

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Motor Pembakaran Dalam

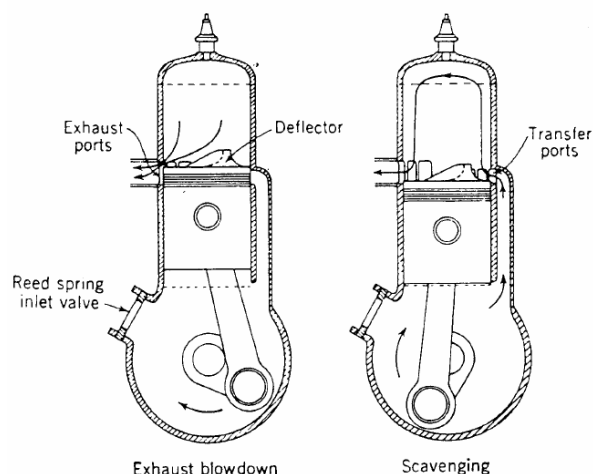
Motor pembakaran dalam merupakan suatu mekanisme untuk mengubah energi kimia yang terdapat dari bahan bakar dirubah menjadi energi gerak. Proses untuk mengubah energi tersebut dilakukan dengan melepaskan kalor yang terdapat pada senyawa bahan bakar. Pada dasarnya motor pembakaran dalam dibedakan menjadi dua jenis, yaitu *spark ignition engine* dan *compression ignition engine*. Kedua jenis tersebut dibedakan berdasarkan cara untuk memulai proses pembakaran.

2.1.1. Spark Ignition Engine

Motor pembakar dalam yang diawali dengan percikan api yang berasal dari busi yang terdapat pada ruang bakar. Tanpa adanya percikan api yang menyulut campuran bahan bakar dan udara, maka tidak akan terjadi proses pembakaran. Spark ignition engine dibedakan menjadi dua proses, yaitu motor 2 tak dan motor 4 tak.

2.1.1.1. Motor 2 tak

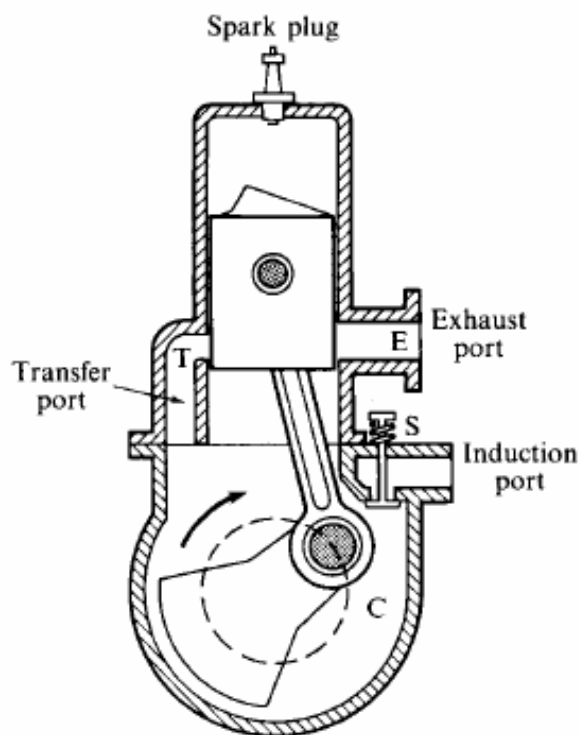
Motor dua tak adalah motor yang memerlukan satu kali putaran poros engkol untuk sekali siklus pembakaran.



Gambar 2.1. Prinsip Kerja Motor 2 Tak

Sumber : Bereczky, Akos., Internal Combustion Engine, 2006

Langkah pertama, yaitu merupakan langkah kompresi , dengan torak bergerak ke atas, campuran minyak bahan bakar dan udara dikompresikan dan dibakar dengan bunga api listrik bila torak mencapai titik mati atas (TMA). Kevakuman di dalam ruang poros engkol akan timbul yang akan menyebabkan udara masuk. Langkah kedua yaitu merupakan langkah usaha, torak didorong ke bawah oleh tekanan pembakaran, campuran bahan bakar dan udara di dalam ruang bakar akan dikompresikan dan torak akan menutup katup masuk sehingga campuran bahan bakar dan udara tidak masuk ke dalam ruang bakar dan pada saat bersamaan sisa pembakaran akan dibuang melalui katup buang.

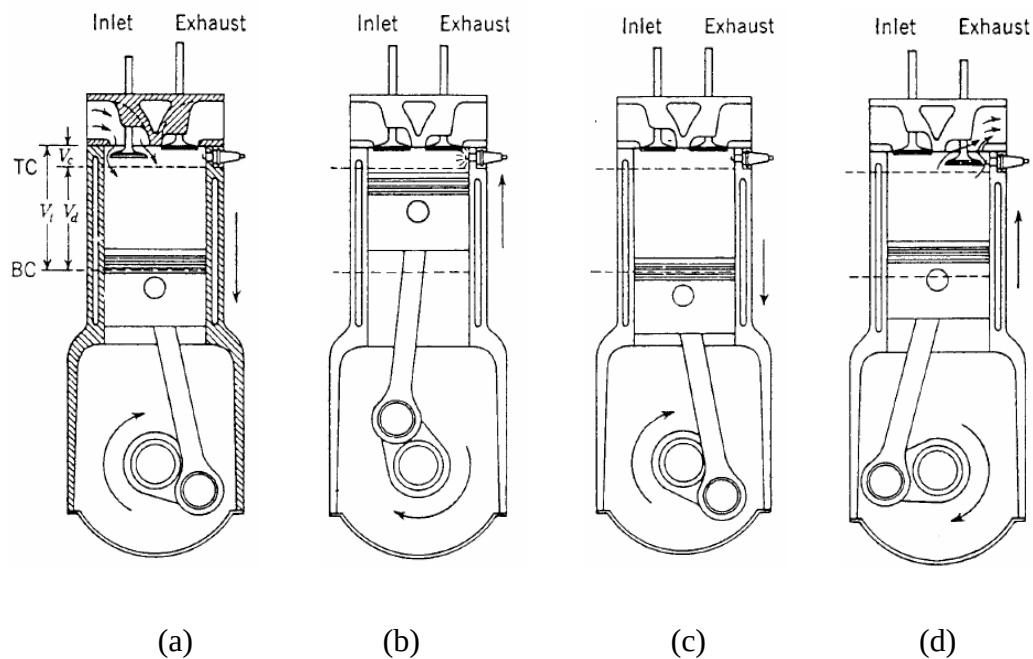


Gambar 2.2. Konstruksi Mesin 2 Tak

Sumber : Bereczky, Akos., Internal Combustion Engine, 2006

2.1.1.2. Motor 4 tak

Motor bakar 4 tak adalah motor bakar yang dalam sekali pembakaran memerlukan 2 kali putaran poros engkol. Dalam sekali pembakaran tersebut terdapat 4 langkah piston. Empat langkah tersebut adalah langkah hisap, kompresi, kerja, buang.



