

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Purba (2009) melakukan penelitian yang membandingkan kinerja motor bensin 4 langkah dengan menggunakan bahan bakar bensin dan biogas dan dihasilkan kesimpulan bahwa biogas memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap kinerja motor bensin 4 langkah dan efisiensi pembakaran biogas yang lebih baik dibandingkan bensin.

Maarif dan Januar (2008) meneliti tentang absorpsi gas karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) dalam biogas dengan larutan NaOH secara kontinyu. Dari hasil pengujian didapatkan kesimpulan semakin besar laju alir NaOH,  $\text{CO}_2$  yang terserap dan  $\text{CH}_4$  yang termurnikan semakin kecil. Hal ini dikarenakan semakin besar laju alir NaOH, waktu kontak antara NaOH dengan  $\text{CO}_2$  untuk jumlah molekul yang sama akan semakin kecil. Waktu kontak yang singkat ini menyebabkan transfer massa yang terjadi lebih sedikit sehingga jumlah  $\text{CO}_2$  yang terserap dan  $\text{CH}_4$  yang dihasilkan lebih sedikit. Laju alir yang digunakan adalah 1,12 ml/s; 2,75 ml/s; 4,25 ml/s; 5,67 ml/s; 7,625 ml/s.

Wira (2009) melakukan penelitian dengan objek membandingkan kinerja motor bensin 4 langkah berbahan bakar biogas dengan memfariasikan sudut pengapian (*Ignition engine*). Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa sudut pengapian 39 sebelum TMA merupakan sudut pengapian yang optimal untuk bahan bakar biogas. Hal ini dilihat dari peningkatan kinerja dan berkurangnya kadar emisi gas buang (CO).

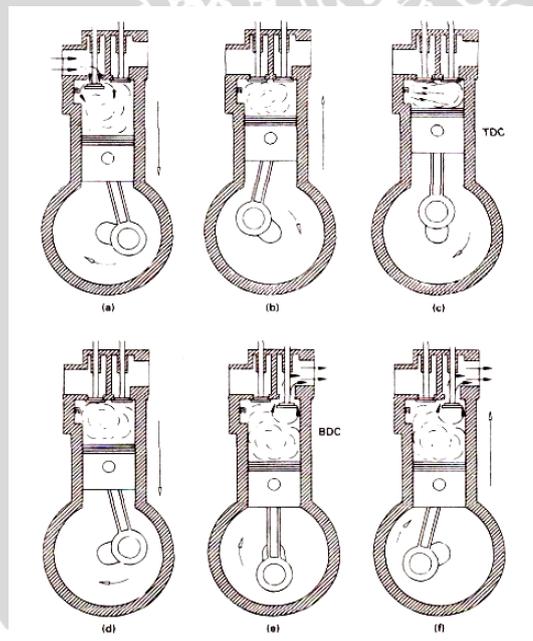
Penelitian ini menggunakan motor bensin 4 langkah yang dengan bahan bakar biogas sehingga dimodifikasidengan menambahkan alat tambahan yaitu *purifier* sebagai tempat pemurnian biogas dengan larutan NaOH sebagai pemurni biogas dimana diharapkan akan meningkatkan kinerja motor bensin 4 langkah dan mengurangi emisi gas buang. Hal ini disebabkan oleh semakin besar penambahan konsentrasi NaOH pada purifier, kereaktifan NaOH semakin besar dan akan meningkatkan pengikatan gas CO pada biogas agar kinerja motor bensin meningkat. Penambahan konsentrasi NaOH yang digunakan adalah 10 M, 15 M dan 20 M dengan laju alir yang digunakan 0,14 ml/s.

## 2.2 Motor Bensin

Motor bensin adalah salah satu jenis motor bakar yang dalam sistem penyalaaan bahan bakarnya menggunakan loncatan api listrik di antara kedua elektrode busi, karena itu motor bensin disebut juga *Spark Ignition Engines*. Motor bensin merupakan mesin kalor dengan pembakaran dalam, yaitu mesin yang menggunakan energi termal untuk melakukan kerja mekanik, atau mengubah energi termal menjadi energi mekanik. Disebut mesin pembakaran dalam karena proses pembakarannya berlangsung di dalam motor bakar itu sendiri sehingga gas pembakaran yang terjadi sekaligus berfungsi sebagai fluida kerja.

### 2.2.1 Siklus Kerja Motor Bensin Empat Langkah (Siklus Ideal)

Siklus kerja motor bensin empat langkah adalah dalam dua kali putaran poros engkol menghasilkan satu kali kerja (Pulkrabek, 1997: 26) dan dalam dua kali putaran poros engkol tersebut terjadi beberapa langkah kerja seperti yang terlihat pada gambar 2.1 yaitu:



Gambar 2.1 : Siklus Kerja Motor Bensin Empat Langkah  
Sumber : Pulkrabek (1997: 26)

#### a). Langkah Isap

Langkah isap merupakan proses dimana campuran udara dan bahan masuk kedalam silinder melalui katup isap, keadaan ini terjadi karena tekanan di dalam silinder lebih rendah dari tekanan atmosfer yang diakibatkan langkah torak. Pada

proses langkah hisap torak bergerak dari TMA (Titik Mati Atas) menuju TMB (Titik Mati Bawah), dimana katup isap dalam keadaan terbuka, katup buang dalam keadaan tertutup.

b). Langkah Kompresi

Langkah dari torak yang bergerak dari TMB menuju TMA, dalam keadaan katup isap dan buang dalam keadaan tertutup, campuran udara dan bahan bakar yang ada dalam silinder dikompresikan, dan pada saat torak hendak mengakhiri langkah kompresinya diberikan loncatan bunga api listrik pada busi yang berada di ruang bakar, campuran terbakar dan terjadilah peningkatan tekanan yang sangat tinggi.

c). Proses Pembakaran

Pembakaran campuran udara bahan bakar berlangsung dalam waktu yang cepat sesaat mendekati TMA (berlangsung dalam proses yang mendekati proses volume konstan). Pembakaran yang berlangsung di akhir langkah kompresi akan mendorong torak dari TMA ke TMB.

d). Langkah Kerja

Langkah dari torak dari TMA ke TMB akibat adanya tekanan yang tinggi yang ditimbulkan oleh proses pembakaran dalam silinder. Pada langkah ini dihasilkan kerja untuk ditransfer ke poros engkol.

