

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bahan Bakar

Bahan bakar dapat di deskripsikan sebagai material yang mengalami perubahan struktur eksotermik yang bersifat kimiawi, seperti pada pembakaran yang membutuhkan oksidan. Energi potensial kimia dari bahan bakar dilepaskan melalui pembakaran. Sebagian besar bahan bakar di alam bersifat "organik", yang mengandung atom karbon. Ada beberapa bahan bakar "anorganik" seperti H_2 , NH_3 , H_2S , dan logam yang jauh lebih banyak tersedia dibandingkan dengan bahan bakar organik. Pada umumnya bahan bakar anorganik saat ini hanya sebagian kecil dari energi yang diekstrak atau diproduksi dari alam. Bahan bakar yang di ekstrak seperti minyak bumi, gas alam, dan batubara sedangkan bahan bakar yang diproduksi seperti alkohol dan hidrogen. Bahan bakar dapat diklasifikasikan berdasarkan bidang aplikasi atau sifatnya. Beberapa klasifikasi dan sifat dari bahan bakar dapat di deskripsikan sebagai berikut (Karim, 2012).

Klasifikasi bahan bakar:

1. Padat, cair, atau gas (pada kondisi sekitar).
2. Organik atau nonorganik.
3. Dari *Fossil* atau *non-fossil*.
4. *Conventional* atau alternatif.
5. Bahan bakar fosil atau *biofuel*.
6. Memiliki karakteristik *Low heating value*, *medium heating value*, *high heating value* pada pembakaran
7. Di ekstrak dari sumber alam (*fossil*) seperti minyak bumi, gas alam, dan batubara atau diproduksi dari sumber alam (*non-fossil*) seperti alkohol dan hidrogen (Karim, 2012).

Sementara itu sifat yang diinginkan dari bahan bakar adalah:

1. Densitas energi tinggi pada basis massa dan volume.

2. Karakteristik pembakaran yang baik, misalnya, tingkat pembakaran tinggi, kebutuhan energi pengapian rendah, dan suhu pembakaran yang tinggi.
3. Membutuhkan pemurnian dan pengolahan yang relatif mudah dan murah sebelum tersedia untuk penggunaan.
4. Stabilitas termal yang tinggi dan kecenderungan pembentukan deposit rendah.
5. Bahan bakar yang cocok dengan karakteristik material mesin dan ruang bakar.
6. Memiliki karakteristik yang tahan terhadap risiko terbakar dan resiko ledakan selama penyimpanan, pengangkutan, dan penerapannya.
7. Memiliki sifat tidak beracun dan emisi gas buang yang rendah.
8. Mudah untuk diangkut, ditangani, dan disimpan.
9. Kemurnian bahan bakar dan kotoran yang terkandung dalam bahan bakar tergolong rendah.
10. Mudah dicampurkan dengan bahan bakar lain (bila diperlukan).
11. Memiliki kandungan sulfur, abu, dan nitrogen yang cukup rendah.
12. Mudah disimpan, penanganannya mudah, dan karakteristik pembakaran yang baik pada suhu lingkungan yang rendah.

Dalam pembahasan sub bab 2.1 mengenai bahan bakar akan lebih mendalam dibahas mengenai bahan bakar alternatif yang berhubungan dengan biofuel khususnya bioetanol.

2.1.1 Bahan Bakar Alternatif

Bahan bakar alternatif merupakan bahan bakar yang dapat digunakan pada mesin transportasi dan pembangkit listrik dengan aplikasi selain bahan bakar cair secara konvensional, seperti bensin. Beberapa faktor yang mempengaruhi untuk menggunakan bahan bakar alternatif meliputi (Karim, 2012):

- a. Memiliki dampak positif terhadap lingkungan pada penggunaan bahan bakar alternatif jika dibandingkan dengan bahan bakar fosil seperti bensin.
- b. Memiliki biaya operasional dan perawatan yang lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar fosil.

- c. Keaneekaragaman dari jenis bahan bakar dan sumber daya yang tersedia mengurangi ketergantungan terhadap beberapa jenis bahan bakar dan sumber utama yang tersedia di pasaran.
- d. Mungkin ada beberapa keuntungan dari operasional dan kinerja bahan bakar alternatif.
- e. Dapat dipadukan dengan bahan bakar lain untuk menghasilkan efisiensi pembakaran yang lebih baik dibandingkan dengan bahan bakar fosil dan sebagai tambahan pada bahan bakar fosil.
- f. Bahan bakar alternatif bisa menambah keselamatan, starter awal, dan penggunaan pada cuaca dingin.

