

PENENTUAN EFISIENSI TERMAL PLTN DENGAN ALGORITMA YANG DAPAT DIOLAH KOMPUTER

Utaja
PPNR- SATAN

ABSTRAK

PENENTUAN EFISIENSI TERMAL PLTN DENGAN ALGORITMA YANG DAPAT DIOLAH KOMPUTER.

Efisiensi PLTN merupakan parameter yang penting untuk menentukan harga listrik yang dibangkitkan. Untuk itu efisiensi termal PLTN akan ditentukan dengan algoritma yang dapat diolah komputer. Dalam makalah ini akan ditinjau efisiensi PLTN dengan siklus Rankine uap jenuh. Algoritma didasarkan pada pembacaan data uap, inter-polasi pemilihan harga empirik Salisbury dan penampilan grafik. Harga yang diolah meliputi tekanan, suhu, entalpi, entropi dan volume jenis uap. Pengolahan komputer menggunakan bahasa pemrograman BASIC dengan kompilator Power BASIC 3.0. Hasil ditampilkan dalam bentuk grafik, baik grafik suhu vs entropi maupun diagram balok. Dari grafik suhu vs entropi yang dihasilkan pengaruh tekanan uap dan banyaknya tingkat regenerasi dengan mudah dapat diketahui.

PENDAHULUAN

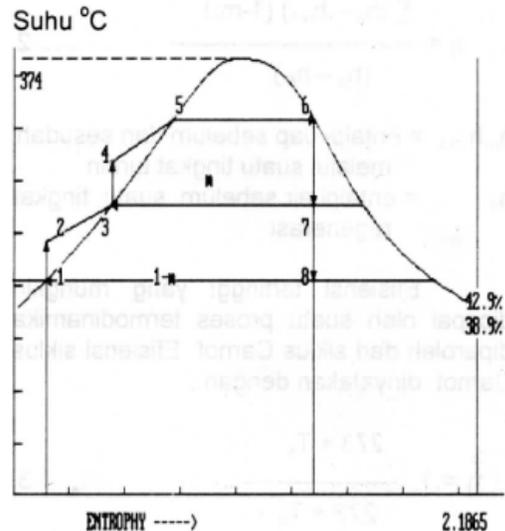
Efisiensi termal PLTN ikut menentukan harga listrik yang dibangkitkan. Penentuan efisiensi termal PLTN yang selama ini dilakukan, umumnya dengan cara manual. Untuk mengetahui pengaruh perubahan besaran terhadap efisiensi secara cepat, cara ini kurang praktis. Maka untuk itu disusun suatu algoritma penentuan efisiensi yang dapat diproses komputer. Uraian dibatasi pada proses termodinamika siklus Rankine uap jenuh dengan ekspansi isentropik ideal.

Siklus Rankine adalah siklus termodinamika yang mengubah entalpi uap menjadi tenaga mekanik. Entalpi uap jenuh dilacak sepanjang siklus ini. Perubahan entalpi menandakan terjadinya konversi energi. Perubahan yang utama terjadi di turbin dan ditingkat regenerasi. Dengan algoritma ini, efisiensi PLTN, pengaruh tekanan uap saat masuk turbin, pengaruh tekanan vakum kondensor dan banyaknya tingkat regenerasi dapat ditentukan dengan cepat.

TEORI EFISIENSI SIKLUS RANKINE

Akan ditinjau siklus Rankine dengan regenerasi, karena jenis inilah yang umum dipakai pada PLTN (PWR & BWR). Perhatikan gambar 1. pemanasan air di dalam teras reaktor dimulai dari titik 4 menuju titik 5. Dari titik 5 menuju titik 6 air mengalami pemanasan isotermik dan berubah menjadi uap. Selanjutnya uap

jenuh pada titik 6 diekspansikan di dalam turbin ke titik 7 dan titik 8. Pada lintasan dari titik 8 menuju titik 1, uap mengalami pengembunan (kondensasi) di dalam kondensor. Untuk dapat mencapai titik 4, air harus dipompa. Sebagian uap di ambil pada titik 7 untuk memanasi air yang kembali dari titik 1 menuju titik 4.



Gambar 1. Diagram Suhu vs Entropy

Pemanasan air yang datang dari kondensor ini dikenal sebagai proses regenerasi. Siklus di atas dinamakan siklus Rankine dengan regenerasi. Efisiensi panas dapat diuraikan sebagai berikut.