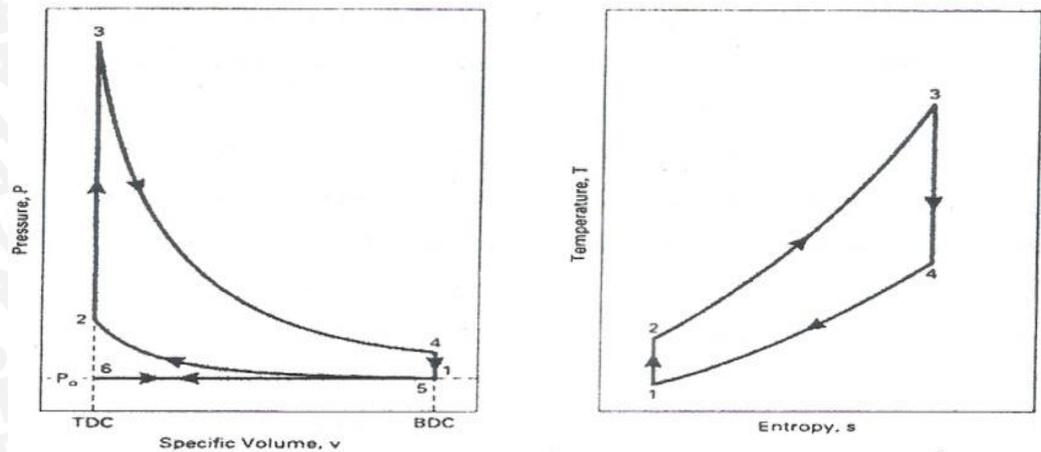
e). *Exhaust Blowdown*

Di akhir langkah kerja, sebelum torak mencapai TMB, katup buang telah mulai terbuka sedang katup isap masih dalam keadaan tertutup, sehingga terjadi yang disebut *exhaust blowdown*. Tekanan dan temperatur dalam silinder masih relatif tinggi di kondisi ini, sehingga menyebabkan perbedaan tekanan dan temperatur antara sisi dalam silinder dan saluran buang.

f). Langkah Buang

Langkah saat torak mencapai TMA kembali. Gerakan torak ini mendorong gas buang keluar silinder melalui katup buang pada tekanan yang mendekati tekanan atmosfer.

Adapun dari langkah kerja yang telah dijelaskan di atas, apabila digambarkan dalam bentuk diagram P-v dan T- s dapat dilihat pada gambar 2.2



(a)

(b)

Gambar 2.2 : a. Diagram P - v Siklus Volume Konstan  
 b. Diagram T - s Siklus Volume Konstan  
 Sumber :Pulkrabek (1997: 75)

Keterangan mengenai proses siklus volume konstan adalah sebagai berikut:

- 1) 0-1 adalah langkah isap yang terjadi pada tekanan konstan (*isobaric*) dan temperatur konstan (*isotermik*).
- 2) 1-2 adalah proses kompresi pada entropi konstan (*isentropic*). Pada proses 1-2 terjadi penyalaan oleh busi untuk melakukan pembakaran.
- 3) 2-3 adalah proses pemasukan kalor pada volume konstan (*isokhorik*).
- 4) 3-4 adalah langkah kerja/ekspansi yang terjadi secara *isentropic*.
- 5) 4-1 adalah proses pengeluaran kalor pada volume konstan (*isokhorik*).
- 6) 1-0 adalah pengeluaran sisa kalor pada tekanan konstan (*isobaric*) dan temperatur konstan (*isotermik*).

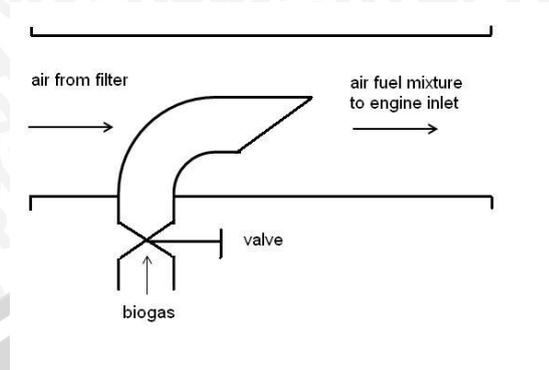
### 2.2.2 Modifikasi Motor Bensin 4 Langkah Dengan Bahan Bakar Biogas.

Menurut Mitzlaff (1988: 64), motor bensin empat langkah dapat dimodifikasi agar bisa digunakan dengan bahan bakar biogas. Modifikasinya adalah dengan menambahkan alat-alat sebagai berikut:

1. Penambahan *mixer*

Modifikasi dasar yang diperlukan agar motor bensin dapat beroperasi dengan bahan bakar gas adalah dengan menambahkan *mixer* yang berfungsi

sebagai tempat pencampuran bahan bakar gas dan udara. Gambar berikut contoh tampilan mixer sederhana.



Gambar 2.3 *T-joint mixer*

## 2. Perubahan Waktu Pengapian

Karena kecepatan pembakaran biogas yang lebih lambat jika dibandingkan dengan bensin, maka waktu pengapian perlu diatur untuk mendapatkan hasil yang optimal.

### 2.2.3 Waktu Pengapian

Pengertian waktu pengapian adalah waktu terjadinya loncatan bunga api pada busi saat akhir langkah kompresi, sehingga terjadi pembakaran di ruang bakar. Waktu pengapian dinyatakan dengan sudut yang merupakan perbandingan posisi piston saat terjadi loncatan bunga api pada busi dengan posisi paling atas yang dicapai piston (TMA). Saat posisi piston berada di TMA merupakan sudut  $0^\circ$  waktu pengapian. Bila waktu pengapian terjadi sebelum piston mencapai TMA, sudut pengapian dinyatakan positif. Begitu pula sebaliknya dinyatakan negatif bila posisi piston telah melewati TMA.

