

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Sururi dan Waluyo (2010) melakukan pengujian penggunaan bahan bakar *Premium* dan *Pertamax* terhadap Unjuk Kerja Mesin pada Sepeda Motor Suzuki Thunder tipe EN-125 cc (4 langkah) dengan perbandingan kompresi 9,2 : 1. Hasil analitis pengujian diperoleh torsi yang dihasilkan oleh bahan bakar *Premium* 10,21 kgf.m pada 6000 rpm lebih tinggi dibandingkan dengan *Pertamax* 9,92 Kgf.m pada 6000 rpm. Daya yang di hasilkan bahan bakar *Premium* dan *Pertamax* sama 10,85 hp pada 10000 rpm hal ini menunjukkan tidak ada peningkatan daya yang signifikan dari penggunaan variasi nilai oktan. Pada putaran mesin 4000 sampai dengan 8000 rpm, konsumsi bahan bakar spesifik (sfc) *Premium* lebih rendah/irit dari *Pertamax*. Meskipun pada mesin putaran 9000 rpm ke atas (sfc) *Premium* mengalami peningkatan dan lebih tinggi dari *Pertamax*. akan tetapi secara garis besar konsumsi bahan bakar spesifik (sfc) *Premium* lebih rendah/irit dari *Pertamax*. *Premium* 0,1349 kg HP⁻¹jam⁻¹ dan *Pertamax* 0,261 kg HP⁻¹jam⁻¹ pada 10000 rpm.

Sarjono dan Sugiyarta (2012) melakukan Studi Eksperimental Nilai Oktan Bahan Bakar *Pertamax Plus* dan *Shell Super Extra R95* terhadap Emisi Gas Buang CO dan HC menggunakan mesin Ninja 250cc. hasil pengujian di dapat bahan bakar *Shell Super Extra R95* menghasilkan daya yang maksimal 24,4 hp dibandingkan dengan daya yang dihasilkan *Pertamax Plus* 21,6 hp pada 8770 rpm, pada bahan bakar *Shell Super Extra R95* menghasilkan Torsi terbesar 20,37 kg.m dibandingkan *Pertamax plus* 14,36 kg.m pada putaran 8189 rpm, Untuk Konsumsi bahan bakar (sfc) penggunaan bahan bakar *Shell Super Extra R95* adalah paling irit (efisien) 0,053 kg HP⁻¹jam⁻¹ jika di bandingkan dengan penggunaan *Pertamax Plus* 0,087 kg HP⁻¹jam⁻¹ Putaran 8000 rpm, kandungan emisi gas buang bahan bakar *Shell Super Extra R95* masih terlalu tinggi untuk nilai gas CO 1,92%, HC sebesar 1807 ppm sedangkan *Pertamax plus* HC 1115 ppm dan 2,68% CO.

Saidur, et al.(2012) merangkum berbagai jenis motor bakar 6 langkah yang memanfaatkan kembali energi termal dari gas buang. Hasil dari pemanfaatan energi termal gas buang ini dapat meningkatkan unjuk kerja motor bakar 6 langkah dibanding motor bakar 4 langkah konvensional. Dari hasil tersebut memberikan inspirasi bagi para desainer motor bakar termasuk Eko Siswanto et al. (2014), yang menggunakan metode berbeda dengan penambahan durasi difusi massa campuran udara-bahan bakar dan termal.

2.2 Motor Bakar Torak

Motor bakar adalah jenis mesin kalor yang termasuk Mesin Pembakaran Dalam (*Internal Combustion Engine*). *Internal Combustion Engine (I.C. Engine)* adalah mesin kalor yang mengubah energi kimia bahan bakar menjadi kerja mekanis dalam bentuk putaran poros. Energi kimia bahan bakar pertama diubah menjadi energi panas melalui proses pembakaran atau oksidasi dengan udara dalam mesin. Sehingga Energi panas ini meningkatkan temperatur dan tekanan gas pada ruang bakar. Gas bertekanan tinggi kemudian berekspansi melawan mekanisme mekanik mesin. Ekspansi ini diubah oleh mekanisme *link* menjadi putaran *crankshaft*, yang merupakan output dari mesin tersebut. *Crankshaft* selanjutnya dihubungkan ke sistem transmisi oleh sebuah poros untuk mentransmisikan daya atau energi putaran mekanis yang selanjutnya energi ini dimanfaatkan sesuai dengan keperluan.

Berdasarkan jenis penyalan yang digunakan, mesin pembakaran dalam dibagi menjadi 2 yaitu mesin pembakaran dalam penyalan busi (*Spark Ignition Internal Combustion Engine*) contoh motor bakar jenis ini adalah motor bensin (Otto) dan mesin pembakaran dalam penyalan tekan (*Compression Ignition Internal Combustion Engine*) dengan contoh motor diesel. Pada motor diesel udara di hisap oleh torak dan di masukkan ke dalam ruang bakar selanjutnya udara tersebut dikompresikan sampai mencapai suhu dan tekanan yang tinggi. Beberapa saat sebelum torak mencapai titik mati atas (TMA) bahan bakar solar di injeksikan kedalam ruang bakar. Dengan suhu dan tekanan udara dalam silinder yang cukup tinggi maka partikel – partikel bahan bakar akan menyala dengan sendirinya sehingga membentuk proses pembakaran. Sedangkan berdasarkan langkah kerja motor bakar dibedakan menjadi 2 yaitu motor bakar dua langkah (*two stroke engine*) dan motor bakar empat langkah (*four stroke engine*).

2.3 Motor Bensin

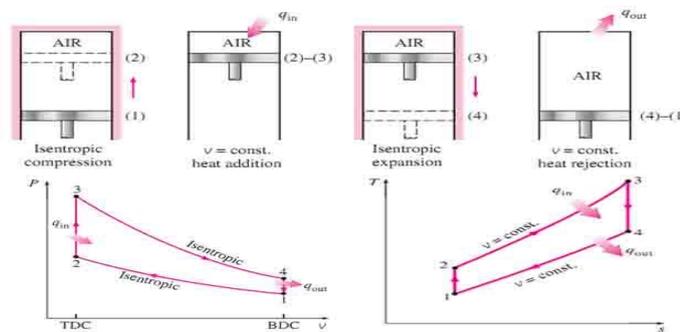
Motor bensin merupakan perkembangan dan perbaikan mesin yang sejak semula lebih dikenal sebagai motor Otto. Motor ini dilengkapi dengan busi dan karburator. Busi menghasilkan loncatan api listrik yang berfungsi menyalakan campuran udara-bahan bakar. Sedangkan Karburator merupakan tempat percampuran bahan bakar dengan udara. Percampuran terjadi karena bahan bakar terisap masuk atau di semprotkan ke dalam arus udara yang masuk ke dalam karburator, campuran udara-bahan bakar kemudian masuk ke dalam silinder yang dinyalakan oleh loncatan api listrik dari busi menjelang akhir langkah kompresi.