- Daya turbin $6 - 7 : h_6 - h_7$
 $7 - 8 : (h_7 - h_8)(1 - m)$

$$(1 - x) = \frac{S_0 - S_g}{S_g - S_1} \dots\dots 4b$$

- Daya turbin total :
 $P_{\text{turbin}} = (h_6 - h_7) + (h_7 - h_8)(1 - m)$

- Daya pompa 1-4 : $P_{\text{pompa}} = (P_5 - P_1) V_{\text{air}}$

- Panas masuk : $E = h_6 - h_4$

h = entalpi, m = masa uap yang dicerat
 P = tekanan uap

- Efisiensi : $(P_{\text{turbin}} - P_{\text{pompa}}) / E$

$$\eta = \frac{(h_6 - h_7) + (h_7 - h_8)(1 - m)}{h_6 - h_7} \dots\dots 1$$

$$m = \frac{h_7 - h_1}{h_3 - h_1}$$

Regenerasi yang dinyatakan dengan $(h_7 - h_8)(1 - m)$ dapat dilakukan beberapa kali sesuai banyaknya tingkat regenerasi. Bentuk yang lebih umum dari persamaan 1, dinyatakan dengan :

$$\eta = \frac{\sum (h_n - h_{n-1})(1 - m_n)}{(h_n - h_6)} \dots\dots 2$$

h_n, h_{n-1} = entalpi uap sebelum dan sesudah melalui suatu tingkat turbin
 h_6 = entalpi air sebelum suatu tingkat regenerasi

Efisiensi tertinggi yang mungkin dicapai oleh suatu proses termodinamika diperoleh dari siklus Carnot. Efisiensi siklus Carnot dinyatakan dengan :

$$\eta = 1 - \frac{273 + T_v}{273 + T_h} \dots\dots 3$$

T_v = suhu air dalam kondensor
 T_h = suhu tertinggi uap saat masuk turbin

Ekspansi uap pada turbin dari titik 6 menuju titik 8 pada gambar 1, dianggap berlangsung secara isentropik. Hubungan entalpi pada suatu tingkat ekspansi dinyatakan :

$$h_7 = h_g - (1 - x)(h_g - h_1) \dots\dots 4a$$

h_g = entalpi uap jenuh setelah ekspansi
 h_1 = entalpi air setelah ekspansi
 S_0 = entropi awal uap sebelum ekspansi
 S_g = entropi uap jenuh setelah ekspansi suatu tingkat

Dari persamaan 1 sampai dengan persamaan 4, persoalan utama dalam menentukan efisiensi adalah pembacaan data uap (h dan s) dan interpolasi. Dengan bantuan komputer perhitungan dapat dipercepat.

ALGORITMA

Pada dasarnya algoritma ini memuat tiga kelompok tugas :

1. Penyiapan layar grafik beserta proses penggambaran kurva.
2. Pembacaan data uap yang meliputi : suhu, tekanan, volume jenis air, volume jenis uap, entalpi air, entalpi uap, entropi air dan entropi uap.
3. Perhitungan daya turbin, daya pompa efisiensi siklus Rankine dan Carnot.

Data masukan diberikan secara interaktif meliputi : tekanan uap saat masuk turbin, tekanan vakum pada kondensor dan banyaknya tingkat regenerasi. Data keluaran berupa gambar proses Rankine pada diagram Suhu vs Entropi, efisiensi siklus Rankine dan siklus Carnot dan daya terbangkit (kW/kg). Alur logika dapat dilihat pada gambar 5.

Algoritma dimulai dengan pembacaan data entropi uap, entropi air dan suhu. Kemudian harga entropi dan entalpi maksimum untuk penggambaran grafik ditentukan.

Proses dilanjutkan dengan pembukaan layar grafik dan penggambaran kurva Suhu vs Entropi (diagram T-S). Selanjutnya dimasukkan data tekanan uap, tekanan vakum, dan banyaknya tingkat regenerasi. Dengan data ini kemudian dibaca data uap dari file untuk tekanan tinggi dan tekanan vakum. Penentuan tingkat regenerasi didasarkan pada teori Salisbury. Suhu pada masing-masing tingkat regenerasi akan menentukan harga entropi dan entalpi. Harga entropi dan entalpi pada masing-masing tingkat menentukan besarnya daya turbin dan

daya pompa. Berdasar harga entropi dan entalpi masing-masing tingkat dapat ditentukan efisiensi siklus Rankine dan Carnot serta daya terbangkit setiap kilogram uap. Proses berikutnya menampilkan hasil pada diagram T-S dan diagram balok.