Penentuan waktu pengapian yang tepat tergantung pada bahan bakar, kecepatan dan beban mesin. Supaya dihasilkan tenaga motor yang optimal maka untuk nilai oktan bahan bakar yang tinggi, sudut pengapiannya harus diubah menjadi lebih besar begitu pula sebaliknya untuk nilai oktan rendah. Bila waktu pembakaran bahan bakar yang masuk konstan dan perbandingan campuran bahan bakar konstan maka waktu pengapian harus dimajukan sesuai dengan kenaikan kecepatan mesin. (Yusuf, 2010:2)

### 2.3 Parameter Kinerja Motor Bensin

Karakteristik suatu mesin dapat diketahui melalui parameter-parameter kinerjanya (*performance*), sehingga akan dapat ditentukan bagaimana keadaan yang paling ideal. Dengan diketahuinya keadaan paling ideal tersebut pemakaian mesin dapat seefisien mungkin. Beberapa parameter kinerja yang akan dicari pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. Torsi (T)

Besarnya torsi ialah hasil kali panjang lengan torsi dengan beban yang ditunjukkan oleh *Dynamometer Prony Brake*, menurut persamaan berikut :

$$T = F \cdot L \quad (\text{Bueche, 1988: 16}) \quad (2-1)$$

Dengan :

T = torsi yang dihasilkan (kg.m)

F = besarnya beban pada timbangan (kg)

L = panjang lengan *dynamometer* (m)

b. Daya Efektif / Daya Poros (Ne)

Daya efektif adalah daya yang dihasilkan poros engkol yang digunakan untuk menggerakkan beban luar. Daya efektif (Ne) dapat dihitung dengan memakai persamaan :

$$Ne = T \cdot \omega = \frac{T \cdot 2 \cdot \pi \cdot n}{60 \cdot 75} = \frac{T \cdot n}{716,2} \quad (\text{Petrovsky, 1968: 99}) \quad (2-2)$$

Dengan :

Ne = daya efektif (HP)

T = torsi (kgm)

$\omega$  = kecepatan anguler poros engkol (rad/s)

n = putaran poros engkol (rpm)

c. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif (SFCe)

Konsumsi bahan bakar spesifik efektif (*Effective Specific Fuel Consumption*) adalah banyaknya bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan daya efektif 1 HP selama 1 jam. Nilai konsumsi bahan bakar spesifik (SFCe) didapatkan dari nilai konsumsi bahan bakar dan daya efektif yang telah diperoleh. Nilai ini didapatkan dengan rumusan sebagai berikut :

$$SFCe = \frac{FC}{Ne} \quad (\text{Petrovsky, 1968: 63}) \quad (2-3)$$

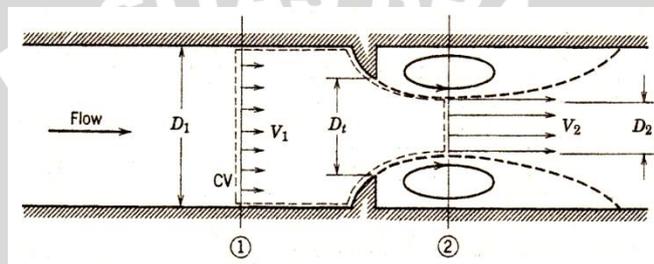
Dengan :

SFCe = konsumsi bahan bakar spesifik efektif (kg/HP.jam)

FC = penggunaan bahan bakar tiap jam (kg/jam)

Ne = daya efektif (HP)

Apabila bahan bakar yang digunakan berupa gas, maka untuk mengetahui konsumsi bahan bakar (FC) diperoleh dengan cara mengukur beda tekanan pada saluran orifice yang terukur pada manometer U. Beda tekanan ini kemudian dikonversikan menjadi massa alir dengan mengaplikasikan persamaan kontinuitas dan bernoulli berdasarkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Pengukuran beda tekanan pada *orifice*.  
Sumber: Fox (1994: 360)

$$\dot{m}_{\text{actual}} = \frac{C \times A_t}{1 - \beta^4} \sqrt{2 \rho \Delta P} \quad (\text{Fox, 1994: 362}) \quad (2-4)$$

Dimana : C = *discharghe coeficient*

$$\beta = \frac{D_t}{D_1}$$

$$A_t = \frac{1}{4} \pi \cdot D_t^2$$

$$\Delta P = \rho g \Delta h$$

Sehingga : (FC) =  $\dot{m}_{\text{actual}} \times 3600$

#### d. Efisiensi Termal Efektif ( $\eta_e$ )

Efisiensi termal efektif dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\eta_e = \frac{632 \cdot N_e}{FC \cdot Q_1} = \frac{632}{FC \cdot N_e \cdot Q_1} = \frac{632}{SFCe \cdot Q_1} \quad (\text{Petrovsky, 1968: 62}) \quad (2-5)$$

Dengan :

$\eta_e$  = efisiensi termal efektif

$Q_1$  = nilai kalor bahan bakar (kcal/kg)

SFCe = konsumsi bahan bakar spesifik efektif (kg/HP.jam)

e. Karbon Monoksida

Karbon monoksida (CO) adalah gas sedikit lebih ringan dari udara. Karbon monoksida dihasilkan dari oksidasi parsial karbon - mengandung senyawa, melainkan terbentuk ketika tidak ada cukup oksigen untuk menghasilkan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), seperti saat mengoperasikan kompor atau mesin pembakaran internal dalam ruang tertutup. Dengan adanya oksigen, karbon monoksida membakar dengan nyala biru, menghasilkan karbon dioksida. Unsur gas karbon monoksida (CO) berpengaruh bagi kesehatan makhluk hidup perlu mendapat kajian khusus, karena karbonmonoksida yang hanya sebesar 0,3% saja dari hasil pembakaran bersifat racun bagi darah manusia pada saat pernafasan, sebagai akibat berkurangnya oksigen pada jaringan darah. Kadar karbonmonoksida maksimal pada emisi gas buang yang diizinkan adalah 4,5%. (Peraturan menteri negara lingkungan hidup no. 5 tahun 2006).

f. Hidrokarbon (HC)

Hidrokarbon (HC) merupakan gas yang tidak begitu merugikan manusia, akan tetapi merupakan penyebab terjadinya kabut campuran asap. Dalam kimia organik, hidrokarbon adalah sebuah senyawa organik yang terdiri sepenuhnya dari hidrogen dan karbon. Pancaran hidrokarbon yang terdapat pada gas buang berbentuk gasoline yang tidak terbakar, hidrokarbon terdapat pada proses penguapan bahan bakar pada tangki, karburator, serta kebocoran gas yang melalui celah antara silinder dan torak yang masuk ke dalam poros engkol. Kadar HC yang baik dalam gas buang adalah kurang dari 1200 ppm vol. (Peraturan menteri negara lingkungan hidup no. 5 tahun 2006).

## 2.4 Biogas

### 2.4.1 Pengertian Biogas

Biogas adalah suatu campuran gas-gas yang dihasilkan dari suatu proses fermentasi bahan organik oleh bakteri dalam keadaan tanpa oksigen (*anaerobic process*). Dari campuran gas –gas tersebut, gas metana (CH<sub>4</sub>) adalah yang paling banyak, sedangkan gas-gas lainnya dalam porsi yang relatif sedikit kecuali karbondioksida (CO<sub>2</sub>) yang lumayan besar jumlahnya.