Gambar 2.3. (a) Proses Langkah Hisap Mesin 4 Tak. (b) Proses Langkah Kompresi Mesin 4 Tak. (c) Proses Langkah Kerja Mesin 4 Tak. (d) Proses Langkah Buang Mesin 4 Tak.

Sumber : Bereczky, Akos., Internal Combustion Engine, 2006

1. Langkah hisap:

Pada saat langkah hisap (Gambar 2.3 a), katup *intake* membuka dan piston akan bergerak dari TMA menuju TMB, pada saat pergerakan piston tersebut menyebabkan tekanan negatif dalam silinder dan campuran udara bahan bakar akan tertarik memasuki ruang bakar.

2. Langkah kompresi:

Pada langkah ini piston akan bergerak kembali dari TMB menuju TMA (Gambar 2.3 b). Dimana piston akan memampatkan campuran udara bahan bakar dalam ruang bakar.

3. Langkah kerja:

Pada saat piston akan mencapai TMA (Gambar 2.3 c), busi akan memantikkan api pada campuran udara bahan bakar, sehingga terjadi ledakan dalam ruang bakar yang menyebabkan piston akan terdorong dari TMA menuju TMB.

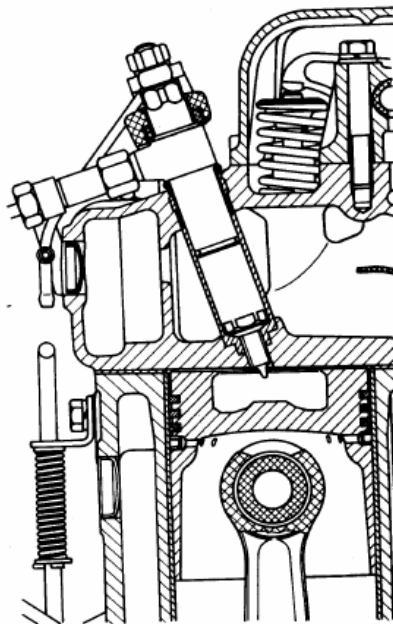
4. Langkah buang:

Setelah piston terdorong sampai TMB karena proses ledakan sebelumnya, maka pada saat tersebut katub buang akan membuka dan piston akan kembali bergerak menuju TMA untuk mendorong gas dari sisa pembakaran (Gambar 2.3 d).

2.1.2. *Compression Ignition Engine*

Selain terdapat mesin yang menggunakan pematik api untuk memulai pembakaran terdapat suatu prinsip kerja mesin yang menggunakan tekanan yang tinggi untuk memulai nyala api. Sistem mesin seperti ini biasanya menggunakan bahan bakar diesel. Prinsip kerja mesin diesel hampir sama dengan sistem kerja mesin 4 tak, hanya saja berbeda dengan sistem pemasukan dan pencampuran bahan bakar dengan udara.

Pada mesin diesel pemasukan bahan bakarnya diinjeksikan kedalam ruang bakar sebelum piston mencapai titik mati atas (TMA). Dengan tekanan dan temperatur udara yang tinggi didalam ruang bakar sehingga pada saat bahan bakar diesel memasuki ruang bakar akan terjadi suatu nyala api yang akan meledak dan mendorong piston untuk langkah kerja.



Gambar 2.4. Konstruksi Mesin Diesel

Sumber : Bereczky, Akos., Internal Combustion Engine, 2006

2.2. Bahan Bakar Alternatif

Pada abad 21 sekarang ini, produksi minyak mentah akan menjadi sangat langka dan memerlukan biaya yang besar untuk menemukan tambang dan produksi baru. Sedangkan produksi kendaraan di dunia yang selalu meningkat dari tahun ke tahun yang menyebabkan konsumsi bahan bakar minyak semakin meningkat. Walaupun mesin-mesin mobil sekarang menggunakan teknologi yang muktakir untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar. Bensin akan menjadi langka dan harganya yang akan menjadi sangat mahal. Hal ini menyebabkan timbulnya pemikiran untuk menciptakan energi baru yang dapat menggantikan fungsi dari bahan bakar bensin. Ada dari beberapa pengguna kendaraan yang menggunakan bahan bakar alkohol sebagai alternatif, tapi jumlah penggunaanya yang masih sedikit.

Alasan yang mendorong untuk menciptakan suatu energi pengganti bahan bakar bensin adalah karena emisi yang dihasilkan oleh mesin berbahan bakar bensin yang masih tinggi jika dibandingkan dengan sumber polusi udara lainnya. Pada saat ini produsen mobil sedang berlomba-lomba untuk menciptakan sesuatu kendaraan yang menghasilkan emisi gas buang yang rendah. Hal ini telah dilakukan beberapa produsen kendaraan pada tahun 1950, dimana masalah emisi gas buang yang dihasilkan oleh mesin berbahan bakar minyak telah memasok sebesar 95% dari total polusi udara.

Banyak dari bahan bakar alternatif yang dapat digunakan sebagai bahan bakar pengganti bahan bakar minyak bumi tersebut memiliki harga yang mahal. Hal ini dapat sebabkan karena konsumen yang menggunakan bahan bakar alternatif yang masih sangat sedikit, sehingga harga dan distribusi yang melemah.

Alasan yang lain dengan menggunakan bahan bakar alternatif adalah distribusinya yang lambat untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Dengan cara lain apabila bahan bakar alternatif tersebut dengan mudah didapat dan memiliki harga yang terjangkau, maka pengalihan bahan bakar minyak bumi ke bahan bakar alternatif dapat tercapai.

2.2.1. Alkohol

Alkohol merupakan alternatif bahan bakar yang dapat dengan banyak dapat ditemukan dan diproduksi. Methanol (methyl alcohol) dan ethanol (ethyl alcohol) merupakan dua jenis dari alkohol yang dapat digunakan sebagai bahan bakar pengganti bensin.