Sejak CAA (*Clean Air Act*) AS memerintahkan penghapusan timbal dalam bensin, kombinasi bahan bakar di *Internal Combustion Engine* terus berlanjut. Meski bensin terus mendominasi sebagai bahan bakar pilihan di mobil, truk, industri, kelautan, pertanian, pertambangan, lokomotif, dan di luar stasiun dan di luar jalan raya aplikasi, langkah telah dilakukan di banyak negara terhadap penggunaan berbagai bahan bakar alternatif untuk digunakan di *Internal Combustion Engine* (Brady, 2013).

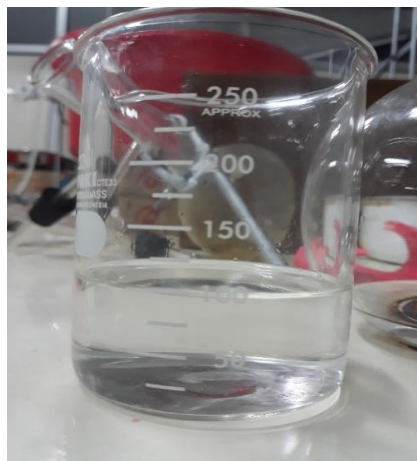
Berbagai macam bahan bakar alternatif yang tersedia untuk digunakan di *Internal Combustion Engine* ini termasuk:

- a. Bensin yang diformulasi ulang
- b. Metanol / Alkohol / Etanol
- c. Bahan bakar solar sulfur rendah dan ultra-rendah
- d. Biodiesel
- e. DME (*Dimethyl Ether*)
- f. Gas alam: CNG (gas alam terkompresi), LNG (gas alam cair)
- g. Propana atau LPG (liquefied petroleum gas)
- h. *Biomethane*
- i. Sel bahan bakar hidrogen
- j. Diesel atau bensin listrik hibrida
- k. Hidraulik Hibrida.

Etanol merupakan bahan bakar alternatif yang paling banyak digunakan sebagai aditif *biofuel*. *Biofuel* dalam bentuk etanol diperkenalkan pada tahun 1980 dan saat ini dicampur ke dalam bensin pada tingkat konsentrasi rendah. Etanol banyak digunakan dalam bensin baik di AS dan Brasil. Peraturan AS - EPA membatasi etanol dalam bensin sampai 10%.

2.1.2 Bioetanol

Bioetanol (etil alkohol, alkohol biji-bijian, $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$ atau ETOH) adalah *biofuel* cair yang dihasilkan dari beberapa bahan baku biomassa dan dengan menggunakan teknologi konversi yang berbeda. Bioetanol memiliki karakteristik bilangan oktan lebih tinggi, mudah terjadi pembakaran, kecepatan nyala yang lebih tinggi dan panas penguapan yang lebih tinggi. Properti ini memungkinkan untuk rasio kompresi lebih tinggi, waktu bakar lebih pendek dan pembakaran mesin yang lebih ramping, yang mengarah pada keuntungan efisiensi teoritis jika dibandingkan dengan penggunaan bensin pada mesin pembakaran dalam (Balat, Balat, & Oz, 2008). Bioetanol sendiri dapat berupa cairan yang tidak berwarna seperti pada gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Bioetanol

Pada umumnya bioetanol dari metil dan etil alkohol dengan rumus kimia CH_3OH dan $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ sering dipertimbangkan sebagai bahan bakar atau tambahan yang di konsentrasi secara besar – besaran untuk bahan bakar cair. Etanol, atau etil alkohol, yang ditunjukkan dengan rumus empiris molekul $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$, dapat digunakan

sebagai bahan bakar pada mesin pembakaran dalam (*Otto cycle*) dengan dua cara, yaitu :

1. bensin dan campuran etanol anhidrat; atau
2. sebagai etanol murni, biasanya terhidrasi.

Studi telah menunjukkan bahwa penggunaan etanol yang lebih tinggi dari batas yang di iijinkan menyebabkan kerusakan material dalam jangka panjang dan masalah ketahanan sistem emisi di bidang-bidang berikut:

- a. Peningkatan insiden kegagalan pemompaan bahan bakar
- b. Pembengkakan komponen sistem bahan bakar
- c. Kerusakan pengukur bahan bakar
- d. menghasilkan indikator lampu mesin yang salah
- e. Kerusakan komponen penting yang menghentikan aliran ke mesin
- f. Mobil OEM tidak akan mengganti kerusakan dalam garansi karena penggunaan bahan bakar E15. (Bradi, 2013)

Dalam bensin Brasil dapat mengandung hingga 25% etanol karena mesin mereka telah dirancang sebelumnya untuk beroperasi pada persentase yang lebih tinggi. Bioetanol merupakan *biofuel* yang berfungsi seperti bahan bakar bensin, bioetanol diproduksi dari fermentasi glukosa kemudian dilanjutkan dengan proses distilasi, proses distilasi bisa menghasilkan etanol dengan 95% kemurnian, untuk dijadikan bahan bakar (*biofuel*) diperlukan etanol yang dimurnikan sampai 99% atau biasa disebut *fuel grade ethanol* (Putrasari et al, 2016).