Menurut Mitzlaff (1988), nilai kalor biogas aktual merupakan fungsi dari persentase CH<sub>4</sub>, temperatur dan tekanan absolut yang lainnya berbeda untuk setiap

kasus. Nilai kalor biogas merupakan parameter vital untuk performa mesin, *burner*, atau aplikasi lainnya yang menggunakan biogas sebagai bahan bakar. Nilai kalor biogas dapat dihitung dengan persamaan :

$$LHV_{biogas} = \frac{V_{CH_4}}{V_{total}} \times LHV_{CH_4} \times \rho_{CH_4} \quad (\text{Mitzlaff, 1988: 26}) \quad (2-6)$$

Dimana :  $LHV_{biogas}$  = nilai kalor biogas ( $\text{kJ/m}^3$ )

$LHV_{CH_4}$  = nilai kalor  $\text{CH}_4$  ( $\text{kJ/kg}$ )

$V_{CH_4}$  = volume  $\text{CH}_4$  ( $\text{m}^3$ )

$V_{total}$  = volume biogas ( $\text{m}^3$ )

$\rho_{CH_4}$  = massa jenis  $\text{CH}_4$  ( $\text{kg/m}^3$ )

Biogas termasuk jenis bahan bakar gas, menurut Soetiari (1986: 3) bahan bakar gas mempunyai keuntungan bila digunakan dalam pembakaran seperti:

- Bebas dari abu, pada umumnya bebas dari kotoran-kotoran lain.
- Kondisi-kondisi pembakaran dapat diatur dengan mudah hingga diperoleh temperatur yang kira-kira diinginkan dengan menambah atau mengurangi udara yang masuk.
- Efisiensi tinggi, karena kelebihan udara yang digunakan biasanya sedikit karena udara dan bahan bakar langsung bercampur dan terbakar.
- Bahan bakar gas lebih mudah disalurkan dalam pipa-pipa (saluran).

#### 2.4.2 Proses Pembuatan Biogas

Proses pembuatan biogas dilakukan dengan bantuan bakteri anaerob di dalam suatu digester secara fermentasi sehingga akan dihasilkan gas metana ( $\text{CH}_4$ ), gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) serta gas hidrogen ( $\text{H}_2$ ), gas Nitrogen ( $\text{N}_2$ ) dan gas hydrogen sulfide ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Bakteri pembentuk biogas yang digunakan yaitu bakteri anaerob seperti *Methanobacterium*, *Methanobacillus*, *Methanococcus* dan *Methanosarcina* (Price dan Cheremisinoff, 1981).

Dalam membuat biogas hal terpenting yang perlu diperhatikan adalah memilih digester. Digester merupakan tempat penampungan biogas. Bagian-bagian pokok digester adalah :

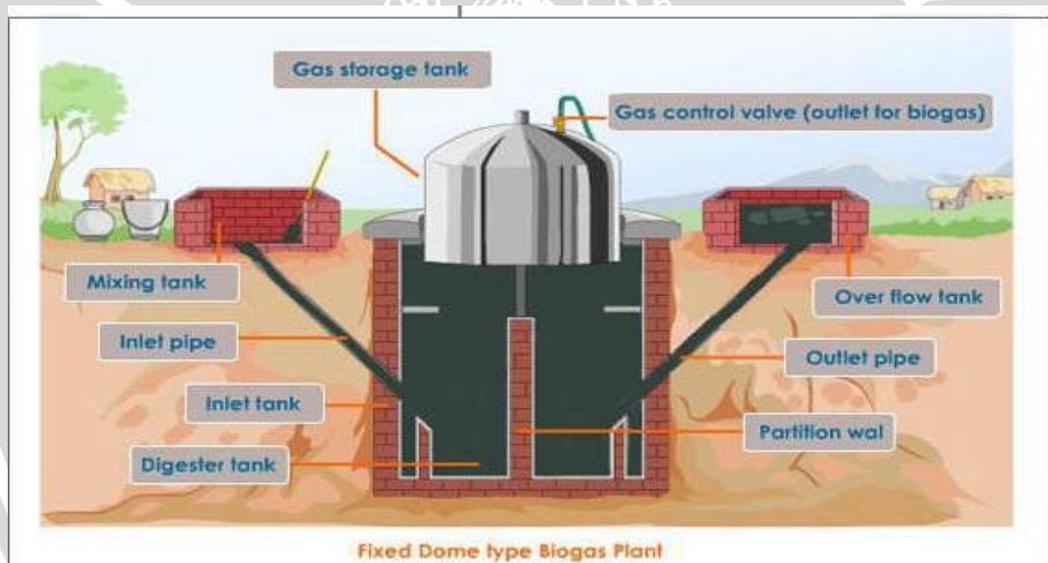
- Bak penampung kotoran ternak
- Digester

3. Bak slurry
4. Penampung gas
5. Pipa gas keluar
6. Pipa keluar slurry
7. Pipa masuk kotoran ternak.

Ada 3 tipe digester yaitu:

1. Reaktor kubah tetap (*Fixed Dome*)

Jenis digester ini memiliki volume tetap sehingga produksi gas akan meningkatkan tekanan dalam digester. Ketika gas mulai timbul, gas tersebut menekan slurry ke bak slurry. Jika pasokan kotoran ternak terus menerus, gas yang timbul akan menekan slurry hingga meluap keluar dari bak slurry. Gas yang terbentuk digunakan/dikeluarkan lewat pipa gas yang diberi katup/kran.



Gambar 2.5 Reaktor kubah tetap (*Fixed Dome*)

Sumber : <http://www.sswm.info/SASSE%201988%fixed-dome.jpg>

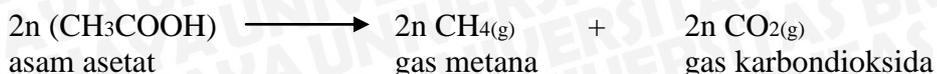
2. Tangki Terapung (*Floating Drum*)

Pada jenis digester *floating drum* ada bagian atas dari digester yang bisa bergerak menyesuaikan dengan tekanan gas yang berada didalam digester meningkat. Pergerakan bagian atas dari digester ini juga menjadi tanda bahwa telah dimulainya produksi gas dalam digester.



digester. Pada proses ini akan dihasilkan 70% CH<sub>4</sub>, 30 % CO<sub>2</sub>, sedikit H<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S (Price dan Cheremisinoff, 1981).

