

BAB II DASAR TEORI

2.1 Penelitian Sebelumnya

Purba (2009) meneliti perbandingan kinerja motor bakar dengan bahan bakar bensin dan biogas, dan dari penelitian tersebut dihasilkan kesimpulan bahwa biogas memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap kinerja motor bensin 4 langkah serta menghasilkan efisiensi pembakaran yang lebih baik dibandingkan bahan bakar bensin.

Wira (2009) melakukan penelitian dengan judul pengaruh perubahan waktu pengapian (*ignition timing*) terhadap kinerja motor bensin empat langkah dengan bahan bakar biogas dan menghasilkan kesimpulan bahwa waktu pengapian sebesar 39° sebelum TMA adalah waktu pengapian paling efektif untuk menghasilkan kinerja motor yang paling optimal, waktu pengapian yang lebih maju dari itu akan mengakibatkan penurunan kinerja motor.

Maarif dan Arif (2008), meneliti tentang absorpsi gas karbondioksida (CO_2) dalam biogas dengan larutan NaOH secara kontinyu. Dari hasil pengujian didapatkan kesimpulan semakin besar laju alir NaOH, CO_2 yang terserap dan CH_4 yang termurnikan semakin kecil. Hal ini dikarenakan semakin besar laju alir NaOH, waktu kontak antara NaOH dengan CO_2 untuk jumlah molekul yang sama akan semakin kecil sehingga jumlah CO_2 yang terserap dan 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.

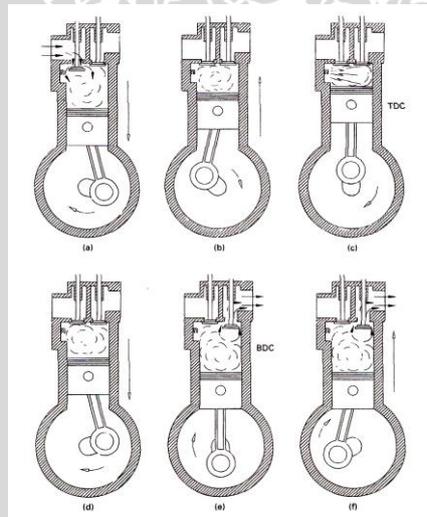
Pada penelitian motor bensin berbahan bakar biogas sebelumnya di atas masih menggunakan biogas yang belum dimurnikan, khususnya dari gas CO_2 . Salah satu cara untuk meningkatkan kinerja mesin adalah dengan memurnikan biogas dan salah satu unsur yang dapat digunakan adalah kalium hidroksida (KOH) dimana KOH memiliki kelebihan daripada NaOH karena memiliki jari-jari atom yang lebih besar sehingga lebih reaktif. Untuk itu penelitian ini difokuskan pada pengaruh variasi konsentrasi kalium hidroksida pada *purifier* terhadap kinerja motor bensin berbahan bakar biogas, penelitian ini menggunakan waktu pengapian 39° sebelum TMA agar mampu menghasilkan kinerja yang paling optimum dari motor bakar.

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.

2.3 Siklus Kerja Motor Bensin 4 Langkah (Siklus Ideal)

Siklus kerja motor bensin 4 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 dari torak, 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 dari torak yang bergerak dari TMA menuju TMB, dimana terjadi proses pengisapan/ pemasukan bahan bakar dan udara masuk kedalam silinder.

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.

c). Proses Pembakaran

Pembakaran campuran udara dan bahan bakar berlangsung saat torak bergerak mendekati TMA dan diberikan loncatan bunga api listrik pada busi yang berada di ruang bakar, campuran terbakar dan terjadilah peningkatan tekanan yang sangat tinggi. 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.