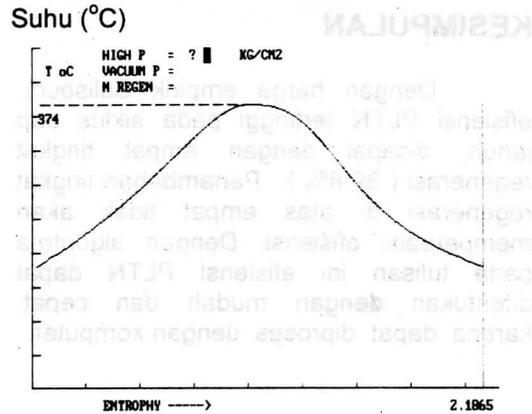
HASIL DAN BAHASAN

Pada gambar 2 tampak grafik kurva T-S untuk pemasukan data. Pada sisi atas sebelah kiri tampak posisi tempat pemasukan data tekanan uap, tekanan vakum dan banyaknya tingkat regenerasi. Gambar 3 menunjukkan hasil perhitungan dan proses regenerasi untuk N REGEN = 2. Pada kurva diagram T-S digambarkan proses regenerasi, sedangkan pada diagram balok (sebelah kanan) digambarkan hasil perhitungan efisiensi siklus Rankine dan Carnot. Untuk HIGH P 70 kg/cm², VACUUM P 0.1 kg/cm² dan N REGEN 2 efisiensi siklus Rankine sebesar 39.6% dan efisiensi siklus Carnot sebesar 42.9%. Tekanan dan suhu pada masing-masing tingkat regenerasi dapat dibaca dengan memilih 1 pada informasi P&T. Pada gambar 4 tekanan uap dan tekanan vakum seperti pada gambar 3, tetapi dengan 4 tingkat regenerasi. Tampak efisiensi menjadi 39.8%. Kenaikan banyaknya tingkat regenerasi selanjutnya tidak akan menaikkan efisiensi, tetapi akan menurunkan efisiensi. Hal ini tampak pada Tabel 1.

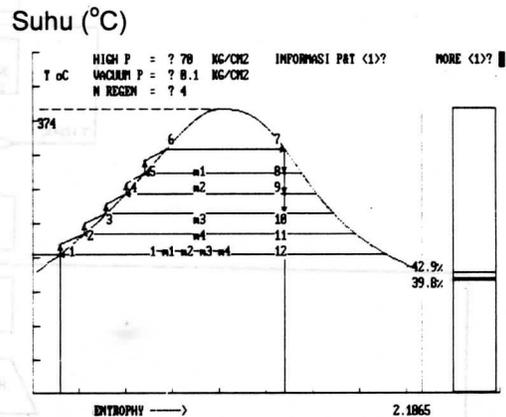
Tabel 1. Jumlah Regenerasi - Efisiensi

Jumlah	Daya Turbin (kW/kg)	Daya Pompa (kW/kg)	Efisiensi %
0	53.3	0.395	35.9
1	46.9	0.210	38.9
2	43.9	0.213	39.6
4	40.7	0.213	39.8
6	38.8	0.212	39.7
8	37.6	0.210	39.5

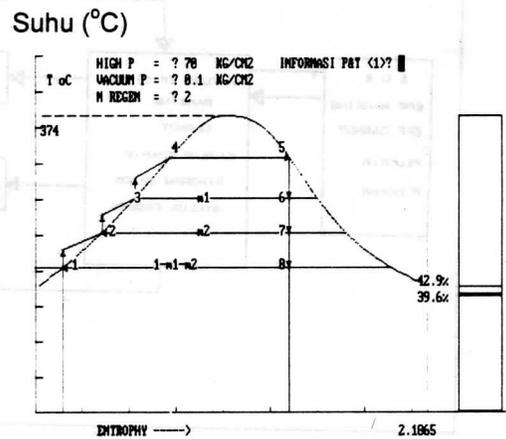
Untuk menaikkan efisiensi lebih lanjut, dipergunakan pengeringan dan pemanasan ulang (reheater) dengan uap sebelum masuk turbin. Cara ini dilakukan pada AP600 yaitu mengeringkan uap dan memanaskan kembali setelah ekspansi tingkat ke dua (setelah turbin tekanan tinggi). Efisiensi yang dicapai dengan 7 tingkat regenerasi sebesar 40%.



Gambar 2. Kurva T-S untuk pemasukan data



Gambar 3. Proses dengan N REGEN = 2



Gambar 4. Proses dengan N REGEN = 4

Apapun yang dilakukan, efisiensi yang dicapai tetap masih dibawah efisiensi siklus Carnot (42.9%).

KESIMPULAN

Dengan harga empirik Salisbury, efisiensi PLTN tertinggi pada siklus uap jenuh, dicapai dengan empat tingkat regenerasi (39.8%). Penambahan tingkat regenerasi di atas empat tidak akan memperbaiki efisiensi. Dengan algoritma pada tulisan ini efisiensi PLTN dapat ditentukan dengan mudah dan cepat, karena dapat diproses dengan komputer.

DAFTAR PUSTAKA

1. FRANCIS F. HUANG, " Engineering Thermodynamic", Mac Millan Publishing Co. INC, New York
2. M.M EL WAKIL, " Nuclear Energy Conversion", Intext Education Publisher, 666 Fifth Avenue, New York
3. POWER BASIC INC, "Power Basic Reference Guide", Brentwood USA 1992.