2.3.1 Siklus 4 Langkah

2.3.1.1 Siklus Ideal Otto (siklus volume konstan)

Di dalam motor bakar torak terjadi proses termodinamika dan kimia amat kompleks untuk dianalisis menurut teori. Untuk memudahkan menganalisis kita perlu membayangkan suatu keadaan yang ideal. Pada mesin yang ideal proses pembakaran yang dapat menghasilkan gas bertekanan dan bertemperatur tinggi dimisalkan sebagai proses dari pemasukan panas kedalam fluida kerja di dalam silinder.

Secara teori siklus ideal akan mencakup empat proses yaitu kompresi, ekspansi, pemanasan dan pendinginan. Siklus ini dapat digambarkan dengan diagram (P-v) dan (T-s) pada Gambar 1.1 berikut:



Gambar 2.1 Diagram hubungan (P-v) dan (T-s)
Sumber : Cengel dan Boles (1994: 489)

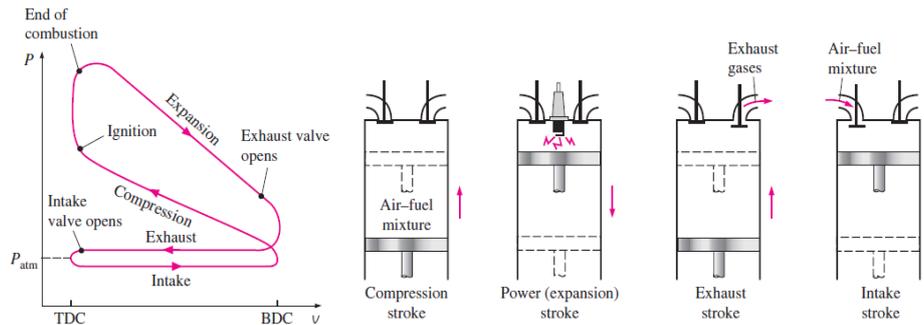
Proses siklusnya sebagai berikut:

- Proses 0 – 1 : Langkah hisap secara *isobaric*, katup masuk terbuka dan katup buang tertutup kemudian campuran bahan bakar mengalir ke dalam silinder melalui lubang katup masuk ($P=\text{konstan}$).
- Proses 1 – 2 : Langkah kompresi *Isentropic*, Semua katup tertutup campuran udara-bahan bakar didalam silinder ditekan dan dimampatkan oleh torak ke TMA. Sehingga tekanan dan suhu didalam silinder naik P_2 dan T_2 . ($s=\text{konstan}$).
- Proses 2 – 3 : Proses pemanasan dan pembakaran secara *isokhorik* ($v=\text{konstan}$).
- Proses 3 – 4 : Langkah Ekspansi *Isentropic* ($s=\text{konstan}$).
- Proses 4 – 1 : Proses pendinginan/pembuangan kalor secara isokhorik ($v=\text{konstan}$).
- Proses 1 – 0 : Langkah buang gas sisa hasil pembakaran ($P=\text{konstan}$).

2.3.1.2 Siklus Aktual

Baik pada siklus udara volume konstan (Otto), siklus tekanan konstan dan siklus gabungan dalam kenyataannya tidak dapat bekerja dalam kondisi yang ideal. Penyimpangan dari siklus ideal tersebut karena dalam keadaan sebenarnya terjadi kerugian antara lain disebabkan oleh beberapa hal berikut: (Arismunandar 2002, 29)

1. Kebocoran fluida kerja disebabkan penyekatan oleh cincin torak dan katup tidak tidak sempurna.
2. Katup tidak dibuka dan ditutup tepat di TMA dan TMB karena pertimbangan dinamika mekanisme katup dan kelembaman fluida kerja.
3. Fluida kerja bukanlah udara yang bisa di anggap sebagai gas ideal dengan kalor spesifik konstan selama proses siklus tersebut berlangsung.
4. Pada motor bakar torak yang sebenarnya, saat torak berada di TMA tidak terdapat proses pemasukan kalor seperti pada siklus udara, kenaikan temperatur dan tekanan fluida kerja disebabkan proses pembakaran antara udara-bahan bakar di dalam silinder.
5. Proses pembakaran sendiri memerlukan waktu tidak berlangsung sekaligus. Akibatnya, proses pembakaran berlangsung pada volume ruang bakar yang berubah – ubah karena gerak torak. Proses pembakaran harus sudah dimulai beberapa derajat sudut engkol sebelum torak mencapai TMA dan berakhir beberapa derajat sudut engkol sesudah torak bergerak kembali dari TMA menuju TMB. Jadi proses pembakaran tidak dapat berlangsung pada volume atau tekanan konstan.
6. Adanya kerugian kalor disebabkan perpindahan kalor dari fluida kerja ke fluida pendingin, terutama pada langkah kompresi, ekspansi, dan pada waktu gas buang meninggalkan silinder.
7. Adanya kerugian energi kalor yang dibawa oleh gas buang dari dalam silinder ke atmosfer. Energi ini tidak dapat dimanfaatkan untuk melakukan kerja mekanik.
8. Terdapat kerugian energi karena gesekan antar fluida kerja dengan dinding salurannya.



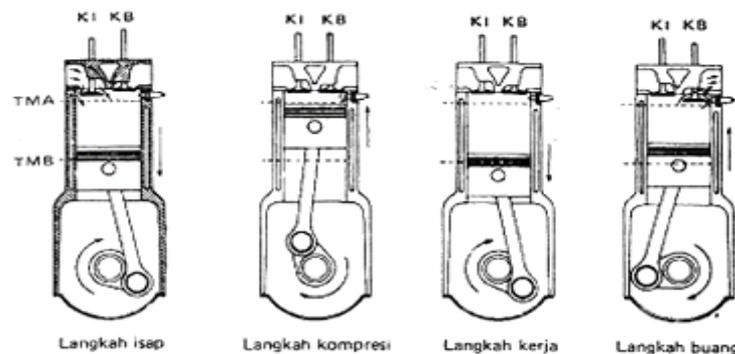
Gambar 2.2 Siklus Aktual Motor Otto 4 Langkah
Sumber : Cengel dan Boles (1994: 494)

Pada siklus aktual motor Otto, fluida kerjanya adalah campuran udara – bahan bakar. Saat langkah hisap tekanan lebih rendah dibanding langkah buang. Pada proses pembakaran dimulai dari penyalaan busi hingga akhir pembakaran. Sedangkan pada proses kompresi dan ekspansi tidak adiabatik karena terdapat kerugian panas keluar ruang bakar.

Berdasarkan hal di atas maka bentuk diagram (P-v) dari siklus yang sebenarnya tidak sama dengan bentuk diagram siklus ideal. Pada siklus sebenarnya tidak pernah terjadi proses dengan volume konstan atau tekanan konstan atau tekanan terbatas karena dari semua penyimpangan yang telah dijabarkan di atas menimbulkan kerugian energi hendaknya diusahakan agar siklus yang sebenarnya itu dapat mendekati siklus yang ideal.

