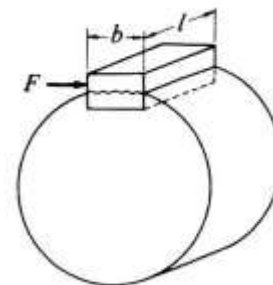
Carbon C	= 0.20 %
Mangan, Mn	= 0.50 – 0.80 %
Paspor, P	= 0.05 %
Sulfur, S	= 0.06 %

Nikel, Ni	= 0.70 – 1.10 %
Silikon, Si	= 0.60 %
Cromium, Cr	= 0.50 – 0.80 %
Molibdenum, Mo	= 0.45 – 0.65 %
Wolfram, W	= 0.10 %

Sifat mekanisme bahan :

Tensile strength, $\sigma_t$	= 70000 Psi
	= 4922.4 kg/cm <sup>2</sup>
Yield strength, $\sigma_y$	= 40000 Psi
	= 2812.8.4 kg/cm <sup>2</sup>

Pasak merupakan elemen mesin yang digunakan untuk menetapkan bagian – bagian mesin. Dalam perencanaan ini pasak digunakan untuk menetapkan roda gerak, kopling dan roda penahan. Pasak yang direncanakan untuk menetapkan roda gerak dan kopling adalah pasak jenis persegi. Bahan Pasak yang akan digunakan adalah dari bahan baja karbon konstruksi mesin JIS S 55 C, dengan kekuatan tarik 66 kg / mm<sup>2</sup>.



Gambar 5. Pasak

Untuk diameter poros, D = 440 mm dipilih pasak roda gerak dengan dimensi sebagai berikut :

b	= 32 mm
h	= 18 mm
t <sub>1</sub>	= 11 mm
t <sub>2</sub>	= 7.4 mm
l	= 0.75 . d
	= 0.75 x 440
	= 330 mm.

Untuk diameter poros,  $D = 395$  mm dipilih pasak roda gerik dengan dimensi sebagai berikut :

$$\begin{aligned} b &= 32 \text{ mm} \\ h &= 18 \text{ mm} \\ t_1 &= 11 \text{ mm} \\ t_2 &= 7.4 \text{ mm} \\ l &= 0.75 d \\ &= 0.75 \times 395 \\ &= 335.75 \text{ mm.} \end{aligned}$$

Untuk meneruskan putaran dan daya poros dari turbin uap implus dari bermacam jenis, kopling yang digunakan adalah kopling flens kaku karena mengingat kopling ini mempunyai keuntungan, konstruksi yang sederhana, pemasangan yang mudah, aman pada putaran tinggi dan getaran. Dari data ukuran kopling flens kaku dimana poros turbin pada bagian – bagian pemasangan kopling berdiameter 395 mm, maka ukuran – ukuran kopling untuk kopling flens dapat ditentukan berdasarkan diameter lubang kopling = 165 mm.

Pemilihan bahan kopling flens dapat ditentukan dengan memilih bahan yang mempunyai tegangan geser ijin bahan baku yang melebihi tegangan geser yang terjadi. Bahan untuk baut kopling dipilih dari bahan besi cor kelabu SF 60 dengan kekuatan tarik (tb) 60-70 kg / mm<sup>2</sup>. Jadi  $T_a = 5 \text{ Kg / mm}^2$ .  $T_f = 2.223 \text{ kg / mm}^2$  (memenuhi).

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Dari perhitungan- perhitunga di atas dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Ditinjau dari segi uap keluar, turbin ini adalah turbin condensing.
2. Turbin yang direncanakan ini memiliki spesifikasi sebagai berikut:  
Daya efektif turbin = 100 MW  
= 3000 rpm  
Tekanan uap masuk = 128,0 ata

$$\begin{aligned} \text{Temperatur uap masuk} &= 538,0 \text{ }^\circ\text{C} \\ \text{Tekanan uap keluar} &= 0,082 \text{ ata} \\ \text{Pemakaian uap} &= 104,826 \text{ kg/det.} \end{aligned}$$

### Saran

Saat melakukan perhitungan-perhitungan dalam perencanaan turbin uap ini sangat diperlukan melakukan perhitungan secara trial and error. Ini dilakukan supaya kita mendapatkan ukuran-ukuran serta efisiensi turbin yang tinggi. Ketelitian dalam pembacaan diagram mollier juga merupakan faktor penting untuk menghasilkan suatu perencanaan turbin uap yang mempunyai efisiensi tinggi.

### DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, Wiranto. 1982. *Penggerak Mula Turbin*. ITB. Bandung.
- ASME Hand Book. 1954. *Metals Properties*. Mc Graw Hill Book Company. Inc, New York.
- Balje, O. E. 1981. *Turbo Machine A Guide to Design Selection and Theory*. Jhon Willey & Sons.
- Bernard, D. Wood. 1987. *Penerapan Termodinamika*. Jilid 1, Edisi kelima, Erlangga. Jakarta.
- Dietzel, Fritz. 1980. *Turbin Pompa dan Kompresor*. Erlangga. Jakarta.
- Holman, J. P. 1984. *Perpindahan Kalor*. Edisi Kelima. Erlangga. Jakarta.
- Kulshrestha, S.K. 1989. *Termodinamika Terpakai Teknik Uap dan Panas*. UI-Press.
- Muin, A. Syamsir. 1993. *Pesawat-pesawat Konversi Energi II*. Rajawali Pers. Jakarta.

Sularso, dan Kiyokatsu Saga.1983. *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen*. Pradya Paramita. Jakarta.

Taib, Sutan Sa'ti, Mohd. 1980. *Buku Polyteknik*. Sumur Bandung. Bandung.

William C. Reynolds, Henry C. Perkins.1982. *Termodinamika Teknik edisi 2*. Erlangga. Jakarta.