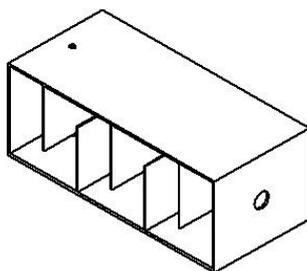
Reaksi :



## 2.5 Purifier

*Purifier* adalah alat tambahan pada instalasi percobaan yang berfungsi sebagai purifikasi. Purifikasi merupakan proses pemurnian suatu zat. Dalam penelitian ini yang dimurnikan adalah biogas, dimana cara kerjanya sebagai separator CH<sub>4</sub> dari produk hasil pengikatan CO<sub>2</sub> oleh NaOH, yaitu berupa Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> dan H<sub>2</sub>O.

*Purifier* dipasang sebelum mixer, terdapat 2 lubang dibagian atas dan dibagian bawah *purifier* selain dua saluran utama yang terhubung ke digester dan mixer. Lubang dibagian atas berfungsi sebagai tempat saluran masuk NaOH sedangkan lubang pada bagian bawah sebagai saluran keluar untuk Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> dan H<sub>2</sub>O. agar tidak ikut masuk ke dalam silinder. Desain sederhana dapat dilihat dalam gambar berikut:



Gambar 2.6 Desain Sederhana *Purifier*.

*Purifier* bekerja memanfaatkan prinsip perbedaan massa jenis antara CH<sub>4</sub> yang berfase gas dengan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (solid) dan H<sub>2</sub>O. (cair). Sehingga hanya CH<sub>4</sub> yang akan masuk ke dalam silinder sedangkan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> dan H<sub>2</sub>O akan keluar lewat lubang dibagian bawah *purifier*.

## 2.6 Natrium

Natrium adalah unsur kimia dalam tabel periodic kimia yang memiliki simbol Na dengan nomor atom 11. Natrium memiliki ciri – ciri diantaranya, logam lunak berwarna putih keperakan dan termasuk logam reaktif sehingga tidak ditemukan dalam keadaan bebas melainkan berupa senyawa.

Natrium termasuk golongan logam alkali, secara alami Natrium ditemukan sebagai senyawa dengan unsur lain dalam air laut atau mineral lainnya. Natrium teroksidasi dengan sangat cepat dengan udara, sangat reaktif terutama dengan air.

## 2.7 Hidroksida

Hidroksida adalah suatu ion poliatomik yang terdiri dari oksigen dan hidrogen (OH<sup>-</sup>). Ion ini bermuatan -1 dan merupakan salah satu ion poliatomik yang paling sederhana.

Kelompok basa yang mengandung hidroksida disebut basa hidroksida. Basa ini akan teroksidasi di dalam air menjadi suatu kation dan satu atau lebih ion hidroksida sehingga menjadikan larutan tersebut bersifat basa. Proses ini membentuk alkali hidroksida, yang dapat menjalani reaksi netralisasi jika direaksikan dengan asam.

Secara umum hidroksida-hidroksida dan ion-ion hidroksida banyak ditemukan disekitar kita. Banyak bahan dan proses kimia melibatkan hidroksida atau ion hidroksida, contohnya Natrium Hidroksida (NaOH) yang digunakan dalam industri besi yang kuat dan Kalium Hidroksida (KOH) yang digunakan dalam bidang pertanian.

## 2.8 Natrium Hidroksida

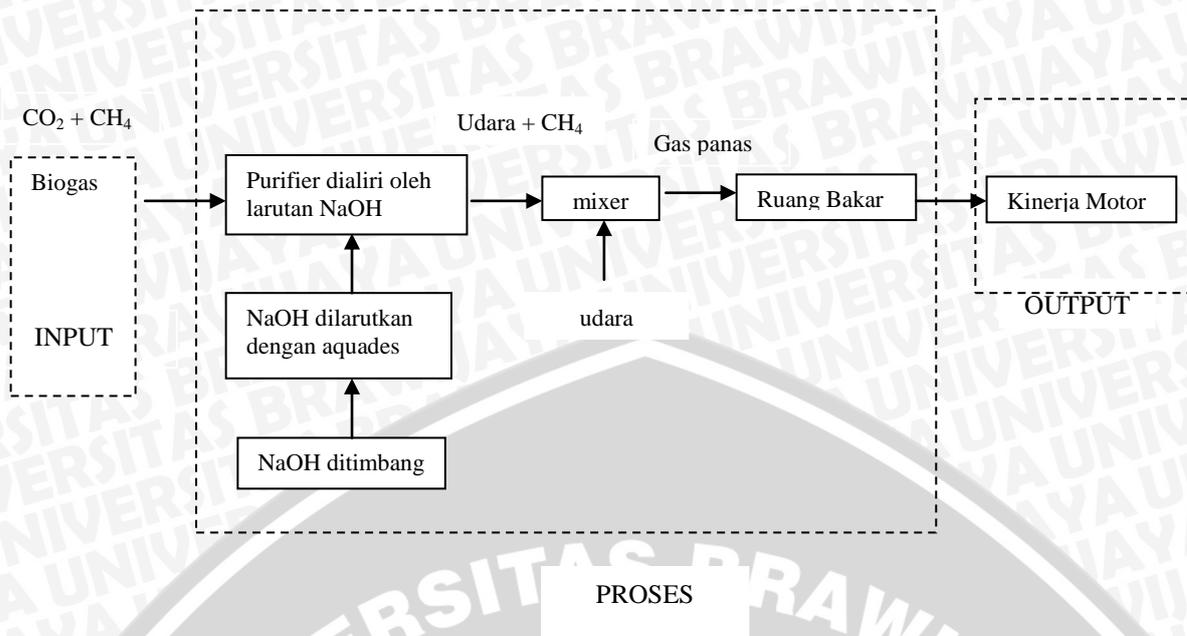
Natrium Hidroksida termasuk oksida golongan I dan juga senyawa ion. Oleh sebab itu Natrium Hidroksida dapat larut dalam air. Apabila dimasukkan sekeping kertas lakmus merah didapati kertas itu berwarna biru. Ini menunjukkan bahwa larutan bersifat alkali.



Natrium Hidroksida bereaksi menghasilkan ion-ion hidroksida dan ion Natrium yang bebas apabila dilarutkan dalam air. Dengan kehadiran ion hidroksida ini maka sifat kealkalian dari suatu larutan alkali dapat ditunjukkan. Maka alkali dapat diartikan sebagai bahan kimia yang menghasilkan ion hidroksida dalam air.