2.2 Nanas

Nanas (Gambar 2.2.) yang memiliki nama latin *Ananas comosus* Merr (syns. *A. sativus* Schult. f., *Ananassa sativa* Lindl., *Bromelia ananas* L., *B. comosa* L.) (morton, 2004), merupakan salah satu tanaman yang tumbuh di Indonesia yang menyumbang 7 persen terhadap total produksi buah Indonesia (1,4 juta ton) dan memberikan 77 persen nilai ekspor buah olahan (148 juta dolar AS) pada tahun 2012.



Gambar 2. 2 Buah Nanas

Provinsi Jawa Barat merupakan salah satu pusat produksi nanas di Indonesia yang menyumbang sekitar 10 persen produk komoditas nanas Indonesia pada tahun 2012; provinsi lain adalah Lampung (33%), Sumatera Utara (15%) dan Jawa Timur (11%) (lubis et al, 2014). Total konsumsi nanas per kapita dalam periode tahun 2002-2014 masih menunjukkan peningkatan rata-rata sebesar 1,93% per tahun yang disebabkan lonjakan konsumsi nanas pada tahun 2011 sebesar 133,33%. Tahun 2002 konsumsi nanas sebesar 0,47 kg/kapita, dan meningkat mencapai 0,57 kg/kapita pada tahun 2005. Setelah tahun 2006 terjadi penurunan konsumsi nanas hingga tahun 2010, tetapi pada tahun 2011 terjadi lonjakan konsumsi menjadi 0,37 kg/kapita (Gambar 2.3). Tahun 2014 konsumsi nanas di Indonesia sebesar 0,22 kg/kapita. penyediaan nanas digunakan untuk bahan makanan (93,91%), sedangkan 6,08% sisanya tercecer dan 0,03% merupakan olahan untuk makanan. (Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian Sekretariat Jenderal Kementerian Pertanian, 2016).



Gambar 2. 3 Perkembangan konsumsi nanas Indonesia pada tahun 2002-2014

Limbah nanas merupakan produk sampingan yang dihasilkan dari pengalengan/pengolahan nanas yang menghasilkan sekitar 35% limbah buah dan menyebabkan pencemaran lingkungan yang serius. Limbah nanas mengandung komponen nutrisi yang berharga dari gula sederhana seperti sukrosa, glukosa dan fruktosa. Analisis kadar gula penting untuk pengolahan lebih lanjut seperti fermentasi. (Siti, Zainal, Noriham, and Nadzirah, 2013).

2.3 Fermentasi

Bahan baku yang bisa digunakan untuk fermentasi alkohol adalah tanaman yang mengandung gula (tebu, gula bit, gandum dan jelai), dan tanaman selulosa (batang, daun, batang, cabang, sekam) (Cutzu and Bardi, 2017). Sampah buah adalah sumber yang kaya akan gula larut yang dapat difermentasi, termasuk glukosa, fruktosa, dan sukrosa bersama dengan struktur selulosa dan hemiselulosa. Limbah buah merupakan sumber bahan kimia bernilai tambah yang kaya seperti pektin, limonena, etanol, dan asam D-galakturonat (Qureshi et al, 2017). Mikroorganisme yang dipilih untuk fermentasi alkohol biasanya ragi. Karakteristik yang disukai untuk produksi bioetanol industri adalah: tinggi hasil etanol; toleransi etanol tinggi; produktivitas etanol tinggi ($> 5,0 \text{ g / L / jam}$), suhu yang memungkinkan pertumbuhan mikroba yang baik dan hasil etanol yang baik umumnya berkisar antara 20 dan 35°C. Penyulingan etanol yang terbentuk selama fermentasi dari larutan etanol-air untuk produksi etanol hidrokarbon (azeotropik) (maksimum teoritis dapat dicapai 95,5% berat etanol dan 4,5% air). Untuk membuang air yang

tersisa, diperlukan proses khusus Mencapai etanol anhidrat, yang meliputi: proses dehidrasi kimia, dehidrasi dengan proses vakum distilasi, proses distilasi azeotropik, proses distilasi ekstraktif, membran proses, proses adsorpsi, dan proses distilasi difusi (Cutzu and bardi, 2017).