- Keuntungan menggunakan alkohol sebagai bahan bakar:
 - a. Dapat dengan mudah temukan, baik dialam maupun melalui proses produksi.
 - b. Merupakan bahan bakar yang memiliki nilai oktan yang tinggi, sehingga sulit bahkan tidak dapat terjaid ketukan pada mesin. Sebagaimana diketahui bahwa mesin yang menggunakan bahan bakar dengan oktan yang lebih tinggi dapat bekerja lebih efisien dengan menggunakan rasio tekanan yang tinggi.
 - c. Memiliki kadar emisi yang lebih rendah jika dibandingkan dengan bensin.
 - d. Ketika terbakar, dapat menghasilkan tekanan dan tenaga yang lebih besar pada langkah kerja.
 - e. Dapat mendinginkan saluran masuk udara dan langkah kompresi, hal ini sebabkan karena adanya High Evaporative Cooling (hfg). Sehingga efisiensi volumetrik meningkat.
 - f. Kandungan belerang yang kecil pada bahan bakar
- Kerugian menggunakan alkohol sebagai bahan bakar:
 - a. Memiliki energy yang lebih kecil jika dibandingkan dengan bensin.
 - b. Alkohol dapat bersifat korosi pada tembaga, kuningan, aluminiu,, karet, dan beberapa plastik.
 - c. Mesin susah dihidupkan ketika berada pada suhu dingin.
 - d. Merupakan karakter pengapian yang jelek.
 - e. Dapat meningkatkan suhu pada saluran gas buang.

Ketika pengisian ulang bahan bakar dapat menyebabkan orang-orang didekatnya mengalami pusing dan sakit kepala karena efek dari uap alkohol yang terhirup.

2.2.2. Methanol

Methanol telah dianggap sebagai bahan bakar alternatif pengganti bensin dan telah dilakukan banyak penelitian serta percobaan untuk pengembangan. Methanol murni, campuran antara methanol dengan bensin pada beberapa variasi persentase telah dicoba bertahun-tahun pada mesin mobil. Yang paling umum adalah campuran antara 85% methanol dan 15% bensin. Dari test yang telah dilakukan diambil data berupa performa mesin dan emisi yang dihasilkan dari gas buang mesin tersebut.

Masalah yang dihadapi dari campuran bensin dan alkohol adalah kecenderungan alkohol untuk bergabung dengan kehadiran air, ketika ini terjadi maka alkohol akan terpisah dengan bensin dan menimbulkan campuran yang tidak homogen terjadi. Peristiwa ini dapat menyebabkan putaran mesin menjadi tidak stabil karena perbandingan udara dan bahan bakar yang berubah-ubah berbeda terlalu jauh.

Methanol dapat diperoleh dari banyak sumber, baik dari fosil dan energi yang terbarukan. Termasuk batubara, tambang minyak, gas alam, kayu, bahkan samudera. Bagaimanapun juga sumber-sumber tersebut memerlukan suatu proses yang juga membutuhkan energi.

Emisi yang dihasilkan dari mesin yang menggunakan campuran 10% methanol dan 90% bensin menghasilkan emisi yang sama dengan menggunakan bensin murni, hanya saja disini kita dapat menghemat bensin sebanyak 10%. Tetapi apabila dengan menggunakan methanol 85% dan bensin 15% dapat menurunkan emisi HC dan CO, tetapi meningkatkan emisi NO_x.

2.2.3. Ethanol

Ethanol telah digunakan pada bahan bakar kendaraan selama bertahun-tahun di negara-negara lain. Brazil merupakan salah satu negara yang menggunakannya terlebih dahulu pada tahun 1990 an, sekitar 4,5 juta kendaraannya menggunakan bahan bakar yang berbahan dasar 93% ethanol. Bahan bakar tersebut diberi nama gasohol. Di Amerika gasohol mengandung 90% bensin dan 10% ethanol. Dengan menggunakan bahan bakar dengan perbandingan tersebut tidak

perlu untuk memodifikasi mesin kendaraan untuk dapat mengkonsumsi E10 (10% ethanol dan 90% bensin).

Ethanol dapat terbuat dari ethylene atau dengan fermentasi beras dan gula. Banyak juga yang terbuat dari jagung, sugar beets, sugar cane, dan cellulose. Di amerika ethanol diproduksi dari jagung, harga dari ethanol sangat mahal untuk diproduksi dan di proses. Tetapi ethanol telah dikembangkan supaya dapat menjadi bahan bakar alternatif untuk menghemat cadangan minyak bumi. Ethanol memiliki imisi HC yang lebih sedikit daripada bensin, tetapi lebih banyak dari methanol.

2.2.4. Hydrogen

Beberapa perusahaan mobil telah berlomba-lomba membuat mobil konsep yang menggunakan bahan bakar hidrogen

- Keuntungan menggunakan hidrogen:
 - a. Emisi yang dihasilkan sangat rendah. Hal ini terjadi karena tidak ada kandungan CO dan HC pada gas buang. Sisa pembakaran akan menjadi H₂O dan N₂.
 - b. Tersedia sangat banyak di alam.
 - c. Kebocoran bahan bakar di udara aman, bukan merupakan polutan.
 - d. Memiliki energi yang besar ketika disimpan pada fase cair.
- Kerugian menggunakan hidrogen:
 - a. Memerlukan energy yang besar untuk dapat memampatkan gas hidrogen untuk dapat menjadi liquid yang akan di simpan pada tangki bahan bakar.
 - b. Susah untuk pengisian ulang bahan bakar.
 - c. Efisiensi volumetrik yang kurang bagus.
 - d. Emisi NO_x yang besar karena pembakaran pada suhu yang tinggi.
 - e. Membutuhkan teknologi yang tinggi, sehingga harganya yang mahal.
 - f. Dapat meledak.

2.2.5. Natural Gas – Methana

Gas alam merupakan komposisi yang didominasi oleh gas methane dengan sebanyak 60%-90%, sedangkan sisanya adalah kandungan hidrokarbon lainnya.

Sebagai tambahan, gas alam juga mengandung N₂, CO₂, He dan gas-gas lainnya. Gas alam disimpan sebagai CNG (Compressed Natural Gas) pada tekanan sekitar 16 – 25 MPa atau juga dapat sebagai LNG (Liquid Natural Gas) pada tekanan 70 – 210 kPa dengan temperatur sekitar -160°C. Sebagai bahan bakar, gas alam dapat dengan baik bekerja pada sistem mesin dengan satu katup kupu-kupu dengan 1 injector. Ini akan memberikan waktu untuk mencampur bahan bakar dengan udara supaya dapat menjadi campuran yang homogen.