2.3.2 Motor Otto 4 Langkah

Pada motor Otto 4 langkah, poros engkol berputar sebanyak dua putaran penuh dalam satu siklus dan telah menghasilkan satu tenaga. Agar lebih jelas prinsip kerja motor Otto 4 langkah dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut:



Gambar 2.3 Skema gerakan torak dan katup motor Otto 4 langkah
Sumber : Arismunandar (1988: 8)

Langkah – langkah yang terjadi didalam mesin Otto secara periodik sebagai berikut:

1. Langkah Isap

Torak didalam silinder bergerak dari TMA (Titik Mati Atas) menuju TMB (Titik Mati Bawah), katup isap (KI) terbuka sedangkan katup buang (KB) tertutup. Sehingga campuran udara – bahan bakar terisap masuk kedalam ruang bakar.

2. Langkah Kompresi

Saat mencapai TMB torak kembali bergerak menuju TMA, dalam keadaan katup hisap dan katup buang tertutup sehingga terjadi kompresi yang menimbulkan temperatur dan tekanan di dalam silinder menjadi naik. Pada motor bensin busi dinyalakan sebelum torak berada di posisi TMA sehingga terjadi proses pembakaran.

3. Langkah Ekspansi

Akibat pembakaran temperatur dan tekanan gas di dalam silinder semakin tinggi, sehingga akan mendorong torak untuk melakukan langkah ekspansi dari TMA ke TMB. Pada langkah tersebut katup isap (KI) dan katup buang (KB) masih dalam keadaan tertutup.

4. Langkah Buang

Akhir langkah ekspansi di TMB selanjutnya torak akan bergerak kembali ke TMA. Pada langkah ini katup buang sudah terbuka dan katup masuk menutup sehingga gerakan ini mendorong gas hasil pembakaran keluar dari dalam silinder ke saluran gas buang dan terbang ke atmosfer.

2.3.3 Motor Bakar 6 Langkah

Motor bakar 6 langkah merupakan jenis motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*) yang mengacu pada konsep dasar motor 4 langkah. Akan tetapi ada penambahan 2 langkah kerja bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan menurunkan kadar emisi. Penambahan 2 langkah kerja untuk motor 6 langkah ini telah di kembangkan sejak tahun 1890.

Terdapat beberapa literatur dan prototipe tentang motor bakar 6 langkah di internet, namun masih sangat sedikit tulisan atau artikel yang mempublikasikan tentang unjuk kerja motor bakar 6 langkah ini. Pada Wikipedia (2015) merangkum bebeapa versi motor bakar 6 langkah yang telah dipublikasikan diantaranya Bajulaz (Bajulaz 1989), Velozeta (Krishnaraj, et al. 2012), Niykado (Anil 2012) dan Leonard dyer (Dyer 1920). Dalam sebuah konsep motor bakar 6 langkah dari Bruce Crower (2005), secara prinsip *engine* tersebut sama seperti *engine* 4 langkah pembakaran dalam berbahan bakar bensin ataupun solar. Bruce Crower menambahkan 2 langkah baru dalam satu siklus setelah 4 langkah siklus konvensional itu untuk mengelola tenaga yang dihasilkan dari uap (*steam*) ketika langkah

ke 4 dari engine, air disemprotkan ke dalam silinder ruang bakar. Panas dari ruang bakar yang mencapai 1500°F kemudian mengubah air menjadi uap (*steam*) sehingga menghasilkan tenaga baru untuk menggerakkan piston. Panas dari pembakaran 4 langkah yang biasanya langsung di buang, disini di gunakan untuk membentuk *steam*. Kemudian langkah ke 6 berfungsi untuk mengeluarkan uap (*steam*) tersebut menuju condenser untuk di *re-cycle* sebagai *injection water*. Menurut Crower (2005), *engine* ini mampu memproduksi 40% tenaga lebih besar dari *engine* biasa serta kadar emisi gas buang yang lebih rendah dari motor bakar 4 langkah. Untuk konsep motor 6 langkah Bajulaz (1989) dan Velozeta (Krishnaraj, et al. 2012) tidak jauh berbeda dengan konsep dari Bruce Crower (2005), memakai 2 langkah kerja untuk menjalankan satu siklus dimana dua langkah kerja yang berbeda berlangsung secara berurutan dan perlu sinkronisasi dari 2 langkah tersebut.

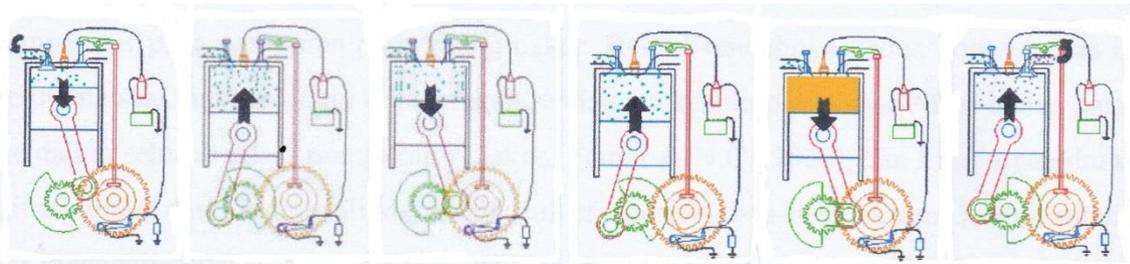
Konsep Motor bakar 6 langkah Niykado dan Bazmi masing – masing hanya menggunakan 1 langkah kerja untuk satu siklus. Motor bakar 6 langkah Bazmi melakukan penambahan 2 langkah istirahat. Pada saat langkah istirahat terdapat satu katup tetap dalam posisi terbuka ketika piston melakukan gerakan translasi. Satu katup yang tetap terbuka tersebut bertujuan untuk menghasilkan pembuangan gas yang lebih baik. Hampir serupa dengan Bazmi, Motor bakar Niykado juga mengaplikasikan 2 langkah penyempurnaan pembuangan gas buang. Dimana katup pada mesin versi Niykado bisa dikondisikan untuk melakukan siklus baik 6 langkah ataupun 4 langkah konvensional.

2.3.3.1 Motor Bakar 6 Langkah berbasis penambahan waktu Difusi massa dan Termal campuran.

Penelitian ini menjelaskan konsep baru yang tidak hanya menggunakan 1 langkah kerja pada satu siklus, tidak perlu mensinkronisasikan langkah kerja dan mengganti 2 langkah untuk penyempurnaan pembuangan (setelah langkah buang) menjadi 2 langkah difusi (menjelang proses pembakaran, atau langkah kerja). Pada penelitian siklus 6 langkah motor bakar ini terdiri dari penambahan dua langkah kerja terhadap siklus Otto 4 langkah yang bertujuan untuk menambah waktu difusi bahan bakar terhadap udara masuk. Dari penambahan waktu difusi tersebut, mesin memiliki dua tahap dari langkah kompresi pada satu siklus yang memungkinkan untuk peningkatan homogenitas maupun temperatur dari campuran udara – bahan bakar sebelum terbakar agar mendapatkan daya ekspansi yang lebih baik.