### 2.8.1 Mekanisme Pengikatan CO<sub>2</sub> Oleh Natrium Hidroksida (NaOH)

Ketika larutan NaOH ditambahkan pada biogas, maka gas CO<sub>2</sub> langsung bereaksi dengan larutan NaOH sedangkan CH<sub>4</sub> tidak. Dengan berkurangnya konsentrasi CO<sub>2</sub> sebagai akibat reaksi dengan NaOH, maka perbandingan konsentrasi CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub> menjadi lebih besar untuk konsentrasi CH<sub>4</sub>.



Gambar 2.7 Bagan sistem purifikasi (pemurnian) biogas

Keterangan dari sistem purifikasi

- Biogas  
Biogas dalam sistem purifikasi sebagai bahan bakar yang dimurnikan oleh larutan NaOH didalam *purifier*.
- Natrium hidroksida ditimbang sesuai dengan kebutuhan.
- Natrium hidroksida yang telah di timbang kemudian di larutkan dengan aquades.
- Larutan NaOH
  - Konsentrasi larutan NaOH dalam sistem purifikasi mempengaruhi laju pengikatan gas CO<sub>2</sub> oleh larutan NaOH didalam *purifier*. Konsentrasi larutan NaOH yang digunakan dalam penelitian ini adalah 10 M, 15 M, 20 M.
  - Laju alir larutan NaOH  
Laju alir larutan NaOH juga mempengaruhi laju pengikatan gas CO<sub>2</sub> oleh larutan NaOH, laju alir NaOH dalam penelitian ini adalah 0,14 ml/s.

Reaksi kimia pengikatan CO<sub>2</sub> oleh NaOH

Absorpsi CO<sub>2</sub> dari campuran biogas ke dalam larutan NaOH dapat dilukiskan sebagai berikut:





(Van Bhat; 2000)

- *Purifier*

Dalam sistem pemurnian biogas perlu adanya alat tambahan untuk pemurnian biogas yaitu sering disebut dengan *purifier*.

- Gas CH<sub>4</sub>

Gas CH<sub>4</sub> ini merupakan gas hasil dari proses reaksi kimia pengikatan CO<sub>2</sub> oleh larutan NaOH.

- Produk hasil reaksi

Selain gas CH<sub>4</sub> sebagai gas hasil reaksi adapula hasil reaksi lainnya yaitu Na<sub>2</sub>CO<sub>3(s)</sub> + H<sub>2</sub>O<sub>(aq)</sub> namun hasil reaksi ini tidak masuk dalam ruang bakar melainkan berada dalam penampung hasil reaksi.

### 2.8.2 Molaritas

Konsentrasi larutan dapat dinyatakan dengan Molaritas. Molaritas menyatakan jumlah mol zat yang terlarut dalam satu liter larutan. Molaritas dilambangkan dengan notasi M dan satuannya adalah mol/liter (James E. Brandy, 1999).

Rumus yang digunakan untuk mencari molaritas larutan adalah:

$$M = \frac{n}{V} \quad (\text{Utami, 2009: 78}) \quad (2-7)$$

Jika zat yang akan dicari molaritasnya ada dalam satuan gram dan volumenya dalam mililiter, maka molaritasnya dapat dihitung dengan rumus:

$$M = n \cdot \frac{1000}{mL} \quad \text{atau} \quad M = \frac{g}{Mr} \cdot \frac{1000}{mL} \quad (\text{Utami, 2009: 79}) \quad (2-8)$$

dengan:

M= molaritas (mol/liter)

n = mol zat terlarut (mol)

V= volume larutan (liter)

g = massa zat terlarut (gram)

Mr = massa molekul relatif zat terlarut

### 2.9 Pembakaran

Menurut Soetiari (1986: 34), pembakaran adalah reaksi oksidasi pada temperatur tinggi dan berjalan dengan cepat. Reaksi pembakaran berlangsung pada fase uap, kecuali pada unsur karbon.

Pembakaran merupakan reaksi kimia antara bahan bakar dan oksigen sebagai oksidator dan pada proses tersebut terjadi pelepasan sejumlah energi. Pada proses pembakaran terjadi perubahan energi kimia menjadi energi panas. Pembakaran dianggap sempurna apabila semua kandungan karbon (C) dalam bahan bakar terbakar habis membentuk karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), semua sulfur (S) membentuk sulfur oksida (SO<sub>2</sub>), dan semua hidrogen (H) terbakar membentuk air (H<sub>2</sub>O). Jika kondisi tersebut tidak terpenuhi, berarti pembakaran tidak berlangsung secara sempurna.

Untuk komponen-komponen hidrokarbon (karbon dan hidrogen) seperti solar, metana, bensin, dsb. Persamaan pembakaran ditunjukkan pada tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Persamaan pembakaran hidrokarbon

Senyawa yang terbakar		Hasil Pembakaran	Energi panas yang dilepaskan
Karbon	C + O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	+ 406,9 kJ/kmol
	C + O	CO	+ 123,8 KJ/kmol
Hidrogen	H <sub>2</sub> + ½ O <sub>2</sub>	CO	+ 242 kJ/kmol

Sumber : Mitzlaff (1988: 13)

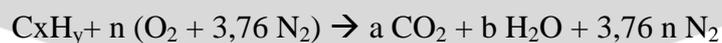
### 2.9.1 Pembakaran Stoikiometrik

Pembakaran stoikiometrik adalah pembakaran dimana semua atom dari pengoksidasi bereaksi secara kimia untuk menjadi produk.

Pengoksidasi yang paling lazim adalah udara, yang penyusunnya dapat dianggap sebagai campuran dari 21% oksigen dan 79% nitrogen. Karena oksigen tersebut diperoleh dari udara, sehingga reaksi pembakaran tersebut akan menghasilkan produk hasil pembakaran yang komposisinya tergantung dari kualitas pembakarannya.

Reaksi pembakaran pada motor bensin merupakan reaksi oksidasi antara senyawa hidrokarbon dengan oksigen, sehingga dihasilkan produk yang berupa CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, atau lainnya yang persentasenya tergantung pada kualitas pembakaran.

Persamaan reaksi pembakaran teoritis antara hidrokarbon dan udara dapat dinyatakan sebagai berikut:



Sebagai contoh persamaan kimia dari pembakaran stoikiometri dari metana (CH<sub>4</sub>) dengan udara adalah:



Reaktan

Produk

Pada kondisi aktual, pembakaran bahan bakar sulit didapatkan keadaan yang sempurna sehingga pasti ada sebagian kecil bahan bakar yang tidak terbakar.

