

# ANALISIS TERMODINAMIKA TERHADAP LAJU ALIRAN MASSA UAP-AIR YANG DIPERLUKAN OLEH TURBIN ADIABATIS

Aloysius Eddy Liemena\*

## Abstract

Superheated steam went through the adiabatic turbine, changed to be saturated liquid-vapor steam with pressure dropped, velocity and also quality of the steam. The initial condition of the superheated steam as follow : pressure was 8 MPa, temperature was 850 °C, velocity was 80 m/s and the height of the inlet was 18 m while the condition of the steam at the outlet of the turbine, the pressure was made by variation of 25 kPa till 70 kPa, velocity of 335 m/s till 380 m/s, quality of 95,4 % till 98,1 % and the height of outlet was 8 m. In this case was made analysis of the steady flow process of the steam went through the adiabatic turbine as volume control with the output power of 8 Mw. The trend of the mass flow rate increased with the variation of 4,75 kg/s till 5,12 kg/s.

*Key words* : Superheated, Saturated, The mass flow rate.

## I. PENDAHULUAN.

Turbin uap bisa dipakai di darat maupun di kapal-kapal laut. Untuk pemakaian di darat, menggantikan turbin air untuk memutar generator listrik, yang digunakan untuk keperluan penerangan dan lain-lainnya. Sedangkan yang dipakai di kapal laut adalah juga untuk menggerakkan generator listrik tetapi untuk keperluan utama yaitu untuk propulsi kapal, penerangan dan lain-lain.

Fluida kerja untuk turbin uap berupa uap panas lanjut (superheated) yang didapat dari ketel uap dan setelah melalui suatu turbin maka keadaannya berubah menjadi campuran uap-cairan jenuh yang kemudian harus didinginkan hingga menjadi air yang kemudian dipompakan lagi ke ketel dan seterusnya ketel menghasilkan uap-air, sehingga terjadi suatu siklus uap-air pada instalasi tenaga uap tersebut

Permasalahan yang timbul dalam hal ini uap panas lanjut berubah menjadi campuran uap-cairan jenuh mengakibatkan variasi penurunan tekanan uap-air dan akhirnya mengakibatkan variasi laju aliran massa uap-air.

Uap-air yang masuk turbin diasumsikan mengalami proses aliran ajeg / stabil (steady) dan turbin uap tersebut dianggap sebagai volume atur (control volume). Pada turbin uap tersebut terjadi perubahan energi potensial menjadi energi kinetis. Kecepatan uap-air bertambah besar sedangkan tekanannya menurun. Dalam Penelitian ini mempunyai tujuan adalah untuk menentukan

kecenderungan (trend) laju aliran massa uap-air yang diperlukan oleh turbin adiabatik

## II. TINJAUAN PUSTAKA.

### 2.1. TURBIN UAP.

Mesin turbin yang dipakai untuk menggerakkan generator listrik biasanya berupa mesin daya uap, gas ataupun hidroelektrik.

Jika fluida melalui suatu turbin, kerja dilakukan melawan kipas (blade) yang terpasang pada poros. Hasilnya poros berputar, dan turbin menghasilkan kerja. Kerja yang dihasilkan tersebut adalah positif oleh karena dilakukan oleh fluida.

Untuk turbin uap, besaran-besaran relatif dari berbagai istilah yang timbul dalam persamaan energi adalah sebagai berikut :

$\dot{Q} \cong 0$ . Perpindahan panas untuk turbin uap ini relatif kecil terhadap kerja poros kecuali ada pendinginan yang disengaja (intentional). Suatu nilai perkiraan didasarkan pada studi eksperimental yang dapat digunakan dalam analisis, atau perpindahan panas dapat diabaikan jika tidak ada pendinginan yang disengaja.

$\dot{W} \neq 0$ . Turbin uap mengandung/memiliki perputaran poros yang melewati batas-batasnya, oleh karena itu istilah kerja adalah penting. Simbol  $\dot{W}$ ,

menyatakan daya yang dihasilkan ataupun yang diperlukan.

$\Delta ep \approx 0$ . Perubahan energi potensial yang dialami oleh suatu fluida yang mengalir melalui suatu turbin, sangat kecil dan biasanya dapat diabaikan.

$\Delta ek \approx 0$ . Kecepatan pada saluran masuk dan keluar sangat rendah sehingga perubahan energi kinetis dapat diabaikan.