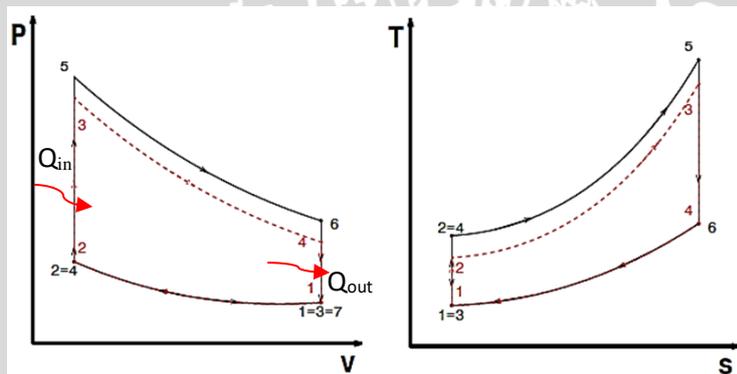
Secara siklus proses pembakaran yang terjadi didalam motor bakar 6 langkah ini menjadi :

1. Langkah Hisap
2. Langkah Kompresi Difusi I
3. Langkah Ekspansi Difusi
4. Langkah Kompresi Difusi II
5. Langkah Ekspansi
6. Langkah Buang



Gambar 2.4 Skema siklus motor bakar 6 langkah berbasis difusi massa dan termal campuran

Siklus motor bakar 6 langkah dapat ditunjukkan dalam diagram (P-v) dan diagram (T-s) pada Gambar 2.5 berikut:



Gambar 2.5 Diagram P-v dan T-s motor bakar 6 Langkah

Langkah kerja siklus motor bakar 6 langkah terdiri dari:

- Proses 0 – 1 : Langkah isap/pengisian
- Proses 1 – 2 : Langkah Kompresi Difusi I
- Proses 2 – 3 : Langkah Ekspansi Difusi
- Proses 3 – 4 : Langkah Kompresi Difusi II
- Proses 4 – 5 : Proses pemasukan kalor
- Proses 5 – 6 : Langkah Ekspansi – tenaga (power)
- Proses 6 – 1 : Langkah buang/pengeluaran gas sisa hasil pembakaran

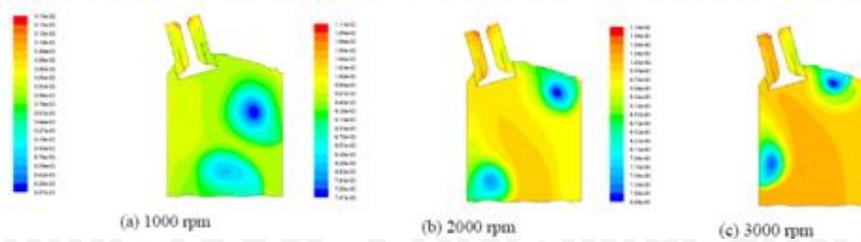
Secara teoritis dengan adanya penambahan dua langkah difusi tersebut, dapat disimpulkan bahwa kualitas dari kerja ekspansi yang terjadi akan memiliki nilai lebih tinggi

dari motor bakar empat langkah konvensional biasa. Akibat adanya peningkatan *power* per siklus, selain motor dapat menurunkan rasio konsumsi bahan bakar terhadap putaran, diharapkan juga dapat meningkatkan rasio energi ekspansi terhadap *losses* massa bahan bakar yang tidak terbakar, namun juga tidak mengorbankan rasio energi ekspansi terhadap rugi energi gesekan.

Difusi secara sederhana merupakan perpindahan massa karena adanya perbedaan konsentrasi, dimana perpindahan terjadi dari konsentrasi tinggi menuju konsentrasi yang lebih rendah. Sebagai tambahan karena kalor dinding silinder, kepala silinder dan piston berdifusi kedalam campuran lebih lama, motor bakar 6 langkah ini diharapkan dapat menurunkan temperatur pada dinding silinder, kepala silinder dan piston, yang secara tidak langsung dapat menyederhanakan sistem pendinginan. Skema motor bakar enam langkah inipun di dukung beberapa literatur. Seperti rendahnya tingkat homogenitas campuran udara – bahan bakar maupun homogenitas dari temperatur pada campuran di ruang bakar. Liakos (2000), Rendahnya kedua homogenitas ini saat putaran tinggi dikarenakan rendahnya kecukupan waktu difusi bahan bakar kedalam seluruh udara pembakar dan kecukupan durasi difusi termal dari dinding silinder ke seluruh campuran bahan bakar – udara.

Karena kedua kondisi tersebut, mengakibatkan adanya lokal – lokal area pembakaran yang tidak sempurna didalam ruang bakar. Khovakh (1979), telah menerangkan tentang ketidak cukupan durasi tersebut, bahwa untuk 3000 putaran (rpm) motor tersedia waktu untuk pencampuran hanya sekitar $\pm 0,02$ detik, menyebabkan kualitas campuran yang baik sulit untuk diperoleh.

M.M. Rahman, et al. (2009), menjelaskan adanya lokal – lokal area (*island on mixture*) dari campuran bahan bakar – udara pada silinder melalui simulasi pembakaran berbasis CFD dengan bahan bakar hidrogen. Dengan sifat yang dimiliki oleh hidrogen yaitu zat yang sangat ringan dan mudah beraksi dengan zat lain, ternyata masih terdapat lokal *island* area dalam campuran bahan bakar – udara menggunakan simulasi CFD ini pada beragam putaran mesin. Hal tersebut membenarkan kurang baiknya kualitas serta homogenitas dalam campuran bahan bakar – udara pada proses pembakaran motor bakar agar terjadinya pembakaran sempurna.



Gambar 2.6 Fraksi massa hidrogen untuk kecepatan mesin yang berbeda – beda

Sumber : Rahman, et al. (2009: 5)

Literatur lain milik Noguchi, et al. (1979), mengenai *Homogeneous Charge Compression Ignition* (HCCI) pada awalnya diaplikasikan pada motor dua langkah dengan peningkatan pada konsumsi bahan bakar dan kestabilan pembakaran. Saat HCCI diaplikasikan pada motor bakar empat langkah, efisiensi dari bahan bakar akan meningkat 50% dibanding dengan motor bakar bensin konvensional. Hal tersebut merupakan impian dari setiap desainer mesin untuk mendapatkan kombinasi efisiensi baik seperti mesin diesel dan emisis gas buang sebaik motor Otto. Dan dengan konsep motor bakar enam langkah berbasis difusi termal dan massa ini, hal tersebut kian dekat untuk diwujudkan. Keunggulan lainnya yang mungkin didapatkan dari motor ini, secara teoritis jika dibandingkan secara komparatif terhadap motor bakar dua langkah, empat langkah dan motor diesel, motor ini bekerja pada putaran tinggi sehingga *range* dari puncak torsi ke puncak daya akan tersebar rata secara luas direntang putaran motor tersebut.

