

# TERMODINAMIK DARI MESIN PANAS PRAKTIS

Oleh  
Drs. Motlan, MSc.

## A Pendahuluan

"Mesin atau peralatan yang memungkinkan agar suatu zat mengalami proses putaran pada perubahan panas menjadi kerja disebut mesin panas" (Sear, 1964).

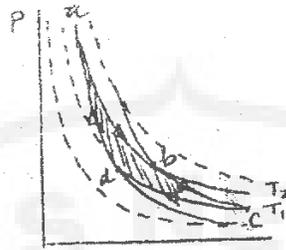
Mesin panas yang paling sederhana terdiri dari suatu sistem, yang disebut sebagai zat kerja, yang dapat mengalami interaksi panas dan kerja pada lingkungannya. Zat kerja dapat berupa zat padat, zat cair dan uap atau gas. Dengan memberikan energi (energi panas) pada zat kerja menyebabkan suatu piston bergerak dan dengan demikian kerja sudah dilakukan pada sekitarnya. Pada umumnya mesin-mesin menggunakan zat cair atau gas sebagai zat kerja. Jika zat kerja yang dipergunakan adalah gas, diskripsi termodinamik dari sifat-sifat alat tersebut dibuat dalam koordinat termodinamik. Koordinat termodinamik tersebut adalah tekanan, volume dan temperatur. Perubahan pada koordinat ini akan menyebabkan perubahan sifat-sifat termodinamik yang lain seperti entalpi dan entropi

Mesin uap adalah mesin panas yang menggunakan air dan uap air sebagai zat kerjanya, dan kerja dilakukan oleh tekanan ketika zat kerja mengalami perubahan volume. Hal-hal yang mendapat perhatian khusus pada tulisan ini adalah sifat-sifat termodinamik dari mesin panas, tetapi lebih menekankan pada mesin uap. Dari sifat-sifat termodinamik, fungsi dari mesin panas adalah untuk memperoleh tenaga (kerja) sebesar mungkin dari panas yang diberikan (diserap). Oleh karena itu yang menjadi pokok perhatian dari pembahasan ini adalah mengenai efisiensi dari suatu mesin.

## B. Siklus Carnot

Teori termodinamik dari suatu proses siklus yang sederhana pertama sekali diperkenalkan oleh seorang Insinyur Perancis yang bernama Sadi Carnot pada tahun 1824 (Lee-Sear, 1964). Meskipun siklus Carnot adalah suatu yang bersifat teori dan tidak mungkin diterapkan pada mesin yang sebenarnya, namun prinsip kerjanya dapat digunakan untuk pengembangan mesin-mesin panas.

Siklus Carnot terdiri dari empat proses yang reversible seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.

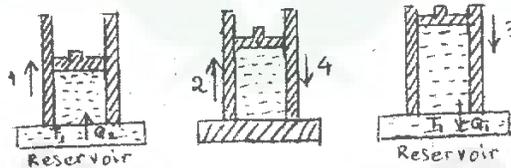


Gambar (1) Siklus Carnot.  
(Sears, Salinger, 1986).

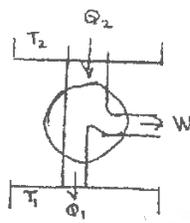
adalah :

1. Ekspansi isotermal yang reversible dari volume  $V_a$  ke volume  $V_b$ . Selama proses ini zat kerja menyerap sejumlah panas  $Q_2$  dari reservoir yang lebih panas (sumber panas) pada temperatur  $T_2$ .
2. Ekspansi adiabatik dari volume  $V_b$  ke volume  $V_c$ . zat kerja ditempatkan pada daerah (ruangan) adiabatik dan selama proses ini temperatur turun ke  $T_1$ .
3. Pengusutan isotermal yang reversible dari volume  $V_c$  ke volume  $V_d$ . Selama proses ini substansi kerja mengeluarkan sejumlah panas  $Q_1$  ke reservoir yang lebih dingin (Sink) dan zat kerja tersebut mempertahankan suhu pada  $T_1$ .
4. Penyusutan isotermal yang reversible dari volume  $V_d$  ke keadaan semula  $V_a$  pada  $T_2$ .