## 2.2. PRINSIP KEKEKALAN MASSA UNTUK SISTEM TERBUKA.

(Massa total yang masuk ke sistem terbuka ) dikurangi (massa total yang keluar dari sistem terbuka) sama dengan (perubahan massa di dalam sistem terbuka).

Dengan formulasi sebagai berikut :

$$\sum m_{masuk} - \sum m_{keluar} = \Delta m_{sistem-terbuka}$$

## 2.3. LAJU ALIRAN MASSA.

Jumlah massa yang mengalir melalui suatu penampang persatuan waktu disebut laju aliran massa dan dinyatakan sebagai berikut :

$$\dot{m} = \rho \cdot V_{rerata} \cdot A \cdot \frac{kg}{s}$$

dengan :

$$\rho = \text{kerapatan massa}, \frac{kg}{m^3} = \frac{1}{v}$$

$$V_{rerata} = \text{kerapatan rerata fluida}, \frac{m}{s}$$

$$A = \text{luas penampang saluran}, m^2.$$

## 2.4. LAJU ALIRAN VOLUME.

Volume fluida yang mengalir melalui suatu penampang persatuan waktu disebut laju aliran volume, dan dinyatakan sebagai berikut :

$$\dot{V} = V_{rerata} \cdot A \cdot \frac{m^3}{s}$$

Hubungan antara  $\dot{m}$  dan  $\dot{V}$  adalah :

$$\dot{m} = \delta \cdot \dot{V} = \frac{\dot{V}}{v}$$

## 2.5. PRINSIP KEKEKALAN ENERGI UNTUK SISTEM TERBUKA.

(Energi total yang melewati batas sistem berupa panas dan kerja) ditambah (energi total dari massa yang masuk sistem terbuka) dikurangi (energi total dari massa yang keluar dari sistem terbuka) adalah sama dengan (perubahan energi di dalam sistem terbuka). Yang diformulasikan sebagai berikut :

$$Q - W + \sum E_{msk} - \sum E_{klr} = \Delta E_{sistem-terbuka}$$

## 2.6. KERJA ALIRAN.

$$W_{aliran} = F \cdot L = P \cdot A \cdot L = P \cdot V, \text{ kJ.}$$

Sedangkan kerja aliran persatuan massa adalah :

$$W_{aliran} = P \cdot v, \frac{kJ}{kg}$$

## 2.7. ENERGI TOTAL SUATU FLUIDA YANG MENGALIR PERSATUAN MASSA.

$$\theta = P \cdot v + e$$

$$= P \cdot v + (u + ek + ep), \text{ dan } P \cdot v + u = h,$$

sehingga :

$$= h + ek + ep$$

$$= h + \frac{V^2}{2} + gz, \frac{kJ}{kg}$$

dengan :

$$P \cdot v = \text{kerja aliran persatuan massa}, \frac{kJ}{kg}$$

$$h = \text{enthalpi persatuan massa}, \frac{kJ}{kg}$$

$$V = \text{kecepatan rerata}, \frac{m}{s}$$

$$g = \text{percepatan gravitasi}, \frac{m}{s^2}$$

$$z = \text{ketinggian system}, m.$$

## 2.8. PROSES ALIRAN AJEG / STABIL (STEADY).

Suatu proses aliran ajeg/stabil adalah suatu proses yang terjadi dalam periode waktu yang lama dengan kondisi yang konstan.

Karakteristiknya antara lain :

Tidak ada perubahan sifat-sifat (intensif atau ekstensif) di dalam sistem terbuka jadi volume V,

massa  $m$ , dan energi total  $E$  dari sistem terbuka tetap konstan selama suatu proses aliran ajeg. Jadi kerja pada batas sama dengan nol untuk suatu sistem aliran ajeg (karena  $V_{\text{sistem-terbuka}} = \text{konstan}$ ).

## 2.9. KEKALKAN MASSA UNTUK PROSES ALIRAN AJEG / STABIL.

Prinsip kekekalan massa dalam bentuk laju dan sistem mempunyai banyak saluran masuk maupun keluar dinyatakan sebagai berikut :

(Massa total yang masuk sistem terbuka persatuan waktu) = (massa total yang keluar dari sistem terbuka persatuan waktu).