Gambar 2. 4 Hasil fermentasi

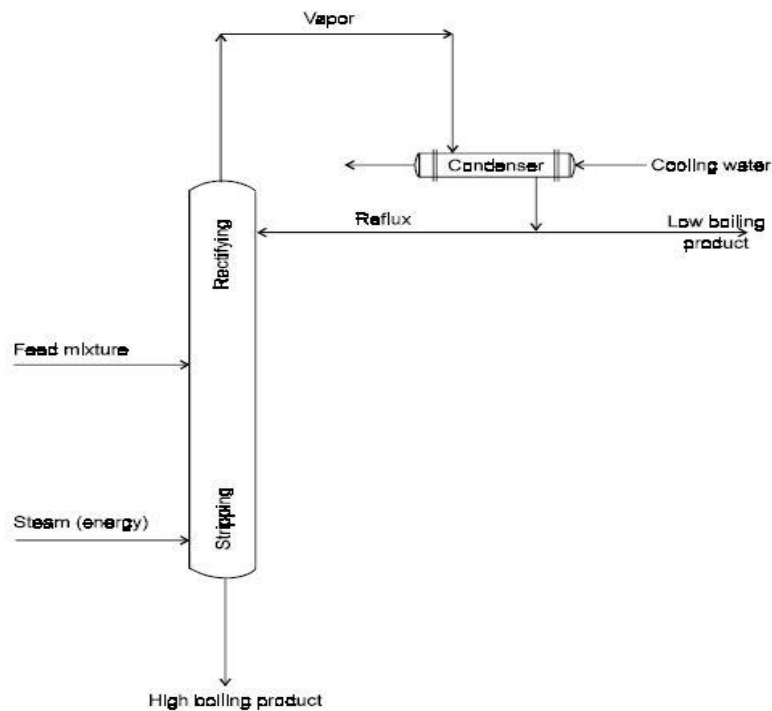
Dalam proses fermentasi dibutuhkan bahan bahan dasar berupa ragi roti yang mengandung bakteri *saccaromices cerevissae* dan pupuk urea yang mengandung nitrogen untuk mempercepat proses fermentasi. Kulit buah Nanas dapat ditingkatkan potensinya menjadi bioetanol. Penambahan *yeast Saccharomyces cerevisiae* dan waktu fermentasi berpengaruh terhadap kualitas bioetanol yang dihasilkan dari kulit buah nanas. Kadar bioetanol tertinggi diperoleh pada penambahan *Saccharomyces cerevisiae* 30 g dan waktu fermentasi 10 hari sebesar 3,965% (Rahman and Setyawati, 2012). Untuk hasil dari proses fermentasi dapat dilihat seperti pada gambar 2.4 di atas.

2.4 Dasar Sistem Destilasi

Pada umumnya sistem destilasi konsepnya sama. Pada sistem destilasi modern adalah *multi-stage, continuous, countercurrent, vapor-liquid*. Hal ini berhubungan dengan hukum dasar fisika bahwa perbedaan jenis cairan dapat berpengaruh terhadap titik didih dari cairan tersebut. Berdasarkan rangkaian sistem distilasi pada Gambar 2.5 yang dapat menghasilkan campuran yang ideal, sistem tersebut terdiri dari:

- a. Sumber uap terdiri dari dua senyawa yang dapat dipisahkan .

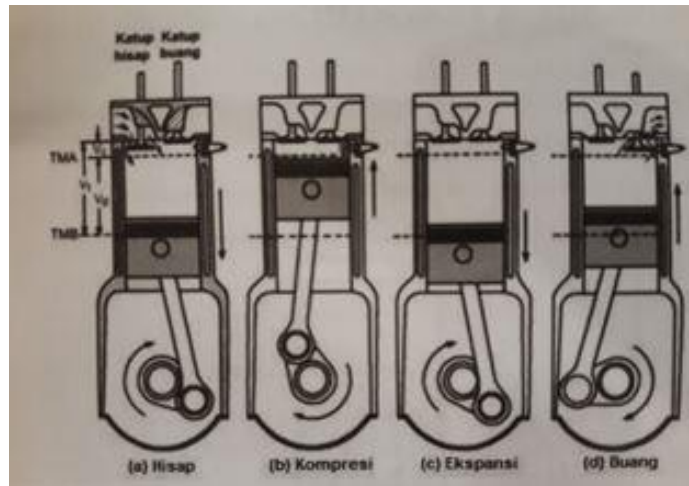
- b. sumber energi untuk menggerakkan proses destilasi (seperti uap yang dihasilkan dari pemanasan)
- c. pada akhir proses destilasi dihasilkan produk dengan titik didih yang rendah
- d. pada bagian bawah proses destilasi cairan yang dipanaskan memiliki titik didih yang tinggi.
- e. kondensor biasanya berpendingin air, untuk mengembunkan uap yang dihasilkan dari pemanasan. (Katzen.et al, n.d.).