Keempat siklus tersebut dapat dilihat pada bentuk yang lebih nyata seperti yang diperlihatkan pada gambar 2, dan skema diagram dari aliran kalor (panas) dari mesin tersebut ditunjukkan pada gambar 3.



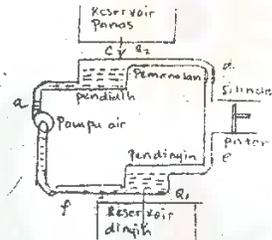
Gambar (2) Suatu mesin Carnot ( $T_2 > T_1$ )  
(Lea-Sears, 1964)



(3) Diagram Skematik dari Mesin Panas

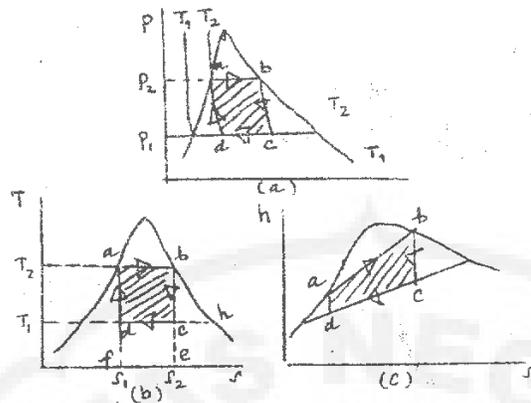
### C. Mesin Uap.

Skema dari mesin uap diperlihatkan pada gambar (4). Zat kerja (perantara), air, pada prinsipnya mengalir urutan yang sama. Pada bak pendidih, air dipanasi sampai pada titik didihnya dan diubah menjadi uap jenuh pada temperatur yang juga bergantung pada tekanan



Gambar (4) Diagram dari mesin uap.

uap yang jenuh ini kemudian dialirkan melalui silinder, dimana mengalami ekspansi adiabatik terhadap piston. Sampai tekanan dan temperaturnya sama dengan temperatur reservoir dingin. Selama proses ini, kerja mekanik telah dilakukan. Campuran dari cairan dan uap jenuh mengalir telan pendingin dan uap yang tersisa menjadi cair dan panas dari proses pendinginan dialirkan ke reservoir dingin. Tekanan pada bagian sistem ini ditentukan oleh temperatur dari Sink. Dengan cara memompakan air dialirkan ke tangki pemanas dan selanjutnya akan mengalami proses yang sama. Kita anggap mesin uap mengikuti suatu siklus carnot. Gambar 5 memperlihatkan siklus diagram dalam bentuk diagram P-V, T-S dan H-S, proses pada diagram P-V adalah sama dengan gambar 1.



Gambar (5) Siklus Carnot dari campuran cairan dan uap a) diagram P-V, b) diagram T-s, dan c) diagram H-S (Lee-sars, 1964).

Perbedaan bentukkurva adalah disebabkan jenis zat kerja yang berbeda. Tambahan lagi jika pada siklus Carnot yang terdahulu tidak ada perubahan fase. Ekspansi isothermal yang reversible terjadi dari selama proses dari titik a ke titik b. Sampai semua cairan yang jenuh menguap. Selama proses ini panas  $Q_2$  mengalir ke sistem. Kemudian sistem tersebut mengalami ekspansi adiabatik dan temperaturnya turun ke  $T_1$  pada titik C dimana sebagai Kondensasi, Penyusutan isothermal dari sistem atau silinder terjadi sampai kondisi dari sistem mencapai titik d. Kondensasi uap akan berlangsung turun dan panas  $Q_1$  ditolak kecervoir dingin. Proses yang terakhir adalah penyusutan adiabatik yang reversible yang membawa sistem ke keadaan semula.