Dari pengujian awal yang dilakukan oleh Eko Siswanto, et al. (2014) dan Gilang Rausan Fikri Noor(2015) pada motor bakar enam langkah ini, dapat di informasikan bahwa konsumsi bahan bakar dari motor bakar enam langkah ini sedikit lebih besar dari motor bakar empat langkah, namun memiliki nilai yang lebih tinggi pada torsi poros engkol serta daya. Sehingga dapat disimpulkan bahwa konsep motor bakar enam langkah ini memiliki potensi yang besar untuk terus dikembangkan sebagai alternatif baru teknologi motor bakar di masa depan.

2.4 Bahan Bakar

Secara teoritis Bahan bakar (*fuel*) didefinisikan sebagai senyawa kimia, terutama tersusun atas karbon (C) dan hidrogen (H), yang bila direaksikan dengan oksigen pada tekanan dan suhu tertentu akan menghasilkan produk berupa gas dan sejumlah energi panas. Bahan itu sendiri sangat diperlukan dalam proses pembakaran yang terjadi di ruang bakar.

2.4.1 Karakteristik Bahan Bakar

Bahan bakar yang digunakan motor bakar harus memenuhi kriteria sifat fisik dan sifat kimia, antara lain :

1. Nilai bahan bakar itu sendiri
2. Densitas energi yang tinggi
3. Tidak beracun
4. Stabilitas panas
5. Rendah polusi

Sedangkan sifat alamiah dari bahan bakar :

- a. *Volatility* (Penguapan) adalah kemampuan menguap dari bahan bakar pada temperatur tertentu dalam proses destilasi.
- b. Titik nyala adalah temperatur tertentu dimana bahan bakar dapat terbakar dengan sendirinya tanpa bantuan percikan api.
- c. Gravitasi spesifik, merupakan perbandingan berat jenis bahan bakar terhadap acuan tertentu (terhadap berat jenis udara ataupun air).
- d. Nilai bakar, merupakan jumlah energi yang terkandung dalam bahan bakar.

2.4.2 Nilai kalor Bahan Bakar

Reaksi kimia anantara bahan bakar dan oksigen dari udara menghasilkan panas. Besarnya panas yang ditimbulkan jika 1 kg bahan bakar dibakar sempurna disebut nilai kalor dari bahan bakar. Dalam perhitungan efisiensi panas dari motor bakar dapat menggunakan nilai kalor rendah (LHV) dengan asumsi pada suhu tinggi saat gas buang meninggalkan mesin tidak terjadi penguapan.

Tabel 2.1 Nilai kalor bahan bakar

NO.	Bahan Bakar	Nilai Kalor (Kkal/kg)
1	Premium (RON88)	11185
2	Pertamax (RON92)	11722
3	Pertamax Plus (RON95)	12067
4	Pertalite (RON90)	11811,95

Sumber : Laboratorium Kimia Univeritas Negeri Malang

2.4.3 Angka Oktan (Octan Number)

Angka oktan bahan bakar merupakan bilangan yang menunjukkan berapa besar tekanan maksimum yang bisa diberikan di dalam mesin sebelum bensin terbakar secara spontan (atau ukuran kemampuan anti-knocking). Dimana di buat skala 0 – 100 dengan menetapkan harga nol (0) untuk *n* – heptana C_7H_{16} (bahan bakar yang mudah mengalami *knock*) dan harga 100 untuk iso-oktana 2,2,4 *trimethylpentane* (bahan bakar yang tahan terhadap *knock*).

Tabel 2.2 Nilai Oktan Gasoline Indonesia

NO.	Bahan Bakar	Nilai Oktan
1	Premium	88
2	Pertamax	92
3	Pertamax Plus	95
4	Pertalite	90

Sumber : Data Properties PT. Pertamina

Kebutuhan angka oktan pada setiap mesin bervariasi dengan perbandingan kompresi, pertimbangan geometri dan mekanik. Menurut metode pengujiannya terdapat 2 jenis bilangan oktan, Bilangan oktan riset (RON) dan angka oktan motor (MON) yang masing masing termuat dalam British Standards 2637:1978 dan 2638:1978. Kedua standar tersebut mengacu pada The Annual Book of ASTM (*American Society for Testing Material*). Angka oktan bahan bakar di uji menggunakan mesin CFR (*Cooperative fuels Research Engine*). Mesin bersilinder satu dengan perbandingan kompresi yang dapat diubah – ubah dari sekitar 4:1 sampai 14:1. Bahan bakar di bakar di dalam mesin dengan menaikkan perlahan perbandingan kompresi sampai terjadi knock atau pembacaan *detonasi* yang diperoleh dari detektor getaran. Prosentase volume 2,2,4-*trimethylpentane* dan *n-heptane* dalam campuran bahan bakar dibakar pada perbandingan kompresi yang sama sampai di peroleh pembacaan *knock* yang mendekati sama. Nilai oktan pada bahan bakar *Gasoline* biasanya berkisar antara 85 sampai 95 Wardana (1995: 9).

Kelebihan bahan bakar dengan angka oktan tinggi mampu di gunakan pada perbandingan kompresi tinggi. Perbandingan kompresi yang lebih tinggi menaikkan luaran daya dan lebih ekonomis.

Tabel 2.3 Rangkuman kondisi uji RON dan MON

Kondisi uji	Research Octane Number	Motor Octane Number
Putaran mesin, rpm	600 ± 6	900 ± 9
Oli poros engkol, mutu SAE	30	30
Tekanan oli pada temperatur operasi, psi	25-30	25-30
Temperatur oli pada poros engkol	135 ± 15°F (57 ± 8,5°C)	135 ± 15°F (57 ± 8,5°C)
Konstan dalam rentang	212 ± 3°F (100 ± 1,5°C)	212 ± 3°F (100 ± 1,5°C)
Kelembaban udara masuk, grains H ₂ O per lb udara kering	25-50	25-50
Temperatur udara masuk	Lihat ASTM standard part 47	100 ± 5°F (38 ± 2,8°F)
Temperatur campuran lebih awal penyalaaan (derajat btdc)	13	14-26 (tergantung pada perbandingan kompresi)
Celah busi, inchi	0,020 ± 0,005	0,020 ± 0,005
Titik pisah, celah, inchi	0,02	0,02
Celah katup, inchi		
– Isap	0,008	0,008
– Buang	0,008	0,008
Perbandingan bahan bakar/udara	Disesuaikan untuk knock maksimum	

Sumber : Mesin Penggerak Utama (2013: 84)

Di Indonesia bensin dibedakan menjadi tiga macam berdasarkan bilangannya, yaitu:

2.4.3.1 Premium

Premium merupakan bahan bakar minyak jenis distilat berwarna kekuningan jernih.