Gambar 2. 5 Ideal distilation system (Katzen, Madson, & Jr, 1999)

2.5 Mesin Motor 4 langkah

Motor empat langkah (gambar 2.2) membutuhkan dua kali putaran poros engkol untuk menyelesaikan satu siklus di dalam silinder. Dengan kata lain, setiap silinder membutuhkan empat langkah torak pada dua putaran poros engkol untuk melengkapi siklusnya. Prinsip kerja motor empat langkah ditunjukkan dalam gambar 2.6 (kristanto, 2015).



Gambar 2. 6 Prinsip kerja motor empat langkah

Adapun ke empat langkah pembakaran dapat dijelaskan sebagai berikut (Kristanto, Motor Bakar Torak- Teori dan Aplikasinya, 2015):

1. Langkah hisap, diawali dengan posisi torak di TMA dan berakhir dengan posisi torak di TMB, yang mana menghisap campuran segar ke dalam silinder. Untuk meningkatkan massa campuran yang dihisap, katup masuk terbuka sesaat sebelum langkah hisap dimulai dan menutup setelah berakhirnya langkah tersebut.
2. Langkah kompresi, ketika kedua katup tertutup dimana campuran di dalam silinder dimampatkan dan volumenya diperkecil. Menjelang akhir langkah kompresi, pembakaran diaktifkan dan tekanan silinder naik dengan cepat.
3. Langkah daya atau langkah ekspansi, diawali dengan posisi torak di TMA dan berakhir di TMB ketika temperatur dan tekanan gas yang tinggi mendorong torak ke bawah dan memaksa poros engkol untuk berputar. Ketika torak mendekati TMB, katup buang terbuka untuk mengawali proses buang dan tekanan silinder turun mendekati tekanan buang.
4. Langkah buang, dimana sisa gas yang dibakar keluar dari silinder disebabkan tekanan silinder yang pada hakikatnya lebih tinggi dibanding tekanan buang. Gas kemudian di dorong keluar oleh torak ketika bergerak ke arah TMA. Ketika torak mendekati TMA, katup masukan terbuka. Sesaat setelah TMA, katup buang menutup dan siklus dimulai lagi(kristanto, 2015).

Kinerja motor bergantung pada beberapa parameter yaitu kinematika torak, kerja ,tekanan efektif purata, torsi dan daya,serta konsumsi bahan bakar spesifik (kristanto, 2015).

Kelebihan dan Kekurangan Mesin Siklus Empat Langkah

- a. Kelebihan Mesin Siklus Empat Langkah
 1. Efisiensi volumetrik yang lebih baik di atas rentang kecepatan mesin (Efisiensi volumetrik adalah ukuran banyaknya campuran bahan bakar yang masuk setelah langkah buang). Penting untuk dipahami bahwa efisiensi volumetrik adalah rasio massa, bukan volume.)
 2. Tidak rentan terhadap penurunan tekanan pada sistem pembuangan.
 3. Memiliki kontrol efisiensi pengisian silinder yang baik dengan kontrol timing katup dan pencocokan sistem intake manifold.
- b. Kekurangan mesin siklus empat langkah
 1. Kontrol katup menjadi lebih kompleks.
 2. Menghasilkan kerapatan daya mesin yang lebih rendah karena hanya satu kekuatan piston yang bergerak setiap 720^0 rotasi *crankshaft* (Brady, 2013).

2.6 Sistem Injeksi Bahan Bakar Bensin

Sistem injeksi bensin menggunakan tekanan dari pompa bahan bakar elektronik untuk menginjeksikan bahan bakar ke manifold hisap mesin, sedangkan karburator bersandar pada tekanan vakum venturi karburator untuk mengirimkan bahan bakar ke arus udara masukan. Sistem injeksi bahan bakar bensin memiliki beberapa kelebihan dibanding sistem bahan bakar jenis karburator. Beberapa keuntungan tersebut diantaranya (Kristanto, Motor Bakar Torak- Teori dan Aplikasinya, 2015):