"Tujuan dari suatu mesin panas adalah untuk memberikan kerja yang terus menerus ke luar dengan cara melalui siklus yang sama terus menerus" (Zemansky, 1981). Bagian yang gelap pada gambar 1 adalah untuk gas, dan gambar 5, adalah untuk campuran antara zat cair dan uap, menunjukkan kerja total atau output. Panas diserap oleh sistem dari reservoir yang bersuhu tinggi adalah input.

Persamaan matematika untuk menyatakan efisiensi ternal untuk seluruh mesin adalah :

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_1} \quad (1)$$

dimana, W adalah kerja total.

$Q_1$  adalah panas yang dikeluarkan ke reservoir yang dingin  
 $Q_2$  adalah panas yang diserap dari reservoir panas.  
 Tetapi untuk siklus carnot, tidak menjadi masalah apapun zat kerjanya  
 efisiensi termal dapat ditulis sebagai berikut:

$$\eta = \frac{T_2 - T_1}{T_2} \dots \dots \dots (2)$$

dimana,  $T_1$  adalah reservoir bertemperatur rendah.

$T_2$  adalah reservoir bertemperatur tinggi.

Hal ini adalah didasarkan pada pernyataan bahwa "Perbandingan dua temperatur termodinamik adalah sama dengan perbandingan kuantitas dari panas yang diserap dan panas yang dilepas ketika suatu sistem melalui siklus carnot diantara dua reservoir (Sear-Salinger, 1986).

Efisiensi termal dapat juga didefinisikan dalam bentuk entropis dan entalpi h. Daerah a b e f pada gambar 5 (b) memperlihatkan bahwa panas  $Q_2$  diserap selama ekspansi isothermal yang reversible pada temperatur  $T_2$ . Daerah d c e f menunjukkan panas yang dikeluarkan  $Q_1$  pada temperatur  $T_1$ . Jadi, berdasarkan hukum pertama termodinamik daerah a b c d adalah kerja total. Efisiensi termal dapat diperoleh dengan.

$$\eta = \frac{\text{luas a b c d}}{\text{luas a b c f}} = \frac{(T_2 - T_1) (S_2 - S_1)}{T_2 (S_2 - S_1)} = \frac{T_2 - T_1}{T_2} \dots \dots \dots (3)$$

yang akhirnya sama dengan persamaan (2)

Gambar 5 C "dikenal sebagai diagram Mollier", (Lee-Sear, 1964) Baris yang vertikal adalah menunjukkan adiabatik yang reversible dan garis miring yang naik kekanan adalah proses isothermal dan isobar. "Setiap proses isobar yang reversible adalah berarti peningkatan entalpi dari sistem" (Lee-Sears, 1964). Panas  $Q_2$  diproduksi selama proses ekspansi isothermal-isobar dan panas  $Q_1$  dikeluarkan selama penyusutan isothermal.



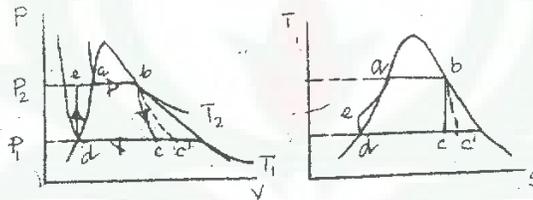
Jadi, efisiensi termal dapat didefinisikan sebagai :

$$n = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

$$n = \frac{(h_b - h_c) - (h_a - h_d)}{h_b - h_a} \dots (4)$$

Siklus Carnot diperkirakan sebagai siklus yang paling efisien. Selama proses ekspansi adiabatik yang reversibel, uap mengembang dengan cepat dan dengan sedikit gesekan. Akan tetapi, pendekatan yang dapat diterima pada penyusutan adiabatik yang reversibel dari zat yang dua pisa adalah suatu hal yang tidak mungkin (Lee-Sear, 1964).

Siklus yang ideal untuk mesin tenaga uap adalah siklus Rankine. Sistem ini terdiri dari dua sistem, yaitu yang "Bukan superheated" dan yang "Superheated". Gambar 6 diagram Rankine yang berikan superheated.