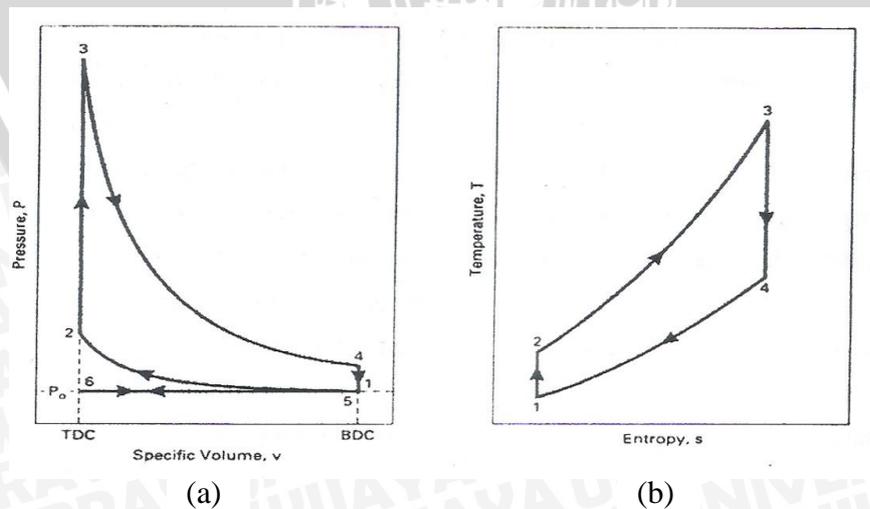
e). *Exhaust Blowdown*

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.

d). 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.

Siklus kerja dari motor bensin 4 langkah dapat digambarkan dalam bentuk diagram P- v dan T- s pada gambar 2.2 berikut:



Gambar 2.2 a. Diagram P - v siklus volume konstan

b. Diagram T - s siklus volume konstan

Sumber : Pulkrabek (1997: 75).

Keterangan:

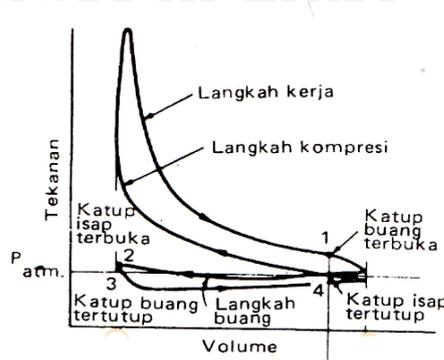
- 1) 0-1 = langkah isap yang terjadi pada temperatur konstan (*isotermik*) dan tekanan konstan (*isobaric*).
- 2) 1-2 = proses kompresi pada entropi konstan (*isentropic*). Pada akhir proses 1-2 terjadi penyalaan oleh busi untuk memulai melakukan pembakaran.
- 3) 2-3 = proses pemasukan kalor pada volume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

2.4 Siklus Aktual Motor Bensin Empat Langkah

Dalam kenyataannya tidak ada siklus yang merupakan siklus volume konstan. Menurut Arismunandar (1988), penyimpangan dari siklus ideal tersebut terjadi karena dalam keadaan yang sebenarnya terjadi kerugian yang antara lain disebabkan oleh :

1. Kebocoran fluida kerja karena penyekatan oleh cincin torak dan katup yang tidak dapat sempurna.
2. Katup tidak dapat terbuka dan tertutup tepat pada saat TMA dan TMB karena pertimbangan dinamika mekanisme katup dan kelembaman fluida kerja.
3. Fluida kerja bukanlah udara yang dapat dianggap sebagai gas ideal dengan kalor spesifik yang konstan selama proses.
4. Pada motor bakar torak yang sebenarnya, pada waktu torak berada di TMA, tidak terdapat proses pemasukan kalor seperti pada siklus udara.
5. Proses pembakaran memerlukan waktu, jadi tidak berlangsung spontan.
6. Terdapat kerugian kalor yang disebabkan oleh perpindahan kalor dari fluida kerja ke fluida pendingin, terutama pada langkah kompresi, ekspansi, dan pada waktu gas buang meninggalkan silinder.
7. Terdapat kerugian energi kalor yang dibawa oleh gas buang.
8. Terdapat kerugian energi karena gesekan antara fluida kerja dengan dinding salurannya.

Berdasarkan semua hal di atas, bentuk diagram P vs v dari siklus yang sebenarnya tidak sama dengan bentuk diagram siklus ideal. Siklus yang sebenarnya tidak pernah merupakan siklus volume konstan. Gambar 2.3 menunjukkan bentuk diagram P vs v dari sebuah motor bakar empat langkah yang sebenarnya.