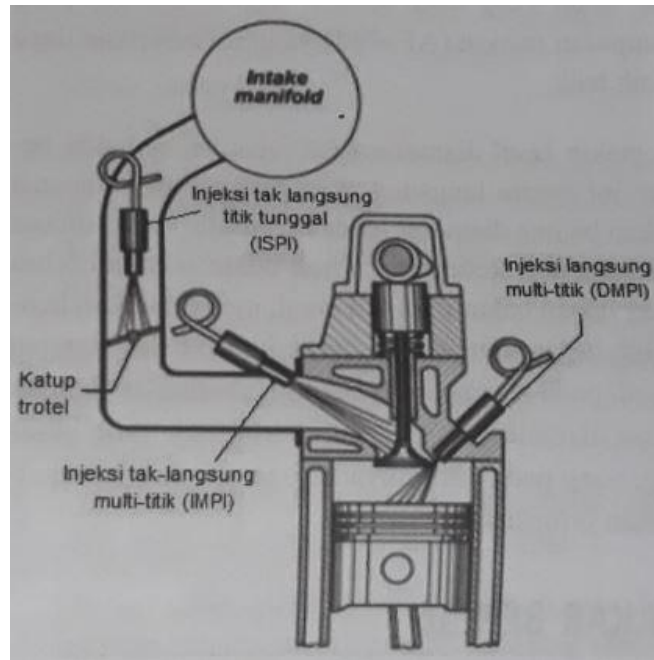
1. Dengan sistem injeksi, bahan bakar dapat dikabutkan langsung ke dalam saluran isap, dekat dengan katup hisap.
2. Karburator tidak mampu mengalirkan campuran udara – bahan bakar dengan rasio yang sama untuk setiap silinder.

3. Pendistribusian bahan bakar lebih baik. Aliran uap bahan bakar merata ke masing – masing silinder.
4. Lebih presisi dalam mengatur jumlah bahan bakar yang dibutuhkan sebagai fungsi dari kondisi operasi mesin yang dideteksi oleh berbagai sensor.
5. Start dingin lebih baik. Sistem injeksi menyediakan kontrol pengayaan campuran saat start dingin yang lebih baik dibanding karburator.
6. Meningkatkan tenaga mesin. Pengukuran bahan bakar yang tepat ke masing – masing silinder dan meningkatnya aliran udara dapat menghasilkan output tenaga yang lebih besar.

2.6.1 Klasifikasi sistem injeksi bensin

Sistem injeksi bahan bakar bensin diklasifikasikan berdasarkan titik atau lokasi dimana bahan bakar di injeksikan, yaitu sistem injeksi tak langsung dan sistem injeksi langsung (Gambar 2.7). Sistem injeksi tak langsung menginjeksikan bahan bakar ke manifold hisap mesin. Kebanyakan sistem injeksi bensin adalah dari jenis ini. Sistem injeksi tak langsung ini dibedakan lagi menjadi :

1. Injeksi tak langsung titik tunggal (*indirect single Point Injection*, ISPI), disebut juga injeksi trotole bodi (*Throttle Body Injection*, TBI), dimana injektor dipasang sebelum saluran isap yaitu di atas katup trotole.
2. Injeksi tak langsung multi titik (*Indirect Multi Point Injection*, IMPI), yang disebut dengan injeksi lubang (*Port Injection*), dimana injektor terletak di atas lubang hisap (*Intake Port*) pada setiap silinder.



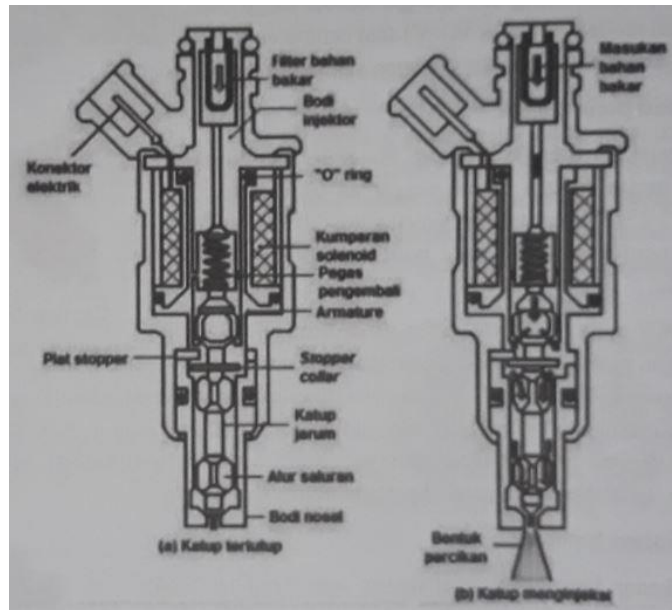
Gambar 2. 7 Klasifikasi sistem injeksi bensin

2.6.2 Injeksi bahan bakar elektronik

Injeksi bahan bakar elektronik (*Electronic Fuel Injection*, EFI) adalah suatu sistem yang menginjeksikan bahan bakar secara elektronik ke dalam motor berdasarkan variabel operasi motor yang diindera melalui berbagai sensor. Pengendalian sistem dilakukan oleh *engine control module* (ECM) atau disebut juga *electronic control unit* (ECU), yaitu berupa *chip* yang terdiri atas *mikroprosesor* dan memori yang dipasang *on board* pada mobil. Sistem injeksi bahan bakar elektronik dapat dibagi menjadi (Kristanto, Motor Bakar Torak- Teori dan Aplikasinya, 2015) :