Sifat – sifat utama premium adalah sebagai berikut:

1. Mudah menguap pada suhu ruangan
2. Tidak berwarna, jernih dan berbau khas (warna merah atau hijau pada bensin mengindikasikan adanya racun kimia)
3. Titik nyala rendah
4. Melarutkan minyak dan karet
5. Menghasilkan panas yang besar
6. Meninggalkan sedikit sisa karbon hasil pembakaran

2.4.3.2 Pertamax

Pertamax merupakan jenis bahan bakar motor *gasoline* tanpa timbal dengan kandungan aditif puradd AP 97 – 10. Dengan angka oktan 92, *pertamax* dianjurkan digunakan untuk kendaraan bahan bakar bensin yang mempunyai perbandingan kompresi tinggi (9,1 : 1 sampai 10,0 : 1). Pada bahan bakar *pertamax* ditambahkan aditif sehingga

mampu membersihkan mesin dari timbunan deposit pada *fuel injector* dan ruang pembakaran. Bahan bakar *pertamax* sudah tidak menggunakan campuran timbal sehingga dapat mengurangi racun gas buang kendaraan bermotor seperti nitrogen oksida karbon monoksida. Bensin *pertamax* berwarna kebiruan dan memiliki kandungan maksimum sulfur (S) 0,1%, timbal (Pb) 0,013% (jenis tanpa timbal) dan Pb 0,3% (jenis dengan timbal), oksigen (O) 2,72%, pewarna 0,13 gr/100 l, titik didih 205 °C, serta massa jenis (suhu 15°C).

2.4.3.3 *Pertamax plus*

Pertamax Plus merupakan bahan bakar yang sudah memenuhi standar performa *International World Wide Fuel Charter (IWWFC)* dengan angka oktan 95. *Pertamax Plus* adalah bahan bakar untuk kendaraan yang memiliki rasio kompresi minimal 10,5, serta menggunakan teknologi *Electronic Fuel Injection (EFI)*, *Variable Valve Timing Intelligent (VVTI)*, *(VTI)*, *Turbochargers*, dan *catalytic converters*.

2.4.3.4 *Pertalite*

Pertalite adalah bahan bakar minyak terbaru dari Pertamina dengan RON 90. *Pertalite* dihasilkan dengan penambahan zat aditif dalam proses pengolahannya di kilang minyak. Untuk membuat *Pertalite* komposisi bahannya adalah nafta yang memiliki RON 65-70, agar RON-nya menjadi RON 90 maka dicampurkan HOMC (High Octane Mogas Component), HOMC bisa juga disebut *Pertamax*, percampuran HOMC yang memiliki RON 92-95, selain itu juga ditambahkan zat aditif EcoSAVE. Zat aditif EcoSAVE ini bukan untuk meningkatkan RON tetapi agar mesin menjadi bertambah halus, bersih dan irit.

1. **Nafta** Nafta adalah material yang memiliki titik didih antara gasolin dan kerosin yang digunakan untuk :
 1. Pelarut dry cleaning (pencuci)
 2. Pelarut karet
 3. Bahan awal etilen
 4. Bahan bakar jet dikenal sebagai JP-4
2. **HOMC** yaitu merupakan produk naphtha (komponen minyak bumi) yang memiliki struktur kimia bercabang dan ring (lingkar) berangka oktan tinggi (daya bakar lebih sempurna dan instant cepat), Oktan diatas 92, bahkan ada yang 95, sampai 98 lebih. Kebanyakan merupakan hasil olah lanjut Naphtha jadi ber-angka oktane tinggi atau hasil perengkahan minyak berat menjadi HOMC. Terbentuknya oktane number

tinggi adalah hasil perengkahan katalitik ataupun sintesis *catalytic* di reaktor kimia Unit kilang RCC/FCC/RFCC atau Plat Forming atau proses polimerisasi katalitik lainnya.

2.4.4 Volatilitas bahan bakar

Volatilitas merupakan presentase volume yang dapat didistilasi pada atau dibawah temperature yang tetap, jika bensin terlalu volatil dan digunakan pada temperatur lingkungan yang tinggi, maka bensin akan menguap didalam pipa bahan bakar dan membentuk sumbat-uap. Jika bahan bakar tidak cukup volatil maka bensin akan sulit di starter terutama pada temperatur lingkungan yang rendah. Sifat volatilitas (kemampuan menguap) dari bahan bakar merupakan faktor utama yang harus dipenuhi berdasarkan spesifikasi bahan bakar yang ditetapkan. Faktor ini dibutuhkan untuk terbakar dengan normal di dalam ruang bakar, bahan bakar harus dapat menguap dengan teratur sesuai dengan laju yang dikehendaki, dan harus membuat campuran yang homogin dan terdistribusi merata dalam silinder ruang bakar.

Berikut merupakan tingkat kemudahan penguapan bahan bakar untuk motor bensin:

1. Mudah distarter meskipun dalam keadaan udara dingin
2. Tidak terdapat uap bahan bakar pada saluran bahan bakar yang akan mengganggu aliran bahan bakar
3. Pemanasan yang cepat
4. Pemakaian bahan bakar yang efisien
5. Bebas dari pengotoran ruang engkol yang terjadi apabila bahan bakar yang masuk kedalam silinder tidak bisa menguap.

2.5 Perbandingan Kompresi

Perbandingan kompresi adalah mencirikan seberapa banyak campuran bahan bakar dan udara yang masuk silinder pada langkah hisap, dan yang dimampatkan pada langkah kompresi (Raharjo dan Karnowo, 2008:97).

$$PK = (V_s + V_c) / V_c$$

Dengan PK = perbandingan kompresi

V_s = volume silinder

V_c = volume kompresi (ruang bakar) (Suyanto, 1989:33)

Angka perbandingan kompresi yang tinggi mengakibatkan tekanan awal pembakaran menjadi lebih tinggi. Dengan tekanan awal pembakaran yang tinggi berarti tekanan maksimum yang dihasilkan oleh pembakaran akan menjadi lebih tinggi sehingga tenaga

yang dihasilkan menjadi lebih besar (Suyanto, 1989:34). Apabila gaya yang mendorong lebih besar maka akan lebih besar pula momen yang dihasilkan, sehingga semakin besar tekanan hasil pembakaran di dalam silinder maka akan semakin besar momen yang dihasilkan pada poros engkol (Suyanto, 1989:35).

Semakin tinggi nilai perbandingan kompresi semakin tinggi pula nilai tekanan kompresi. Pengaruh tekanan kompresi terhadap mesin adalah semakin besar tekanan kompresi semakin besar pula tenaga yang dihasilkan oleh mesin. Motor dengan perbandingan kompresi yang tinggi mempunyai kelemahan yakni dengan tingginya tekanan pada akhir kompresi atau tekanan awal pembakaran berarti suhu dalam ruang kompresi juga akan naik. Apabila hal ini terjadi maka bisa terjadi detonasi (bila tekanan kompresi yang tinggi tidak diikuti dengan pemakaian bahan bakar yang beroktan tinggi) (Suyanto, 1989:34).