- Keuntungan menggunakan gas alam sebagai bahan bakar:
 - a. Angka oktan yang tinggi, mencapai 120 yang akan menjadikan bahan bakar yang baik untuk mesin pembakaran dalam. Mesin dapat bekerja pada tekanan yang tinggi.
 - b. Emisi yang dihasilkan dari mesin sangat rendah.
 - c. Ketersediaan di alam sangat banyak, dapat menjadi energi alternatif yang sangat baik.
- Kerugian menggunakan gas alam sebagai bahan bakar:
 - a. Densitas energi yang kecil, menghasilkan performa mesin yang rendah.
 - b. Efisiensi volumetric yang kecil, karena merupakan bahan bakar gas.
 - c. Memerlukan tangki penyimpanan bahan bakar yang mampu untuk menahan tekanan yang sangat tinggi.
 - d. Pengisian ulang bahan bakar yang memerlukan waktu yang lama.
 - e. Properti bahan bakar yang tidak menetap.

Beberapa penggunaan gas metana adalah sebagai campuran untuk menjalankan mesin, seperti yang digunakan pada mesin diesel yang dicampur dengan menggunakan gas metana. Mesin yang menggunakan gas methane akan menghasilkan pembakaran yang bersih, dengan emisi yang dihasilkan juga rendah. Berikut adalah spesifikasi gas metana yang dijual dipasaran Indonesia:

Tabel 2.1. Spesifikasi Bahan Bakar Gas Jenis CNG Untuk Transportasi yang Dipasarkan di Dalam Negeri.

PARAMETER		SATUAN	PEMBATASAN		METODE UJI
			Minimum	Maksimum	
1.	Komponen				
	C ₁	%vol	77.0	-	GPA 2261/ISO 6974
	C ₂	%vol	-	8.0	GPA 2261/ISO 6974
	C ₃	%vol	-	4.0	GPA 2261/ISO 6974
	C ₄	%vol	-	1.0	GPA 2261/ISO 6974
	C ₅	%vol	-	1.0	GPA 2261/ISO 6974
	C ₆	%vol	-	0.5	GPA 2261/ISO 6974
	N ₂	%vol	-	3.0	GPA 2261/ISO 6974
	H ₂ S	Ppm vol	-	10	ASTM 2385/UOP212
	Hg	µg/m ³	-	100	ISO 6978
	O ₂	%vol	-	0.1	GPA 2261/ISO 6974
	H ₂ O	Lb/mm scf	-	3.0	ASTM D 1142/ISO 10101
	CO ₂	%vol	-	5.0	GPA 2261/ISO 6974
2.	Partikulat size > 10 µm	-	Free		EPA M-05
3.	Densitas Relatif ¹	-	0.560	0.850	GPA 2172/ISO 6974
4.	Nilai Kalor ¹	BTU/ft ³	960	1175	GPA 2172/ISO 6974
5.	Indeks Wobbe ¹	BTU/ft ³	1050	1313	GPA 2172/ISO 6974
6.	Odor	CNG harus berodor, kadar zat pembau terendah adalah dalam konsentrasi 20% dari batas bawah flammabilitasnya			ISO 13734/ASTM D6228

Sumber : Surat Keputusan Direktur Jendral Minyak dan Gas Bumi
 Nomor : 247.K/10/DJM.T/2011

2.2.6. Propana

Propane telah dengan cepat digunakan sebagai bahan bakar yang digunakan sebagai alternatif pengganti bahan bakar bensin. Angka oktan yang dimiliki oleh gas propane yang relatif tinggi, sehingga sangat baik digunakan untuk mesin pembakaran dalam dengan rasio kompresi yang tinggi. Emisi yang dihasilkan lebih rendah jika dibandingkan dengan bahan bakar bensin: kira-kira 60% lebih rendah kandungan CO, 30% lebih rendah kandungan HC, dan lebih rendah kandungan NO_x.

Gas propane disimpan dalam fase cair dengan tekanan, dan disalurkan dengan tekanan yang tinggi untuk masuk dalam ruang bakar. Kekurangan dari menggunakan bahan bakar ini adalah karena bentuknya gas, maka akan menghasilkan efisiensi volumetrik yang kecil.

2.3. Tingkat Emisi Bahan Bakar Fosil

Tingkat pencemaran yang dihasilkan oleh mesin yang menggunakan bahan bakar gas lebih kecil dibandingkan dengan tingkat pencemaran yang dihasilkan oleh mesin yang menggunakan bahan bakar minyak atau batubara. Kendaraan-kendaraan yang menggunakan bahan bakar gas memberikan banyak manfaat bagi masyarakat dan lingkungan (Arifin, 2009).

Selain memproduksi lebih sedikit emisi gas buang, bahan bakar yang bersumber dari gas alam juga lebih sedikit menimbulkan bahaya terhadap lingkungan bila dibandingkan dengan bahan bakar yang lainnya, karena gas alam lebih ringan yang bersifat lebih mudah melayang menuju atmosfer. Emisi utama yang dihasilkan dari sisa pembakaran atau gas buang dari mesin-mesin serta bahaya yang bisa ditimbulkan adalah sebagai berikut:

- a. Karbon monoksida (CO), karbon monoksida adalah gas yang dalam konsentrasi tinggi dapat menyebabkan sesak napas.
- b. Partikel-partikel kecil dari hasil pembakaran seperti jelaga carbon, partikel ini apabila masuk kedalam paru-paru dapat menyebabkan kerusakan paru-paru secara permanen.
- c. Nitrogen oksida (NO_x), ini adalah salah satu unsur pokok fotokimia asap / kabut. Semakin banyak NO_x yang terbuang keudara maka semakin

berkurangnya kualitas udara, karena di udara ada sejumlah besar hidrokarbon yang siap untuk bereaksi dengan NO_x membentuk asap atau kabut.

Sebagian besar polusi udara (sekitar 70%) disebabkan oleh kegiatan transportasi. Gas buiang yang dikeluarkan oleh kendaraan bermotor yang menggunakan bahan bakar minyak (BBM) rata-rata terdiri dari: 72% N_2 , 18,1% CO_2 , 8,2% H_2O , 1,2% gas argon, 1,1% O_2 dan 1,1% gas beracun yang terdiri dari 0,13% NO_x , 0,09% Hidrokarbon dan 0.9% CO .