Pembakaran yang tidak sempurna akan menghasilkan oksida yang menimbulkan polusi udara dan menurunkan efisiensi serta akan merugikan secara ekonomis.

### 2.9.2 Pembakaran Pada Motor Bensin Berbahan Bakar Biogas

Untuk menghasilkan kinerja mesin yang optimal, proses pembakaran memegang peranan yang sangat penting dan proses pembakaran yang terjadi diusahakan mendekati sempurna. Dengan pembakaran yang sempurna berarti bahan bakar akan habis terbakar, sehingga energi panas yang dihasilkan akan tinggi dan emisi gas buang seperti CO akan menurun. Peningkatan energi panas juga dapat dilakukan dengan memurnikan bahan bakar (biogas) dari unsur-unsur pengotor yang dapat menghambat pembakaran, seperti CO<sub>2</sub>, abu, dan H<sub>2</sub>O.

Untuk menghasilkan pembakaran yang sempurna, banyak cara yang bisa ditempuh. Sebelum memulai pembakaran langkah pertama yang bisa dilakukan adalah dengan memurnikan bahan bakar yang akan digunakan dari unsur-unsur pengotor yang dapat menyebabkan nilai kalor bahan bakar menjadi berkurang, setelah itu bisa dengan meningkatkan homogenitas campuran bahan bakar dan udara sebelum masuk ke silinder.

Proses penyalaan pada pembakaran juga memegang peranan yang sangat penting terhadap unjuk kerja yang dihasilkan oleh mesin. Jika penyalaan terlalu awal, sebagian besar gas campuran antara bahan bakar dan udara sudah terbakar sementara piston masih bergerak menuju TMA karena proses kompresi masih berlangsung. Sehingga gerakan piston akan terhambat oleh gas tersebut yang membuat tenaga mesin menjadi berkurang. Sedangkan jika penyalaan terlambat, tekanan akan turun karena saat terbakar piston sudah menuju TMB. Peningkatan tekanan dan temperatur gas hasil pembakaran akan menurun. Gas hasil pembakaran yang masih mempunyai tekanan tinggi akan keluar melalui katub buang sehingga pemanfaatan energinya akan berkurang.

## 2.10 Laju Reaksi

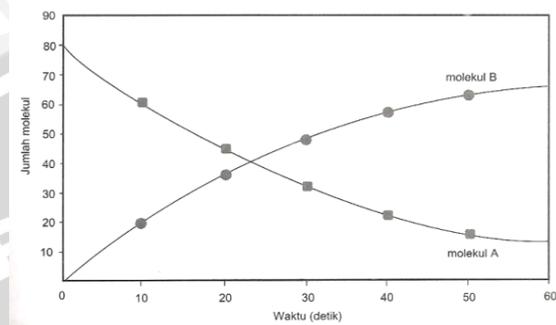
### 2.10.1 Pengertian Laju Reaksi

Reaksi kimia menyangkut perubahan dari suatu pereaksi (reaktan) menjadi hasil reaksi (produk), yang dinyatakan dengan persamaan reaksi.



Sehingga laju reaksi dapat didefinisikan sebagai berkurangnya jumlah pereaksi untuk setiap satuan waktu atau bertambahnya jumlah hasil reaksi untuk setiap satuan waktu.

Ukuran jumlah zat dalam reaksi kimia umumnya dinyatakan sebagai molar atau molaritas (M). Dengan demikian, maka laju reaksi menyatakan berkurangnya konsentrasi pereaksi atau bertambahnya konsentrasi zat hasil reaksi setiap satu satuan waktu (detik atau sekon). Satuan laju reaksi umumnya dinyatakan dalam satuan mol/liter.detik ( $\text{mol dm}^{-3} \text{s}^{-1}$ ). Satuan  $\text{mol dm}^{-3}$  atau molaritas (M), merupakan satuan konsentrasi larutan.



Gambar 2.8 Grafik jumlah molekul terhadap waktu. Pada laju reaksi  $A \rightarrow B$  menunjukkan penurunan jumlah molekul A terhadap waktu dan kenaikan jumlah molekul B terhadap waktu.

Sumber: Sudarmo (2006: 77)

### 2.10.2 Stoikiometri Laju Reaksi

Terdapat hubungan antara laju reaksi yang diukur terhadap berkurangnya konsentrasi pereaksi dan bertambahnya konsentrasi hasil reaksi. Untuk reaksi  $A \rightarrow B$ , bila laju reaksi dinyatakan sebagai berkurangnya jumlah molekul A setiap satuan waktu  $-\Delta[A]/\Delta t$  akan sama dengan laju reaksi yang dinyatakan berdasarkan bertambahnya jumlah molekul B setiap satuan waktu  $+\Delta[B]/\Delta t$ , sebab setiap sebuah molekul A berkurang maka akan menghasilkan sebuah molekul B. Secara umum untuk reaksi yang dinyatakan dengan persamaan reaksi:



berlaku,

Laju reaksi :

$$-\frac{1}{a} \frac{\Delta[A]}{\Delta t} = -\frac{1}{b} \frac{\Delta[B]}{\Delta t} = +\frac{1}{c} \frac{\Delta[C]}{\Delta t} = +\frac{1}{d} \frac{\Delta[D]}{\Delta t} \quad (\text{Sudarmo, 2006: 78}) \quad (2-9)$$

### 2.10.3 Hukum Laju Reaksi

Dari percobaan penentuan laju reaksi menunjukkan bahwa laju reaksi akan menurun dengan bertambahnya waktu. Hal ini berarti ada hubungan antara konsentrasi zat yang tersisa saat itu dengan laju reaksi. Dari percobaan-percobaan diketahui bahwa

umumnya laju reaksi tergantung pada konsentrasi awal dari zat-zat pereaksi, pernyataan ini dikenal sebagai hukum laju reaksi atau persamaan laju reaksi:



Dengan :

$v$  = laju reaksi ( $\text{mol dm}^{-3} \text{s}^{-1}$ )

$k$  = tetapan laju reaksi

$m$  = tingkat reaksi (orde reaksi) terhadap A

$n$  = tingkat reaksi (orde reaksi) terhadap B

$[A]$  = konsentrasi awal A ( $\text{mol dm}^{-3}$ )

$[B]$  = konsentrasi awal B ( $\text{mol dm}^{-3}$ )

#### 2.10.4 Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Laju Reaksi

##### a. Tumbukan Antar Partikel

Suatu zat dapat bereaksi dengan zat lain apabila partikel-partikel saling bertumbukan. Tumbukan yang terjadi tersebut akan menghasilkan energi untuk memulai terjadinya reaksi. Terjadinya tumbukan antar partikel disebabkan partikel-partikel (molekul-molekul) zat selalu bergerak dengan arah yang tidak teratur.