2.6 Teori Pembakaran

Pembakaran merupakan proses kimia antara bahan bakar dan oksigen yang terjadi di dalam ruang bakar yang menghasilkan energi panas. Elemen mampu bakar yang utama dari bahan bakar adalah karbon (C) dan hidrogen (H), elemen mampu bakar yang lain namun umumnya sedikit terkandung dalam bahan bakar adalah sulfur (S). oksigen yang diperlukan untuk pembakaran diperoleh dari udara yang merupakan campuran dari oksigen dan nitrogen. Selama proses pembakaran butiran minyak bahan bakar dipisahkan menjadi elemen komponennya yaitu hidrogen dan karbon yang mana masing – masing bergabung dengan oksigen dari udara terpisah. Hidrogen (H) bergabung dengan oksigen membentuk air dan karbon (C) bergabung dengan oksigen menjadi Karbon dioksida serta semua sulfur terbakar membentuk sulfurdioksida (SO₂). Apabila oksigen yang tersedia tidak cukup, maka sebagian dari karbon akan bergabung dengan oksigen dalam bentuk karbon monoksida. Jika kondisi tersebut tidak terpenuhi, maka pembakaran tidak sempurna.

Secara aerodinamika terdapat 2 jenis pembakaran, yaitu :

1. Pembakaran *Premixed*

Pembakaran *premixed* adalah proses pembakaran dimana bahan bakar dan udara dicampur secara mekanik (misalnya dengan karburator) kemudian baru dibakar. Contoh pembakaran ini terdapat pada motor bensin.

2. Pembakaran Difusi

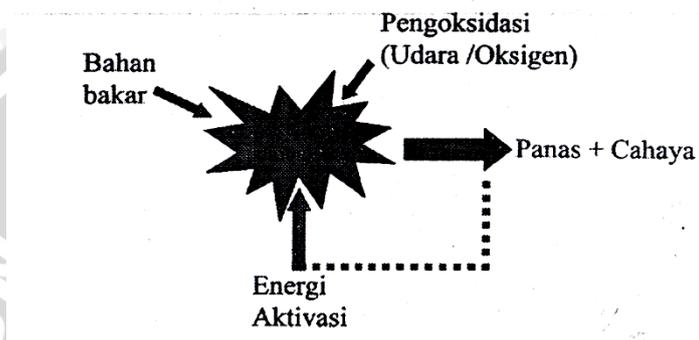
Proses pembakaran difusi adalah proses pembakaran dimana bahan bakar dan udara pengoksidasi tidak dicampur secara mekanik melainkan bercampur secara alami

melalui proses difusi kemudian baru dibakar. Contoh pembakaran ini terdapat pada motor diesel dan pembakaran lilin.

2.6.1 Proses Pembakaran

Dalam proses pembakaran pada motor bensin dapat terjadi apabila :

1. Bahan Bakar
2. Pengoksidasi (udara / oksigen)
3. Panas atau energi aktivasi

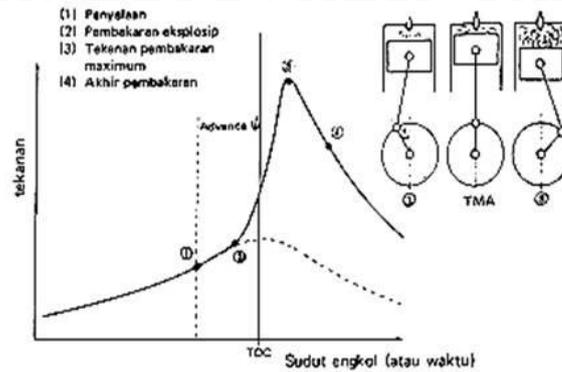


Gambar 2.7 Ilustrasi proses pembakaran

Sumber : Wardana (2008 : 3)

a. Pembakaran Sempurna

Proses pembakaran yang baik adalah pembakaran yang bisa menghasilkan produk pembakaran secara sempurna. Proses pembakaran dapat dikatakan sempurna bila campuran udara (oksigen) dan bahan bakar memiliki perbandingan yang tepat dan dapat terbakar seluruhnya pada waktu dan keadaan yang di kehendaki hingga tidak diperoleh sisa. Bila oksigen terlampaui banyak biasanya disebut sebagai campuran miskin (lean), pembakaran ini juga menghasilkan api oksidasi.



Gambar 2.8 Grafik pembakaran campuran udara – bahan bakar didalam silinder

Sumber : Manual Training Toyota Astra Motor (1995 : 2-3)

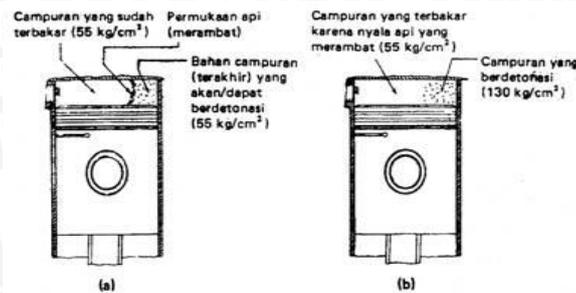
b. Pembakaran Tidak Sempurna

Proses pembakaran dikatakan tidak sempurna (tidak stoikhiometri), bila terdapat sebagian bahan bakar yang tidak ikut terbakar bersama pada saat keadaan yang dikehendaki. Atau pembakaran yang terjadi bila iso-oktana (C_8H_{18}) tidak dapat bereaksi seluruhnya menjadi CO_2 dan H_2O melainkan menjadi CO , HC dan H_2O . Bila bahan bakarnya terlampaui banyak (atau tidak cukup oksigen) bisa dikatakan campuran kaya (*rich*). Pembakaran ini menghasilkan api reduksi yang ditandai oleh panjangnya lidah api, dan terkadang sampai terlihat asap.

Akibat dari pembakaran tidak sempurna yaitu :

1. Detonasi

Detonasi atau *knocking* merupakan proses terbakarnya sendiri campuran bahan bakar dan udara yang berada terjauh dari busi. Dalam hal ini gas baru yang belum terbakar terdesak oleh gas yang sudah terbakar, sehingga tekanan dan suhunya naik sampai mencapai keadaan hampir terbakar. Jika pada saat ini gas tadi terbakar dengan sendirinya, maka akan timbul ledakan (detonasi) yang menghasilkan gelombang kejutan berupa suara ketukan (*knocking noise*).



Gambar 2.8 Keadaan di ruang bakar sebelum dan sesudah detonasi

Sumber : Arismunandar (1988 : 85)

2.6.1.1 Pembakaran Stoikhiometri

Pembakaran stoikhiometri merupakan pembakaran dimana semua atom dari pengoksidasi bereaksi secara kimia untuk menjadi berbagai produk. Pengoksidasi yang lazim digunakan adalah udara, yang untuk berbagai keperluan dapat dinyatakan sebagai campuran 21% oksigen dan 79% Nitrogen. Karena oksigen tersebut diperoleh dari udara maka reaksi pembakaran tersebut akan menghasilkan produk hasil pembakaran yang komposisinya tergantung dari kualitas pembakaran.