1. Sistem pengirim bahan bakar, sistem ini terdiri dari tangki bahan bakar, pompa bahan bakar elektronik, penyaring (filter) bahan bakar, regulator tekanan bahan bakar, injektor bahan bakar, pipa pengirim bahan bakar (*fuel rail*), dan pipa aliran balik bahan bakar.
2. Aliran bahan bakar, bahan bakar dari tangki bensin ditekan oleh sebuah pompa bahan bakar elektrik yang dikendalikan oleh ECU, melalui filter bahan bakar dialirkan ke injektor pada masing- masing silinder.

3. Sistem induksi udara, terdiri dari filter udara, meter aliran udara (*air flow meter*), ruang udara masukan (*air intake chamber*), Katup trotel, lorong manifold hisap (*runner intake manifold*), dan katup masukan.
4. Sistem sensor, sensor merupakan perangkat listrik yang mengubah resistansi atau tegangan rangkaian karena adanya perubahan kondisi (suhu, tekanan, dan lain- lain). Sensor untuk sistem engine fuel injection dibagi atas lima sensor yakni:
 - a. Sensor aliran massa udara
 - b. Sensor tekanan absolut
 - c. Sensor posisi trotel
 - d. Sensor suhu udara masukan
 - e. Sensor oksigen
5. Output, sensor menghasilkan suatu tegangan ketika terdapat perbedaan kandungan oksigen diantara kedua elektrode sensor oksigen. Ada dua jenis sensor yang berpengaruh terhadap output dari sistem injeksi bahan bakar yakni :
 - a. Sensor posisi poros engkol
 - b. Sensor tekanan barometer
6. Sistem kendali elektronik, pusat suatu sistem EFI adalah komputer yang disebut unit kendali motor (*engine control unit, ECU*), yang memonitor parameter operasi motor melalui berbagai sensor. ECU menginterpretasikan parameter ini untuk menentukan jumlah bahan bakar yang sesuai untuk diinjeksikan dan mengendalikan operasi motor dengan memanipulasi bahan bakar dan atau aliran udara seperti halnya variabel lain. ECU terdiri dari rangkaian terintegrasi (*integrated circuit, IC*), dioda, hambatan dan kapasitor yang disusun untuk membentuk suatu komputer kecil.



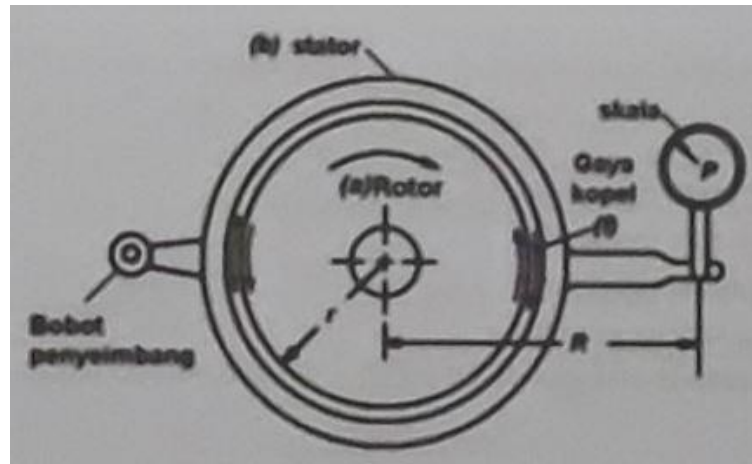
Gambar 2. 8 Injektor bahan bakar (a) saat katup tertutup (b) saat katup menginjeksikan bahan bakar

Injeksi bahan bakar di ruang bakar membutuhkan injektor sebagai pompa bahan bakar agar bahan bakar dapat di injeksikan. Injektor bahan bakar (Gambar 2.9) di dalam sistem injeksi berfungsi untuk menginjeksikan bensin yang terukur ke arus udara masuk, baik secara tidak langsung ke *intake manifold* atau secara langsung ke ruang bakar. Injektor bahan bakar pada umumnya terdiri dari dua bagian yakni:

1. Bagian atas berupa rakitan bodi injektor yang berisi pegas katup, pengatur beban tekanan.
2. Bagian bawah yang berupa rakitan bodi nosel dan katup jarum atau katup pasak.

2.7 Dinamometer

Torsi dan daya motor dalam jangkauan operasi kecepatan motor dan beban pada umumnya diukur dengan dinamometer. Motor dijepit pada suatu bangku uji (*test bed*) dan sebuah poros menghubungkan motor ke rotor dinamometer. Gambar 2.9 menggambarkan prinsip operasi dinamometer (Kristanto, Motor Bakar Torak-Teori dan Aplikasinya, 2015).