##### b. Konsentrasi Pereaksi (Reaktan)

Pengaruh konsentrasi ini dapat dijelaskan dengan model teori tumbukan antar partikel. Semakin tinggi konsentrasi berarti semakin banyak molekul-molekul dalam setiap satuan luas ruangan, dengan demikian tumbukan antar molekul semakin sering terjadi. Semakin banyak tumbukan yang terjadi berarti kemungkinan untuk menghasilkan tumbukan yang efektif semakin besar, sehingga reaksi berlangsung lebih cepat.

##### c. Luas Permukaan Sentuhan

Semakin luas permukaan permukaan zat semakin banyak tempat terjadinya tumbukan antar partikel, sehingga kemungkinan terjadinya tumbukan yang efektif akan lebih besar, sehingga reaksi berlangsung lebih cepat.

##### d. Suhu

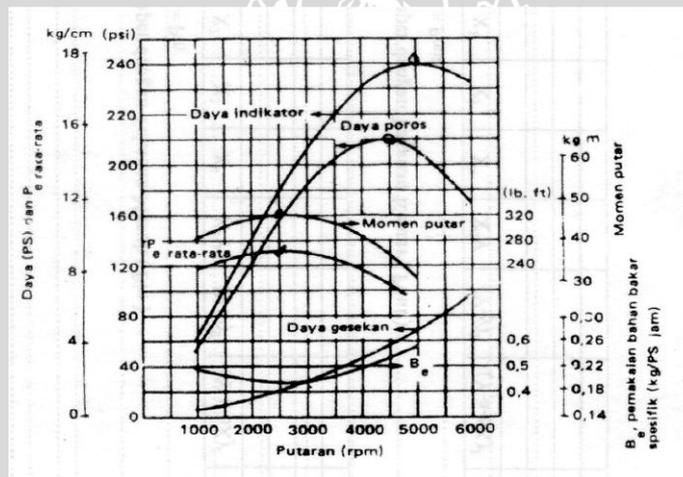
Semakin tinggi suhu, maka akan meningkatkan energi kinetik dari molekul-molekul, sehingga gerak antar partikel akan semakin cepat. Semakin cepat gerak partikel, energi yang dihasilkan saat tumbukan akan lebih besar dan cukup untuk melangsungkan reaksi.

### e. Katalis

Katalis adalah suatu zat yang dapat mempercepat laju reaksi, tanpa dirinya mengalami perubahan yang kekal. Suatu katalis mungkin mungkin dapat terlibat dalam proses reaksi atau mengalami perubahan selama reaksi berlangsung, tetapi setelah reaksi itu selesai maka katalis akan diperoleh kembali dalam jumlah yang sama. Katalis mempercepat reaksi dengan cara mengubah jalannya reaksi. Jalur reaksi yang ditempuh tersebut mempunyai energy aktivasi yang lebih rendah daripada jalur reaksi yang ditempuh tanpa katalis. Jadi, dapat dikatakan bahwa katalis berperan menurunkan energy aktivasi.

### 2.11 Grafik Karakteristik Kinerja Motor Bakar

Grafik teoritis karakteristik kinerja motor bakar bisa dilihat pada gambar 2.9 – 2.10 berikut ini:



Gambar 2.9 Grafik karakteristik kinerja motor bensin.  
Sumber: Arismunandar (1988: 39)

Air-fuel ratio	Idle 11—12.5	Acceleration 11 - 13	Cruising 13—15	Deceleration 11—12.5
Engine speed, rpm	400 - 500	400—3000	1000—3000	3000—400
Air flow, cfm	6—8	30—35	15—35	6—8
Cylinder vacuum in. Hg	16—20	0—7	7—19	20—25
Exhaust Emissions :				
CO, per cent	4 - 6	0—6	1—4	2—4
NO, ppm	10—50	1000—4000	1000—3000	10—50
HC, ppm	500—1000	50—500	200—300	4000—, 2000
Unburned fuel, % of supplied	4—6	2—4	2—4	20—60

Gambar 2.10 Gambar karakteristik emisi gas buang pada motor bensin.  
Sumber: Mathur & Sharma (1980: 625)

Terlihat dalam gambar 2.9 – 2.10 di atas beberapa karakteristik kinerja motor bakar sebagai berikut:

1. Torsi (T)

Seiring dengan peningkatan putaran mesin, torsi mengalami peningkatan yakni dari putaran 1000 – 3000 rpm dan mencapai nilai maksimum pada 3000 rpm, setelah itu torsi mengalami penurunan.

2. Daya poros / daya efektif ( $N_e$ )

Peningkatan nilai daya efektif terjadi pada putaran 1000 – 5000 rpm, dan mencapai nilai maksimum pada 5000 rpm setelah itu daya efektif mengalami penurunan.

3. Konsumsi bahan bakar spesifik efektif ( $SFCE / B_e$ )

Dapat dilihat dari grafik bahwa kecenderungan grafik konsumsi bahan bakar spesifik efektif adalah mengalami penurunan seiring dengan peningkatan putaran, yakni pada putaran 1000 – 3000 rpm. Setelah itu mengalami peningkatan.

4. Efisiensi termal efektif ( $\eta_e$ )

Berdasarkan rumus, efisiensi termal efektif dipengaruhi konsumsi bahan bakar spesifik efektif dan LHV bahan bakar. Konsumsi bahan bakar spesifik efektif sendiri dalam grafik teoritisnya mencapai nilai maksimum pada putaran 3000 rpm sehingga nilai efisiensi termal efektif maksimum pun berkisar di putaran 3000 rpm.

5. Emisi gas buang (CO dan HC)

Pada putaran 1000 – 3000 rpm nilai emisi gas CO berkisar antara 1-4 % vol dan HC 200-300 ppm vol.

## 2.12 Hipotesis

Semakin besar konsentrasi NaOH yang ditambahkan, maka akan semakin banyak molekul-molekul NaOH dalam *purifier*, sehingga tumbukan antara molekul NaOH dan CO<sub>2</sub> memungkinkan lebih sering terjadi yang mengakibatkan meningkatnya laju reaksi pengikatan CO<sub>2</sub> dalam biogas, akibatnya biogas akan termurnikan dan panas hasil pembakaran akan semakin besar, kenaikan panas hasil pembakaran akan meningkatkan kinerja dari motor bensin.