Keunggulan BBG ditinjau dari proses pembakarannya di dalam ruang bakar adalah karena BBG memiliki perbandingan atom karbon terhadap hidrogen yang rendah, sehingga pembakaran menjadi lebih sempurna. Mengingat BBG sudah berada pada fase gas, maka dengan mudah dapat bercampur dengan udara dalam ruang bakar, sehingga oksigen dapat dengan mudah bercampur dengan udara pada ruang bakar, sehingga oksigen dapat dengan mudah bergabung dengan karbon dan memberikan reaksi pembentukan CO_2 bukan CO . Disamping itu karena jumlah atom karbon molekul BBG lebih sedikit jika dibandingkan dengan BBM, maka CO yang terbentuk dari proses pembakaran juga lebih sedikit sehingga ramah lingkungan.

2.4. Sistem Pemasukkan Bahan Bakar

Ada 2 macam cara untuk memasukkan dan mencampurkan bahan bakar dengan udara sehingga campuran tersebut dapat terbakar didalam ruang bakar. Cara yang paling muhtakhir saat ini ada sistem injeksi dan sistem konvensional dahulunya menggunakan karburator.

2.4.1. Injektor Bahan Bakar

Injektor bahan bakar adalah sebenarnya *nozzel* yang menyembrotkan bahan bakar kedalam sistem pemasukan udara. Pada umumnya dikontrol secara elektronik, tetapi terdapat pula injektor bahan bakar yang dioperasikan secara mekanik.

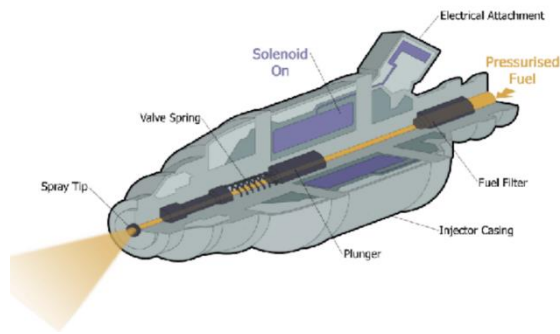
Pada mesin-mesin yang modern seperti yang ada pada jaman sekarang ini memiliki sistem *multipoint injection*, dimana injektor berjumlah sebanyak adri jumlah silinder yang dimiliki oleh mesin. Tipe ini injektor akan menyembrotkan

bahan bakar di belakang dari katup masuk. Dengan cara ini maka akan tercapai campuran yang homogen antara udara dan bahan bakar, disamping itu juga terdapat alasan untuk mendinginkan suhu dari katup masuk. Waktu penyemprotan bahan bakar biasanya beberapa mili detik sebelum katup masuk terbuka.

Dengan sistem satu injektor untuk satu silinder, akan memberikan pemasukan bahan bakar yang sesuai dan itu akan terjadi secara konstan. Bahkan dengan menggunakan kontrol yang sempurna dari aliran bahan bakar, tapi akan terjadi sesuatu ketidaksempurnaan dari aliran udara karena dari langkah kelangkah dan dari silinder yang satu dengan silinder yang lainnya memiliki putaran berbeda-beda. Teknologi dengan *multipoint injection* akan memberikan perbandingan udara bahan bakar yang bagus dibandingkan dengan karburator dan tipe peletakan injektor lainnya.

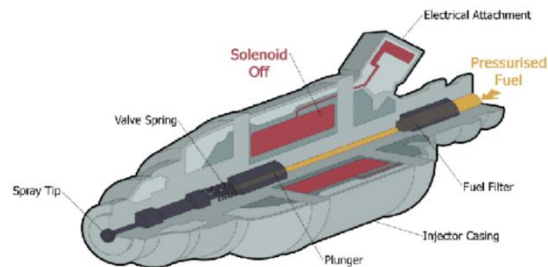
Sistem pemasukan udara dengan menggunakan *multipoint injection* dapat meningkatkan efisiensi volumetrik, karena tidak adanya venturi yang dapat menciptakan turunnya tekanan seperti yang terjadi pada sistem karburator.

Beberapa sistem memiliki satu pompa bahan bakar yang akan memenuhi kebutuhan dari semua silinder. Bahan bakar dapat dipenuhi kebutuhannya pada tekanan yang tinggi dengan injektor sebagai alat ukur. Beberapa sistem menyediakan bahan bakar dengan tekanan yang rendah, kemudian injektor juga akan memberikan tekanan yang lebih sehingga terjadi tekanan yang tinggi. Jumlah bahan bakar yang akan diinjeksikan pada ruang bakar dan tekanan injektor akan dikontrol oleh ECU. Tekanan injeksi pada umumnya memerlukan tekanan 200 sampai 300 kPa absolut, tapi juga mungkin lebih tinggi. Mesin dengan kondisi beroperasi dan semua informasi mesin berasal dari sensor pada mesin dan sistem gas buang yang digunakan secara terus menerus untuk memberikan data masukkan untuk mengatur campuran udara dan bahan bakar yang sesuai.



Gambar 2.5. Injektor Mesin Bensin saat Membuka.

Sumber : <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Injector3.gif>



Gambar 2.6. Injektor Mesin Bensin saat Menutup.

Sumber : <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Injector3.gif>

Jumlah bahan bakar yang diinjeksikan untuk setiap putaran dapat diatur dengan waktu penginjeksian yang berkisar antara 1.5 sampai 10 ms. Ini terkait dari putaran mesin dari 1000 sampai 3000, tergantung dari kondisi kerja mesin. Durasi dari injeksi ditentukan dari informasi yang akan disampaikan oleh sensor-sensor yang berkaitan dengan kerja mesin dan sistem gas buang. Termasuk menghitung jumlah oksigen yang terdapat pada pipa gas buang. Parameter yang lainnya termasuk kecepatan putar mesin, temperatur, jumlah udara yang masuk, dan posisi dari throttle. Mesin akan menyala dengan campuran udara dan bahan bakar yang lebih kaya perlu ditentukan dari suhu pendingin mesin.