Gambar 6 : Siklus Rankine (a) diagram P-v  
(b) diagram T-s

Semua siklus pada diagram P-v, gb 6a adalah sama dengan siklus Carnot. Akan tetapi pada prakteknya temperature zat cair hanya sedikit meningkat selama proses penyusutan adiabatik untuk membawa sistem ke keadaan semula yaitu pada temperatur  $T_2$ , dibutuhkan sejumlah panas. Dengan kata lain panas dibutuhkan untuk membawa sistem dari titik e titik a.

Pemanasan ini terjadi setelah zat cair dipompakan ke pemanas (boiler) pada gambar 4. Temperatur rata-rata pada waktu panas diberikan adalah kurang dari  $T_2$ , jadi, efisiensi siklus Rankine ini lebih rendah dari siklus Carnot.

Temperatur efektif rata-rata pada waktu panas ditambahkan di definisikan sebagai  $T_{m2} = Q_2 / \Delta S_2$  dan pada waktu panas ditolak didefinisikan sebagai  $T_{m1} = Q_1 / \Delta S_1$ . Jadi efisiensi termal dapat juga diperoleh dari diagram T-S gambar 6(b). Persamaan, menunjukkan bahwa efisiensi dari setiap siklus dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$\eta_T = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_2} = \frac{T_{m2} \Delta S_2 - T_{m1} \Delta S_1}{T_{m2} \Delta S_2} \quad (5)$$

Karena De dan bc adalah proses isentropic,  $S_b - S_e = S_c - S_d$ , persamaan 5 menjadi

$$\eta_T = \frac{T_{m2} - T_{m1}}{T_{m2}}$$

Dibandingkan dengan siklus Carnot nilai temperatur yang bersesuaian adalah :

$$T_{m1} = T_1 \text{ dan } T_{m2} < T_2$$

Jadi efisiensi Rankine selalu lebih rendah dari efisiensi Carnot.

Untuk menaikkan efisiensi siklus Rankine adalah dengan pemanasan ekstra, Pemanasan ekstra berlangsung sebelum uap jenuh memasuki silinder pada gambar (4).

Pemanasan ini menaikkan temperatur dari siklus tanpa kenaikan tekanan yang bersesuaian. Rata-rata dari temperatur pada waktu panas ditambah akan meningkat menyebabkan peningkatan efisiensi termal.

Pada gambar (7) panas  $Q_2$  diserap sepanjang lintasan a b c d secara isobarik. Panas  $Q_2$  diserap sepanjang lintasan ad dan panas  $Q_1$  dilepas sepanjang lintasan ef. Efisiensi adalah :

$$\eta_T = \frac{(h_d - h_a) - (h_e - h_f)}{(h_d - h_a)} = \frac{(h_d - h_e) - (h_a - h_f)}{(h_d - h_a)} \quad (7)$$

#### D Kesimpulan

Siklus carnot yang menggunakan uap sebagai medium kerja memberikan efisiensi yang tinggi akan tetapi karena alasan teknik, siklus ini tidak dapat diterapkan dalam praktek.

Siklus yang dapat diterapkan dalam mesin uap praktek adalah siklus Rankine. Efisiensi siklus ini lebih rendah dibanding siklus carnot. Akan tetapi dalam praktek siklus Rankine dengan pemanasan ekstra dapat meningkatkan efisiensi pada mesin uap sekaligus secara teknis dapat dipraktekkan..

oooooooooooooooooooo

#### DAFTAR PUSTAKA

Lee John F, *Thermodynamics : An introduction to thermodynamics Enginerig Students*, second edition-Wesley, London, 1964.

Sear and Sahinger, *Thermodynamics Kinetik Theory, and Atistical Thermodynamics*, Third Edition, Addition-Wesley, New York, 1989.

Spackling Michael, *Thermal Physies*, First Edition, Macmillan Education LTD, London , 1991.

Wyle Van, *Fundamental of Classical Thermodynamics*, First Edition, John Walay & Son, Inc, New York, 1973.

Zemansky Mark W., *Heat and Thermodynamics*, Firth Edition, Mc Graw Hill, Inc., New York, 1957.

oooooooooooooooooooo