Atau :

$$\sum \dot{m}_{\text{masuk}} = \sum \dot{m}_{\text{keluar}} \frac{kJ}{s}$$

Untuk sistem dengan sepasang saluran masuk dan keluar maka persamaan di atas menjadi:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2.$$

atau :

$$\rho_1 \cdot V_1 \cdot A_1 = \rho_2 \cdot V_2 \cdot A_2$$

$$\left(\frac{1}{v_1}\right) V_1 \cdot A_1 = \left(\frac{1}{v_2}\right) V_2 \cdot A_2$$

dengan :

$$\rho = \text{kepadatan massa}, \frac{m}{V}, \frac{kg}{m^3} = \frac{1}{v}.$$

$$v = \text{volume jenis}, \frac{V}{m}, \frac{m^3}{kg} = \frac{1}{\rho}.$$

$$V = \text{kecepatan rerata dalam arah aliran}, \frac{m}{s}.$$

$$A = \text{luas penampang normal arah aliran}, m^2.$$

## 2.10. KEKALKAN ENERGI UNTUK PROSES ALIRAN AJEG / STABIL.

Untuk proses ini, perubahan energi total di dalam sistem terbuka adalah nol atau  $\Delta E_{\text{sistem-terbuka}} = 0$ , kemudian untuk sistem dengan banyak saluran masuk dan keluar, prinsip ini dinyatakan sebagai berikut : (energi total yang melewati batas sistem berupa panas dan kerja persatuan waktu) = (energi total yang keluar dari sistem terbuka dengan massa persatuan waktu) dikurangi (energi total yang masuk sistem terbuka dengan massa persatuan waktu). Diformulasikan sebagai berikut :

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_{\text{keluar}} \theta_{\text{keluar}} - \sum \dot{m}_{\text{masuk}} \theta_{\text{masuk}}$$

dengan :

$$\theta = h + \left(\frac{V^2}{2}\right) + gz = h + ek + ep.$$

Jadi :

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_{\text{keluar}} \left(h_{\text{keluar}} + \frac{V_{\text{keluar}}^2}{2} + gz_{\text{keluar}}\right) -$$

$$\sum \dot{m}_{\text{masuk}} \left(h_{\text{masuk}} + \frac{V_{\text{masuk}}^2}{2} + gz_{\text{masuk}}\right)$$

Untuk sistem dengan sepasang saluran masuk dan keluar maka didapat :

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m} \left[ h_2 - h_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) \right]$$

atau :

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m} [\Delta h + \Delta ek + \Delta ep], \text{ kw}$$

Kemudian persamaan ini, dibagi dengan  $\dot{m}$  menjadi :

$$q - w = \Delta h + \Delta ek + \Delta ep, \frac{kJ}{kg}.$$

Dengan :

$$q = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}}$$

$$= \text{perpindahan panas persatuan massa}, \frac{kJ}{kg}.$$

$$w = \frac{\dot{W}}{\dot{m}} = \text{kerja persatuan massa}, \frac{kJ}{kg}.$$

Jika  $\Delta ek$  dan  $\Delta ep$  diabaikan maka persamaan kekekalan energi untuk sistem terbuka (volume tetap) dengan sepasang saluran masuk dan keluar, yang mengalami proses aliran stabil (a single stream steady flow system), akan menjadi :

$$q - w = \Delta h, \frac{kJ}{kg}.$$

## IV. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang dipakai dalam penelitian ini adalah deskriptif yaitu analisis proses aliran ajeg / stabil (steady) dari uap-air yang melalui suatu turbin uap adiabatik dengan daya keluaran 8 MW.

Sumber data : tabel termodinamika uap-air jenuh (saturated steam table) dan tabel uap-air panas lanjut (superheated steam table).

Analisis data : dari data yang didapat dari tabel uap jenuh & uap panas lanjut maka dihitung perubahan enthalpi, perubahan energi kinetis dan potensial dan dari situ didapat kerja yang dilakukan persatuan massa dan akhirnya didapat laju aliran massa uap-air yang diperlukan oleh turbin dengan daya keluaran 8 MW.

## V. HASIL DAN PEMBAHASAN.

Dari persamaan kekekalan energi untuk proses aliran ajeg / stabil :

$$q - w = \Delta h + \Delta e_k + \Delta e_p, \frac{kJ}{kg}. \text{ Dengan } q = 0.$$

Didapat :

$$w = -(\Delta h + \Delta e_k + \Delta e_p), \frac{kJ}{kg}.$$

Sedangkan  $\dot{m} = \frac{\dot{W}}{w}, \frac{kg}{s}$  = laju aliran massa uap-air.