Tersedia banyak variasi dari injektor bahan bakar. Banyak dari injektor yang dioperasikan dengan sebagian kecil dari bahan bakar yang terperangkap di belakang dari nozzle. Nozzelnnya tertutup oleh jarum yang tersusun dari dudukan

pegas atau gaya magnetik. Pada *nozzel* dengan tekanan yang rendah, injeksi akan ditingkatkan dengan menekan valve membuka, dan aliran bahan bakar keluar dari injektor. Pada *nozzel* dengan tekanan yang tinggi, aliran bahan bakar dimulai dengan mengangkat jarum keluar dari dudukkannya yang digerakkan dengan menggunakan bantuan solenoid. Durasi penyemprotan dan tekanannya untuk *nozzel* dengan tekanan akan diatur secara elektronik oleh ECU.

Tekanan injektor yang diijinkan berkisar antara 28 – 72,5 psi. Apabila injektor menerima tekanan yang terlalu kecil, maka pada putaran atas, mesin akan kekurangan pasokan bahan bakar. Sebaliknya tekanan maksimal yang direkomendasikan untuk injektor yang berada diluar ruang bakar adalah 72,5 psi. Apabila tekanan yang lebih besar diberikan terhadap injektor maka, eletromagnet yang terdapat didalam injektor akan terganggu dengan aliran bertekanan dari bahan bakar yang dapat menyebabkan injektor sulit untuk membuka atau menutup.

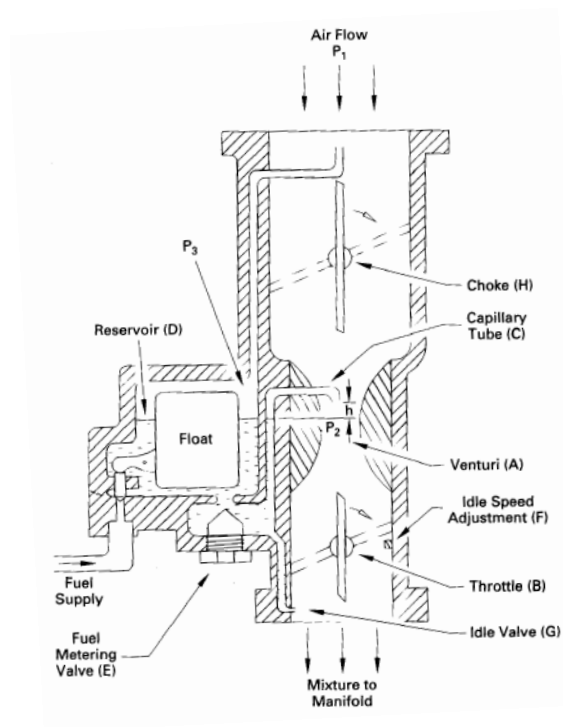
2.4.2. Karburator

Untuk beberapa puluh tahun lalu, karburator telah digunakan pada mesin pembakaran dalam yang menggunakan pematik busi untuk memasukkan dan mencampur bahan bakar secara homogen sebelum masuk kedalam ruang bakar. Setelah sekitar tahun 1980, ketika sistem injeksi bahan bakar telah ditemukan dan telah banyak digunakan untuk menggantikan fungsi dari karburator. Tapi kita masih banyak mendapati bahwa ada sebagian mesin yang menggunakan sistem karburator, dengan menggunakan karburator maka produsen dapat menekan biaya yang dikeluarkan. Tidak hanya disitu, tapi juga perawatan dan mekanismenya yang lebih sederhana jika dibandingkan dengan menggunakan sistem injeksi dengan begitu banyak sensor yang menunjang kerja dari injektor tersebut. Sistem injeksi bahan bakar telah menggantikan sistem karburator karena alasan polusi udara dan ada hukum yang mengaturnya.

Pada gambar 2.7. Prinsip kerja dari karburator adalah pipa venturi (A) yang terpasang pada katub kupu-kupu (B) dan pipa kapiler untuk masuknya bahan bakar (C). Biasanya terpasang secara vertikal dari saluran intake, dimana udara akan tersedot kedalam mesin dengan membawa bahan bakar. Udara yang akan melalui pipa venturi perlu untuk disaring sebelumnya. Komponen lainnya dari

karburator adalah tandon bahan bakar (D), jarum utama (E), dan pengaturan untuk kecepatan idle (F), katup idle (G), dan choke (H).

Karena udara memasuki mesin akibat adanya perbedaan tekanan diantara udara sekitar dengan udara vakum terjadi pada dalam silinder selama langkah pemasukkan udara dan bahan bakar. Dengan menggunakan prinsip dari Hukum Bernoulli, ini menyebabkan tekanan pada P_2 akan lebih kecil dari tekanan atmosfer P_i . Tekanan yang dimiliki oleh bahan bakar yang terdapat pada tandon bahan bakar akan sama dengan tekanan atmosfer ($P_3 = P_i > P_2$). Dengan adanya perbedaan tekanan ini yang melalui pipa kapiler akan menyebabkan gaya untuk mengalirkan bahan bakar kedalam lubang venturi. Karena bahan bakar yang keluar dari ujung pipa kapiler maka itu akan menjadi butiran kecil yang akan terbawa oleh aliran udara dengan kecepatan yang tinggi.



Gambar 2.7. Desain Dasar Sistem Karburator Motor 4 Tak.

Sumber: Pulkrabek, Wilard W., Engineering Fundamentals Of The Internal Combustion Engine, 1997, Prentice Hall

Ketinggian jumlah bahan bakar yang memasuki penampungan bahan bakar akan diatur oleh pelampung yang dapat menutup aliran. Bahan bakar yang masuk akan disediakan oleh pompa bahan bakar pada kebanyakan mobil modern,

dan pada mobil lama biasanya menggunakan pompa yang digerakan secara mekanik, atau bahkan dengan menggunakan gravitasi yang seperti digunakan pada sepeda motor umumnya.

2.5. *Flammability Limits*

Melalui sebuah percobaan yang dilakukan bahwa api akan mengembang pada antara campuran udara dan bahan bakar tertentu, biasanya campuran ini dinyatakan dalam persen volume bahan bakar. Dimana campuran ini biasanya disebut *lower flammability* dan *upper flammability*. Batas bahwa dapat diartikan bahwa itu adalah campuran miskin ($\Phi < 1$) yang akan memberikan pengembangan api yang kuat. Dan batas bawah dapat diartikan sebagai campuran yang kaya ($\Phi > 1$).

Tabel 2.2. Tabel *Flammability Limits* dari Berbagai Macam Bahan Bakar.

