


SIKLUS OTTO AKTUAL UDARA-BAHAN BAKAR

MEDAN,
22 APRIL 2020

Siklus aktual motor pembakaran dalam sebenarnya bukan merupakan siklus termodinamik. Siklus termodinamik baku udara ideal terjadi pada sistem tertutup dengan komposisi campuran konstan. Secara aktual hal ini tidak terjadi pada motor pembakaran dalam. Analisis baku udara hanya memberikan estimasi yang paling baik untuk kondisi-kondisi aktual. Perbedaan yang utama di antaranya adalah:

- 
1. Senyatanya motor beroperasi dengan siklus terbuka di mana komposisi gas berubah dan seringkali disertai perubahan laju aliran massa. Massa gas yang meninggalkan motor di dalam buangan lebih besar dari massa gas yang masuk dalam proses hisap.
 2. Analisis udara baku menganggap fluida yang masuk ke motor adalah udara yang dianggap sebagai gas ideal. Pada motor real mungkin keseluruhannya berupa udara (motor diesel), atau mungkin udara bercampur dengan sekitar 7% bahan bakar (motor bensin), baik berupa gas maupun sebagai *droplets* cairan, atau kedua-duanya. Selama pembakaran terjadi perubahan komposisi campuran gas. Pada motor diesel juga terdapat partikel karbon padat di dalam produk pembakaran campuran gas. Dengan menganggap

Pada tekanan hisap dan buang yang rendah, udara memang dapat diperlakukan sebagai gas ideal. Namun demikian pada tekanan yang lebih tinggi selama pembakaran, udara akan menyimpang dari perilaku gas ideal. Kesalahan yang lebih serius ditimbulkan oleh adanya asumsi panas spesifik konstan untuk analisis tersebut. Keenan, 1992, menyatakan bahwa panas jenis gas sangat tergantung pada temperatur dan dapat berubah sebanyak 30% dalam suatu kisaran temperatur motor (untuk udara, $c_p = 1.004 \frac{kJ}{kg-K}$ pada 300 K dan $c_p = 1.292 \frac{kJ}{kg-K}$ pada 3000 K.

3. Pada analisis udara baku, kerugian kalor yang terjadi sepanjang siklus motor real dia-baikan. Rugi kalor selama pembakaran menurunkan temperatur dan tekanan puncak aktual dari yang diprediksi. Langkah daya aktual oleh karena itu diawali dengan tekanan yang lebih rendah, dan kerja keluaran selama ekspansi berkurang. Perpindahan kalor ini berlanjut selama ekspansi dan akan menurunkan temperatur dan tekanan pada proses isentropik ideal di akhir langkah daya. Akibat perpindahan kalor ini, efisiensi termal indikasi lebih rendah dibanding yang diprediksi dengan analisis udara baku.

4. Proses pembakaran dimulai sebelum TMA dan berakhir setelah TMA, bukan pada volume tetap seperti pada analisis udara baku. Proses terjadinya pembakaran memerlukan waktu yang singkat tetapi terbatas, dan panas tidak dengan seketika ditambahkan pada TMA sebagaimana pendekatan melalui siklus Otto. Dengan awal pembakaran dimulai sebelum TMA, tekanan silinder pada akhirnya meningkat pada saat langkah kompresi dan menuntut kerja negatif yang lebih besar pada langkah tersebut. Karena pembakaran tidak disempurnakan sampai setelah TMA, beberapa daya akan hilang pada awal langkah ekspansi atau langkah daya.

5. Proses *blowdown* memerlukan waktu riil dan waktu siklus yang terbatas, dan tidak terjadi pada volume konstan seperti pada analisis udara baku. Karena alasan ini, katup buang harus membuka 40° sampai 60° sebelum TMB, dan beberapa keluaran kerja pada akhir langkah ekspansi yang berikutnya akan hilang.