Gambar 2. 9 menggambarkan prinsip operasi dinamometer (Kristanto, Motor Bakar Torak- Teori dan Aplikasinya, 2015)

Rotot a yang digerakkan oleh motor yang diuji, dihubungkan (secara elektrik, magnetis, atau hidrolis) ke stator b. Dalam satu putaran poros, keliling dari rotor a (radius, r) berpindah melalui suatu jarak $2\pi r$ melawan gaya kopel f (gaya drag).

Dengan demikian kerja per putaran adalah

$$\text{Kerja} = 2\pi r f$$

Momen luar, merupakan produk pembacaan skala beban P , dan lengan dinamometer R , harus setimbang dengan momen putar, $r \times f$, atau

$$r f = P R$$

Sehingga kerja untuk satu putaran

$$\text{Kerja} = 2\pi P R$$

Saat motor berputar N rpm, kerja per menit menjadi

$$\text{Kerja per menit} = 2\pi P R N \quad (2.1)$$

Daya dinyatakan sebagai laju kerja yang dilakukan. Dengan demikian $2\pi P R N$ menyatakan besaran daya. Daya kuda (HP) menyatakan satuan daya yang dinyatakan dengan 745.7 watt, atau 0.7457 kW. Jika P dinyatakan dalam Newton, R dalam meter dan N dalam putaran/s, maka daya dinyatakan dalam watt atau 1/746

hp. Jika P dinyatakan dalam kgf, R dalam meter dan N dalam putaran/s, satuan daya dinyatakan dengan PS di mana $1 \text{ PS} = 75 \text{ kg}_f \text{ m/s}$.

Produk perkalian $P \times R$ menyatakan torsi (tenaga putar). Torsi merupakan suatu momen putar, atau sebagai kerja persatuan putaran (radian). Satuan torsi pada umumnya N-m.

$$\tau = P R \quad (2.2)$$

Daya rem, \dot{W}_b yang dikirim oleh motor dan diserap oleh dinamometer adalah hasil kali antara torsi dan kecepatan sudut (Kristanto, Motor Bakar Torak- Teori dan Aplikasinya, 2015):

$$\dot{W}_b = 2 \pi N \tau \quad (2.3)$$

Tekanan efektif rata- rata pengereman (*brake mean effective pressure*)

Proses pembakaran campuran udara - bahan bakar menghasilkan tekanan yang bekerja pada torak, sehingga menghasilkan langkah kerja. Besar tekanan tersebut berubah ubah sepanjang langkah torak tersebut. Jika diambil suatu tekanan bernilai konstan yang bekerja pada torak dan menghasilkan kerja yang sama, maka tekanan ini disebut dengan tekanan efektif rata – rata pengereman, yang didefinisikan sebagai kerja per siklus per volume langkah torak. Tekanan efektif rata – rata pengereman (*Brake Mean Effective Pressure = BMEP*) (Kristanto, Buku pedoman praktikum prestasi mesin)

$$BMEP = \frac{0.45 N Z}{A L i n} \text{ kg/cm}^2 \quad (2.4)$$

Dengan:

BMEP = tekanan efektif rata – rata pengereman (kg/m^2)

$N=BHp$ = daya poros (watt atau hp)

Z = jumlah putaran poros engkol untuk menyelesaikan satu siklus kerja (=1 untuk motor dua langkah =2 untuk motor empat langkah)

L = panjang langkah torak (m)

i = jumlah silinder

n = putaran motor (rpm)

A = luas penampang torak (m²)

2.8 Hasil Perbandingan penelitian yang sudah pernah dilakukan

Dari hasil penelitian sebelumnya di dapati penelitian mengenai limbah dari buah nanas berupa *core* dan kulit nanas yang diteliti. *“Pineapples were obtained from a local market in Norwich, UK. For analytical purpose, the pineapple was divided into four parts: crown (the top part), skin, pulp and core (the inner part). In this study only skin and core were used for fermentation tests.”*(Tropea et al,2014) sementara dari penelitian yang akan dilaksanakan digunakan kulit nanas sebagai bahan utama pembuatan bioetanol. Penelitian di jurnal terdahulu juga menggunakan proses fermentasi tetapi tidak menggunakan proses distilasi melainkan menggunakan proses hidrolisis. Tujuan akhir dari jurnal terkait, adalah menjadikan *core* dan kulit nanas sebagai bioetanol sedangkan penelitian ini akan membuat bioetanol dari kulit nenas dan mencampurkan bioetanol dengan bahan bakar RON 90 guna meningkatkan unjuk kerja motor bensin.