Gas	LEL	UEL			
Acetone	2.6	13.0	Cyclohexane	1.3	7.8
Acetylene	2.5	100.0	Cyclopropane	2.4	10.4
Acrylonitrile	3.0	17.0	Deuterium	4.9	75.0
Allene	1.5	11.5	Diborane	0.8	88.0
Ammonia	15.0	28.0	Dichlorosilane	4.1	98.8
Benzene	1.3	7.9	Diethylbenzene	0.8	-
1,3-Butadiene	2.0	12.0	Heptane	1.1	6.7
Butane	1.8	8.4	Hexane	1.2	7.4
n-Butanol	1.7	12.0	Hydrogen	4.0	75.0
1-Butene	1.6	10.0	Hydrogen Cyanide	5.6	40.0
Cis-2-Butene	1.7	9.7	Hydrogen Sulfide	4.0	44.0
Trans-2-Butene	1.7	9.7	Isobutane	1.8	8.4
Butyl Acetate	1.4	8.0	Isobutylene	1.8	9.6
Carbon Monoxide	12.5	74.0	Isopropanol	2.2	-
Cabonyl Sulfide	12.0	29.0	Methane	5.0	15.0
Chlorotrifluoroethylene	8.4	38.7	Methanol	6.7	36.0
Cumene	0.9	6.5	Methylacetylene	1.7	11.7
Cyanogen	6.6	32.0	Metyl Bromide	10.0	15.0
			3-Methyl-1-Butene	1.5	9.1

Methyl Cellosolve	2.5	20.0
Methyl Chloride	7.0	17.4
Methyl Ethyl Ketone	1.9	10.0
Methyl Mercaptan	3.9	21.8
Methyl Vinyl Ether	2.6	39.0
Monoethylamine	3.5	14.0
Monomethylamine	4.9	20.7
Nickel Carbonyl	2.0	-
Pentane	1.4	7.8
Picoline	1.4	-
Propane	2.1	9.5
1,1-Difluoro-1-Chloroethane	9.0	14.8
1,1-Difluoroethane	5.1	17.1
1,1-Difluoroethylane	5.5	21.3
Dimethylamine	2.8	14.4
Dimethyl Ether	3.4	27.0
2,2-Dimethylpropane	1.4	7.5
Ethane	3.0	12.4
Ethanol	3.3	19.0
Ethyl Acetate	2.2	11.0

Ethyl Benzene	1.0	6.7
Ethyl Chloride	3.8	15.4
Ethylene	2.7	36.0
Ethylene Oxide	3.6	100.0
Gasoline	1.2	7.1
Propylene	2.4	11.0
Propylene Oxide	2.8	37.0
Styrene	1.1	-
Tetrafluoroethylene	4.0	43.0
Tetrahydrofuran	2.0	-
Toluene	1.2	7.1
Trichloroethylene	12.0	40.0
Trimethylamine	2.0	12.0
Turpentine	0.7	-
Vinyl Acetate	2.6	-
Vinyl Bromide	9.0	14.0
Vinyl Chloride	4.0	22.0
Vinyl Fluoride	2.6	21.7
Xylene	1.1	6.6

Semua konsentrasi dalam persen volume.

Sumber : Yaws, C. (2001). *Matheson GAS DATA BOOK* (7 ed.)

2.6. Sensor-sensor pada Sepeda Motor Mio J

2.6.1. Sensor CKP (*Crankshaft Position*)

Sensor CKP berfungsi untuk mendeteksi keberadaan poros engkol, dimana sensor ini akan selalu mengirimkan sinyal kepada ECU, kemudian ECU menentukan kapan waktu pengapian dan kapan waktu bahan bakar di injeksikan melalui injektor. Kerusakan pada sensor ini akan membuat mesin tidak dapat dihidupkan. Cara kerjanya dengan menggunakan aliran medan magnet yang berubah-ubah kekuatan medan magnetnya.

2.6.2. Sensor MAF (*Mass Air Flow*)

Sensor ini berfungsi untuk mendeteksi seberapa banyak udara yang masuk kedalam *intake manifold*. Ada beberapa mesin yang menyebutnya sebagai air flow meter. Semakin banyak udara yang masuk maka akan diperlukan bahan bakar yang sesuai untuk menciptakan rasio udara-bahan bakar yang mendekati stoikiometri. Sensor ini akan mengirimkan sinyal ke ECU, dimana semakin besar sinyal yang dihasilkan oleh sensor ini berarti massa udara yang masuk dalam *intake manifold* banyak.

2.6.3. Sensor IAT (*Intake Air Temperature*)

Berfungsi sebagai pendeteksi suhu udara yang masuk melalui intake manifold. Semakin dingin udara yang masuk kedalam intake manifold dapat diartikan dengan jumlah oksigen yang terkandung dalam udara tinggi, sehingga perlu bahan bakar yang lebih banyak untuk menghasilkan rasio udara-bahan bakar yang mendekati stokiometri.

2.6.4. Sensor TP (*Throttle Position*)

Berfungsi sebagai pendeteksi sudut pembukaan *throttle* saat akselerasi dilakukan, kemudian mengirimkan sinyal kepada ECU untuk mengatur seberapa lama *gate valve injector* akan membuka. Kerusakan pada sensor ini mesin masih bisa menyala, tetapi tidak bisa stabil, dan akselerasi kurang responsif.

2.6.5. Sensor O₂

Sensor ini berfungsi untuk memaksimalkan rasio udara-bahan bakar harus sedekat mungkin dengan rasio teoritis. Oxygen sensor mendeteksi apakah konsentrasi oksigen pada gas buangan banyak atau sedikit dari rasio teoritis. Sensor dipasang di exhaust manifold. Sensor ini mengandung elemen yang terbuat dari Zirkonum Oksida (ZrO₂), yang merupakan sejenis keramik. Bagian dalam dan luar elemen ini dilapisi lapisan tipis platinum. Udara disekitar diarahkan ke dalam sensor dan bagian luar sensor dipaparkan ke gas buangan. Pada suhu 400⁰C atau lebih, elemen Zirkonium menghasilkan tegangan akibat perbedaan konsentrasi oksigen di dalam dan di luar elemen Zirkonium. Sebagai tambahan, platinum bertindak sebagai katalis untuk menghasilkan reaksi kimia antara oksigen dan karbon monoksida (CO) dalam gas buangan. Ini mengurangi jumlah oksigen dan meningkatkan sensitivitas sensor. Saat campuran udara-bahan bakar miskin,

terdapat banyak oksigen di gas buangan, dan ada sedikit perbedaan konsentrasi oksigen di luar dan di dalam elemen Zirkonium. Berdasarkan sinyal output oleh sensor oksigen, ECU mesin menaikkan atau menurunkan volume injeksi bahan bakar agar rasio udara-bahan bakar rata-rata dekat dengan rasio teoritis.