Tabel 1. Hasil perhitungan laju aliran massa uap-air ( $\dot{m}$ ).

P <sub>2</sub> kPa	V <sub>2</sub> m/s	X	Δh kJ/kg	Δek kJ/g	w kJ/s	$\dot{m}$ kg/s
25	335	0,954	-1735,7	52,9	1682,9	4,75
30	340	0,957	-1721,2	54,6	1666,6	4,80
35	345	0,960	-1708,1	56,3	1651,9	4,84
40	350	0,963	-1695,1	58,1	1637,1	4,89
45	355	0,966	-1683,3	59,8	1623,6	4,93
50	360	0,969	-1662,8	61,6	1601,3	4,99
55	365	0,972	-1661,1	63,4	1597,8	5,01
60	370	0,975	-1650,7	65,3	1585,5	5,04
65	375	0,978	-1640,3	67,1	1573,2	5,08
70	380	0,981	-1629,9	69,0	1561,0	5,12

Dari variasi tekanan dari uap-air pada saluran keluar dari turbin yaitu dari 25 hingga 70 kPa, variasi kecepatannya dari 335 hingga 380 m/s dan variasi kualitasnya dari 0,954 hingga 0,981 ternyata didapat bahwa adanya kenaikan laju aliran massa uap-air tersebut dari 4,75 hingga 5,12 kg/s.

## VI. KESIMPULAN.

Tekanan uap panas lanjut yang masuk turbin adiabatik tersebut adalah konstan sebesar 8 MPa, demikian juga temperaturnya, kecepatan uap pada saat masuk turbin tersebut serta tinggi saluran masuk dan

keluar, masing-masing tetap konstan. Kecepatan uap yang keluar bervariasi dari 335 hingga 380 m/s, demikian juga kualitas uap bervariasi dari 0,954 hingga 0,981 serta tekanan uap bervariasi dari 25 hingga 70 kPa dengan demikian terjadi peningkatan perubahan energi kinetis yang bervariasi dari 52,9 hingga 69,0 kJ/kg. Sedangkan dengan variasi kualitas dan tekanan uap maka enthalpi uap-air yang keluar, meningkat dari 2510,3 hingga 2616,2 kJ/kg.

Dengan demikian perubahan enthalpi meningkat dan bervariasi dari -1735,7 hingga -1629,9 kJ/kg, sedangkan perubahan energi potensial tetap konstan sebesar -0,098 kJ/kg. Akibatnya kerja persatuan massa uap menurun dengan variasi dari 1682,9 kJ/kg hingga 1561,0 kJ/kg.

Akhirnya didapat kecenderungan laju aliran massa uap-air yang diperlukan oleh turbin 8 Mw tersebut, meningkat dengan variasi dari 4,75 hingga 5,12 kg/s.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahern, J.E., 1980, " *The Exergy Method of Energy Systems Analysis* ", Wiley, New York.
- Bannister, R.L. and Silvestri, G.J., 1989, " *The Evolution of Central Station Steam Turbines* ", Mechanical Engineering, pp.70-78.
- Black, W.Z. and Hartley, J.G., 1985, " *Thermodynamics* ", Harper & Row, New York.
- Bejan, A., 1988, " *Advanced Engineering Thermodynamics* ", Wiley, New York.
- Djodihardjo, H., 1985, " *Dasar-Dasar Termodinamika* ", PT Gramedia, Jakarta.
- Giles, R.V. dan Soemitro, H.W., 1993, " *Mekanika Fluida dan Hidraulika* ", Edisi Kedua (SI Metrik), Erlangga, Jakarta.
- Howel, J.R. and Buckius, R.O., 1987, " *Fundamental of Engineering* ", McGraw-Hill, New York.
- Jones, J.B. and Hawkins, G.A., 1986, " *Engineering Thermodynamics* ", 2<sup>nd</sup> ed., Wiley, New York.
- Karlekar, B.V., 1983, " *Thermodynamics for Engineering* ", Prentice-Hall, Engewood Cliffs, New York.
- Rifkin, J., 1980, " *Entropy* ", The Viking Press, New York.
- Shapiro, A.H., 1953, " *The Dynamics and Thermodynamics of Compressible Fluid Flow* ", Vol.1, Ronald Press Company, New York.
- Van Wylen, G.J. and Sonntag, R.E., 1985, " *Fundamentals of Classical Thermodynamics* ", 3<sup>rd</sup> ed., Wiley, New York.