Reaksi pembakaran motor Otto merupakan reaksi oksidasi antara senyawa hidrokarbon dengan oksigen yang menghasilkan produk karbondioksida, uap air atau lainnya dimana prosentasenya tergantung pada kualitas pembakaran. Reaksi Bahan bakar yang lazim digunakan pada mesin sepeda motor adalah bensin (*premium*). Rumus kimia dari bensin adalah C_8H_{18} .

Sebagai contoh persamaan kimia dari reaksi pembakaran bahan bakar Premium dan udara adalah:



Reaktan

Produk

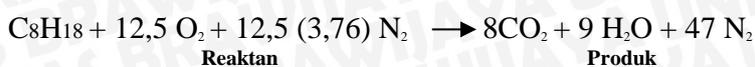
Angka 3,76 adalah harga perbandingan nitrogen dan oksigen di udara. Berdasarkan kesetimbangan reaksi, harga x , a , dan b dapat dihitung, hasilnya adalah :

$$x = 12,5$$

$$a = 8$$

$$b = 9$$

sehingga reaksi secara lengkap adalah :



Reaktan

Produk

Persamaan reaksi kimia di atas menunjukkan reaksi pembakaran yang sempurna dari 1 mol bahan bakar. Selama proses pembakaran, senyawa hidrokarbon terurai menjadi

senyawa-senyawa hidrogen dan karbon yang masing-masing bereaksi dengan oksigen membentuk CO_2 dan H_2O .

Tabel 2.4 Hasil uji unsur karbon bahan bakar

No	Kode	Parameter	Hasil Analisa	
			Kadar	Satuan
1	Premium	C	$63,94 \pm 4,00$	%
2	Pertamak-92	C	$76,95 \pm 1,67$	%
3	Pertamak-95	C	$77,30 \pm 0,82$	%
4	Premium	S	$0,02 \pm 0,28$	%
5	Pertamak-92	S	$0,12 \pm 0,15$	%
6	Pertamak-95	S	$0,00 \pm 0,10$	%
7	Premium	N	$2,75 \pm 0,68$	%
8	Pertamak-92	N	$0,87 \pm 0,21$	%
9	Pertamak-95	N	$0,30 \pm 0,07$	%
10	Premium	Hidrogen	$11,99 \pm 0,00$	%
11	Pertamak-92	Hidrogen	$15,39 \pm 0,00$	%
12	Pertamak-95	Hidrogen	$15,03 \pm 0,00$	%

Sumber : Laboratorium Kimia Univeritas Brawijaya Malang

2.7 Kinerja Motor Bakar

Pengujian dari suatu motor bakar bertujuan untuk mengetahui kinerja dari motor bakar tersebut. Berikut parameter unjuk kerja dari motor bakar yang akan di bahas dalam penelitian motor bakar enam langkah ini meliputi :

1. Torsi (T)
2. Daya efektif (N_e)
3. Konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFC_e)
4. Efisiensi termal efektif (η_e)

2.7.1 Torsi

Torsi merupakan momen putar akibat berputarnya poros engkol mesin. Untuk mengetahui besarnya torsi suatu mesin diukur menggunakan *dynamometer* yang akan menunjukkan besarnya gaya atau beban pengereman pada poros. Besarnya Torsi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$T = F \times L \dots\dots\dots (2-1)$$

Keterangan :

- T = torsi (kg·m)
 F = besarnya beban pengereman (kg)
 L = panjang lengan dynamometer (m)

2.7.2 Daya Efektif

Daya efektif merupakan daya yang dihasilkan oleh poros engkol untuk menggerakkan beban sehingga sering disebut daya pengereman atau daya poros, ini dikarenakan untuk pengukuran daya efektif dilakukan dengan memberikan beban pengereman pada poros. Daya efektif didapat dengan mengalikan Torsi (T) dengan kecepatan anguler poros (ω), persamaannya sebagai berikut :

$$Ne = T \cdot \omega = \frac{T \cdot 2\pi n}{60 \cdot 75} = \frac{T \cdot n}{716,5} \dots\dots\dots(2-2)$$

Keterangan :

Ne = daya efektif (hp)

T = torsi (kg·m)

ω = kecepatan anguler poros (radian-detik⁻¹)

n = putaran poros (rpm)

2.7.3 Konsumsi bahan bakar Spesifik efektif

Dalam pengujian mesin konsumsi bahan bakar diukur sebagai laju aliran massa bahan bakar per unit waktu. konsumsi bahan bakar spesifik atau *specific fuel consumption (sfc)* adalah laju aliran bahan bakar per satuan daya. Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana efisiensi mesin dalam menggunakan bahan bakar untuk menghasilkan daya.

Dengan persamaan sebagai berikut :

$$SFCE = \frac{Fc}{Ne} \dots\dots\dots(2-3)$$

Keterangan :

SFCE = *Specific Fuel Consumption Effective* (kg·hp⁻¹·jam⁻¹)

Fc = konsumsi bahan bakar (kg·jam⁻¹)

Ne = daya efektif (hp)

2.7.4 Efisiensi Termal efektif

Efisiensi termal efektif merupakan perbandingan banyaknya kalor yang dihasilkan bahan bakar dengan daya efektif yang dihasilkan oleh mesin. Nilai itu digunakan sebagai acuan ekonomis atau tidaknya penggunaan bahan bakar, karena nilai dari efisiensi termal efektif berbanding terbalik dengan nilai konsumsi bahan bakar spesifik.

Hal tersebut ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\eta_{te} = \frac{Q_b}{Q_b} \frac{632 \cdot Ne}{FcLHV_{bb}} = \frac{632}{\frac{FcLHV_{bb}}{Ne}} = \frac{632}{SFCeLHV_{bb}} \times 100\% \dots\dots\dots (2-4)$$

keterangan :

1 hp = 632 (kkal·jam⁻¹)

η_{te} = efisiensi termal efektif (%)

LHV_{bb} = Nilai kalor dari bahan bakar (kkal·kg⁻¹)

FC = konsumsi bahan bakar (kg·jam⁻¹)

Ne = daya efektif (hp)

SFCe = konsumsi bahan bakar spesifik (kg·hp⁻¹·jam⁻¹)

2.8 Hipotesa

Nilai oktan yang terlalu rendah menyebabkan rendahnya titik nyala bahan bakar dan udara sehingga mudah timbul *detonasi*. Bila digunakan dengan mesin berkompresi tinggi membuat unjuk kerja menurun dan cenderung boros. Dan sebaliknya Semakin tinggi nilai oktan maka semakin baik kemampuan anti *knocking* bahan bakar tersebut. Akan tetapi jika nilai oktan terlalu tinggi tidak sesuai dengan rasio kompresi motor, konsumsi bahan bakar menjadi lebih boros dan kinerja motor kurang maksimal.

Rasio kompresi motor 6 tak ini adalah 9,3 : 1 dengan rasio kompresi tersebut diduga bahan bakar Pertalite dengan oktan 90 akan lebih baik. nilai oktan sesuai, kualitas campuran udara-bahan bakar baik sehingga meningkatkan unjuk kerja motor bakar 6 langkah dan cenderung ekonomis.