2.6.6. Sensor EOT (*Engine Oil Temperature*)

Sensor ini bekerja sebagai pendeteksi suhu mesin. Dimana pada saat mesin ketika dingin, maka campuran udara-bahan bakar akan diperbanyak sampai suhu kerja mesin optimal. Pada beberapa kendaraan, sensor ini juga digunakan sebagai input untuk menggerakkan kipas pendingin radiator.

2.6.7. Sensor IACV (*Idle Air Control Valve*)

Idle speed control difungsikan untuk mengatur besarnya aliran udara yang diberikan pada saat putaran *idle*. Biasanya putaran *idle* yang diperlukan oleh sepeda motor berkisar antara 1400-1600 RPM. *Idle speed control* dipasangkan pada sisi bagian bawah *throttle chamber*. ECU hanya mengoperasikan katup ISC untuk membuat *idle-up* dan memberikan umpan balik untuk mencapai target putaran *idling*.

2.7. Dinamometer

Dinamometer, atau disingkat menjadi “dyno”, adalah alat yang digunakan untuk mengukur torsi dan kecepatan torsi dan kecepatan rotasi (rpm), dimana tenaga yang berasal dari mesin, motor atau penggerak lainnya, dapat diperhitungkan.

Dinamometer dapat juga digunakan untuk mengetahui torsi dan daya yang dibutuhkan untuk mengoperasikan sebuah mesin (driven), seperti pompa. Dalam hal ini maka yang dipakai adalah dinamometer dengan penggerak, seperti motor. Dinamometer yang dirancang untuk digerakkan (driven) disebut absorption dinamometer. Dinamometer yang dapat menggerakkan dan digerakkan disebut universal dinamometer.

Dinamometer absorpsi bertindak sebagai beban yang digerakkan oleh sebuah penggerak yang sedang diuji. Dyno harus dapat beroperasi dalam kecepatan apapun, dan membebani penggerak pada torsi yang dibutuhkan dalam pengujian. Sebuah dynamometer biasanya dilengkapi oleh pengukur torsi dan kecepatan yang sedang beroperasi.

Dinamometer harus menyerap (absorb) daya yang dikembangkan oleh penggerak. Daya yang diserap haruslah dipindahkan pada udara atau pada cairan pendingin. Dinamometer regeneratif memindahkan daya pada jaringan listrik (electrical power line).

Dinamometer dapat dilengkapi dengan berbagai alat kontrol. Jika dinamometer memiliki regulator torsi, ia akan beroperasi pada torsi yang ditentukan meskipun penggerak beroperasi pada kecepatan yang mampu dicapai dan tetap berjalan pada torsi yang telah ditentukan.

Dinamometer motor berperan sebagai motor yang menggerakkan alat yang sedang diuji. Ia harus dapat menggerakkan alat itu pada kecepatan apapun dan bekerja pada tingkat torsi yang dibutuhkan pada pengujian.

Dinamometer terdiri dari unit absorpsi, yang dapat mengukur torsi dan kecepatan putar. Unit absorpsi terdiri dari semacam rotor dalam sebuah tempat (*housing*). Rotor dipasangkan pada mesin atau alat lain yang hendak diuji, dan dapat berputar bebas pada kecepatan yang dibutuhkan untuk pengujian. Beberapa dimaksudkan untuk menciptakan torsi pengereman diantara rotor dinamometer dengan *housing*. Torsi yang diukur dapat berupa gesekan, hidrolik, elektromagnetik, dan sebagainya sesuai tipe absorpsi.

Salah satu cara untuk mengukur torsi adalah dengan memasang *housing* dinamometer sehingga ia dapat berputar bebas kecuali ditahan oleh lengan torsi (*torque arm*). *Housing* dapat dibuat bebas berputar dengan memakai *trunnions*, dihubungkan pada *housing* *dyno* dan juga pengukur beban (*weighting scale*) sehingga dapat mengukur gaya yang dihasilkan *housing* *dyno* saat berusaha berputar. Torsi adalah gaya yang ditunjukkan oleh pengukur dikalikan dengan panjang lengan torsi, yang diukur dari tengah dinamometer. Sebuah transducer sel beban dapat dipasang untuk menghentikan pengukur, sehingga didapatkan signal elektrik yang sesuai dengan torsi.

Cara lain untuk mengukur torsi adalah dengan menghubungkan mesin dengan dinamometer melalui kopling pengukur torsi (*torque sensing coupling*) atau transducer torsi.

Dengan unit absorpsi elektrik, dapat dimungkinkan untuk mengetahui torsi, dengan mengukur arus yang didapat (atau dihasilkan) oleh *absorber*/penggerak. Hal ini umumnya kurang akurat, namun dapat dipakai untuk tujuan tertentu.

Berbagai jenis *tachometer* dapat dipakai untuk mengukur kecepatan. Berbagai jenis dapat menghasilkan signal elektrik yang sesuai dengan kecepatan. Saat sinyal torsi dan kecepatan didapatkan, data pengujian dapat dikirim pada sistem pengolah data, daripada dicatat secara manual. Sinyal itu juga dapat direkam oleh perekam grafik atau *plotter*.

Selain diklasifikasikan sebagai absorpsi, motoring, atau universal, dinamometer dapat diklasifikasikan dengan cara lainnya. Sebuah *dyno* yang dipasangkan langsung dengan mesin, dapat disebut *engine dyno*. Sebuah *dyno* yang mengukur torsi yang daya yang dihasilkan oleh kendaraan tanpa mengeluarkan mesin dari sasis kendaraan, yang dikenal dengan *chassis dyno*.

Dinamometer dapat juga diklasifikasikan oleh jenis unit absorpsi atau *absorber*/penggerak yang dipakai. Beberapa unit yang hanya mampu absorpsi, dapat dikombinasi dengan motor, untuk membentuk sebuah *absorber*/penggerak atau dinamometer *universal*.

Jenis unit absorpsi/penggerak:

- *Water brake* (hanya absorpsi)
- *Fan brake* (hanya absorpsi)
- *Electrical motor/generator* (absorpsi/penggerak)
- *Mechanical friction brake* atau *prony brake* (hanya absorpsi)
- *Hydraulic brake* (hanya absorpsi)
- *Eddy current* atau *electromagnetic brake* (hanya absorpsi).