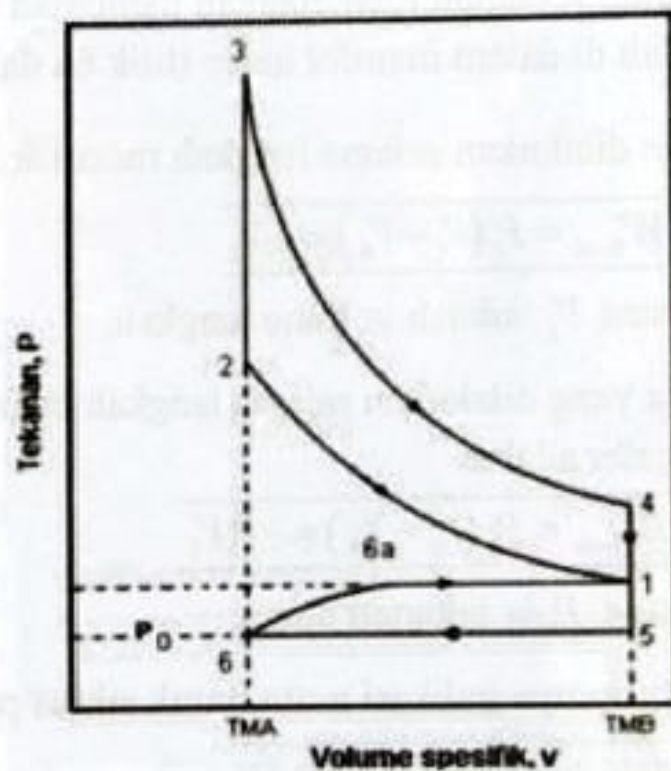
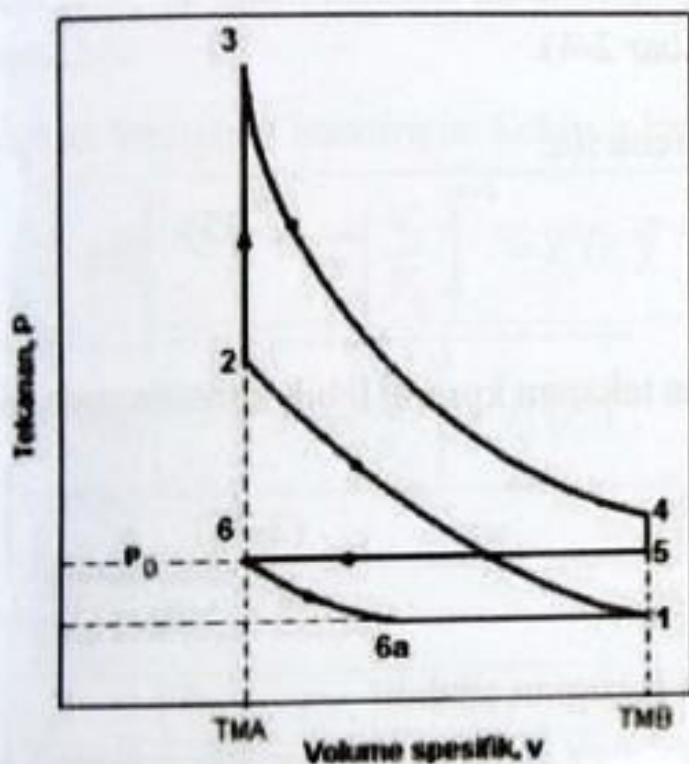
6. Pada motor aktual, katup hisap tidak tertutup sampai setelah TMB pada akhir langkah hisap. Oleh karena terbatasnya aliran pada katup, udara masih memasuki silinder pada TMB, dan efisiensi volumetrik akan lebih rendah jika katup tertutup di sini. Oleh karena itu, bagaimanapun, kompresi aktual tidak dimulai pada TMB tetapi hanya setelah katup hisap menutup. Dengan pengapian kemudian terjadi sebelum TMA, kenaikan temperatur dan tekanan sebelum pembakaran kurang dari yang diprediksi melalui analisis udara baku.

7. Katup-katup motor memerlukan waktu terbatas untuk bergerak. Idealnya, katup terbuka dan tertutup dengan segera. Namun demikian hal ini tidak mungkin dilakukan jika menggunakan poros bubungan (*camshaft*). Profil bubungan harus mempertimbangkan interaksi yang lembut dengan pengikut bubungan (*cam follower*). Untuk meyakinkan bahwa katup hisap terbuka penuh pada awal langkah hisap maka katup harus mulai terbuka sebelum TMA. Demikian juga katup buang harus masih terbuka penuh sampai akhir langkah buang, dengan penutupan terakhir terjadi setelah TMA. Akibat adanya

periode tumpang-tindih (*overlap*) katup menyebabkan adanya penyimpangan dari siklus yang ideal. Jika penggunaan poros bubungan digantikan aktuator katup elektronik, waktu yang dibutuhkan untuk membuka atau menutup setiap katup akan menjadi sangat berkurang.

2.2.3 SIKLUS OTTO DENGAN BUKAAN TROTEL SEBAGIAN

Saat motor bensin empat langkah beroperasi pada bukaan trotel sebagian, masukan udara bahan bakar dikurangi oleh katup trotel yang tertutup sebagian pada sistem hisap. Kondisi ini menciptakan hambatan aliran dengan konsekuensi menurunkan tekanan udara yang masuk berikutnya. Pasokan bahan bakar kemudian juga berkurang untuk disesuaikan dengan berkurangnya pasokan udara. Terjadi penurunan tekanan di dalam manifold hisap sepanjang langkah hisap dan menghasilkan tekanan yang lebih rendah di dalam silinder pada awal langkah kompresi serta kerja indikasi netto untuk motor siklus otto menjadi lebih kecil pada trotel sebagian dibanding pada WOT, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2-3.



Jika motor dengan induksi alami beroperasi pada WOT, diasumsikan bahwa tekanan udara di dalam manifold hisap, $P_0 =$ satu atmosfer. Pada trotel sebagian, katup kupu-kupu yang tertutup sebagian menciptakan hambatan aliran, menghasilkan tekanan hisap P_i yang lebih rendah di dalam manifold hisap (titik 6a dalam Gambar 2-4).

Kerja dilakukan selama langkah masukan. Oleh karena itu:

$$\underline{W_{6 \rightarrow 1} = P_i (V_1 - V_6) = P_i V_L} \quad (2-35)$$

di mana V_L adalah volume langkah.

Kerja yang dilakukan selama langkah buang di mana tekanan kurang lebih konstan pada satu atmosfer adalah

$$\underline{W_{5 \rightarrow 6} = P_b (V_6 - V_5) = -P_b V_L} \quad (2-36)$$

di mana $P_b =$ tekanan buang.

Kerja pompa indikasi netto untuk siklus pada trotel sebagian adalah

$$\underline{(W_{pompa})_{neto} = (P_i - P_b) V_L} \quad (2-37)$$

Nilai negatif dari kerja pompa ini berarti turunnya kerja indikasi netto siklus tersebut.

Jika motor dilengkapi dengan supercarjer atau turbocarjer, tekanan hisap lebih besar dari satu atmosfer, sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 2-4. Kerja pompa indikasi netto untuk siklus ini masih menggunakan persamaan (2-37), tetapi sekarang $P_i > P_b$, kerja pompa adalah positif, dan kerja indikasi netto meningkat.