Gambar 2.3 Siklus aktual motor bensin empat langkah
 Sumber : Arismunandar (1988: 31)

2.5 Parameter Kinerja Motor Bensin

Parameter kinerja (*performance*) dari motor bensin sangat penting untuk diketahui, karena akan menggambarkan karakteristik dari motor bensin itu sendiri. Pengetahuan tentang karakteristik motor bensin sangat diperlukan untuk mengetahui keadaan yang paling ideal. Dengan diketahuinya keadaan paling ideal tersebut pemakaian mesin dapat dioperasikan seefisien mungkin. 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 :

$$T = F \cdot L \quad (\text{Soenarta, 1985: 11}) \quad (2-1)$$

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 :

$$Ne = T \cdot \omega = \frac{T \cdot 2 \cdot \pi \cdot n}{60 \cdot 75} = \frac{T \cdot n}{716.2} \quad (\text{Petrovsky, 1968: 99}) \quad (2-2)$$

Atau

$$Ne = Ni - Nm \quad (\text{Petrovsky; 1979: 58}) \quad (2-3)$$



Dengan :

N_e = daya efektif (HP)

T = torsi (kgm)

ω = kecepatan anguler poros engkol (rad/s)

n = putaran poros engkol (rpm)

N_i = Daya indikator (HP)

N_m = Daya mekanis (HP)

c. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif (SFC_e)

Pemakaian bahan bakar spesifik efektif merupakan parameter penting untuk sebuah motor yang berhubungan erat dengan efisiensi termal motor. Pemakaian bahan bakar spesifik efektif didefinisikan sebagai banyaknya bahan bakar yang terpakai per jam untuk menghasilkan setiap 1 HP daya motor, dan dirumuskan:

$$SFC_e = \frac{FC}{N_e} \quad (\text{Petrovsky, 1968: 63}) \quad (2-4)$$

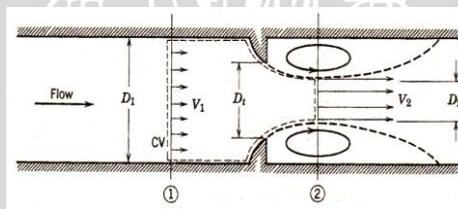
Dengan :

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

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

N_e = daya efektif (HP)

Untuk mengetahui konsumsi bahan bakar gas (FC) yang digunakan dalam penelitian, dilakukan dengan cara mengukur beda tekanan pada manometer U yang terpasang pada saluran *orifice* seperti terlihat pada gambar 2.4. Beda tekanan ini kemudian dikonversikan menjadi massa alir dengan mengaplikasikan persamaan Bernoulli dan kontinuitas.



Gambar 2.4 Pengukuran beda tekanan pada *orifice*.

Sumber: Fox (1994: 360).

$$\dot{m}_{\text{actual}} = \frac{C \times A_t}{\sqrt{1-\beta^4}} \sqrt{2\rho(\Delta P)} \quad (\text{Fox, 1994: 362}) \quad (2-5)$$

Dimana : C = *discharghe coefficient*

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

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

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

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

d. Efisiensi Termal Efektif (η_e)

Efisiensi termal efektif menyatakan perbandingan antara daya yang dihasilkan terhadap jumlah energi bahan bakar yang diperlukan untuk jangka waktu tertentu. Efisiensi termal efektif dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\eta_e = \frac{632 \cdot N_e}{FC \cdot LHV_{bb}} = \frac{632}{FC / N_e \cdot LHV_{bb}} = \frac{632}{SFC_e \cdot LHV_{bb}} \quad (\text{Petrovsky, 1968: 62}) \quad (2-6)$$

Atau

$$\eta_e = 1 - (Q_k / Q_m), \text{ dimana } Q_m = G_f \cdot Q_c \quad (\text{Arismunandar, 1988: 22}) \quad (2-7)$$

Dengan :

η_e = efisiensi termal efektif (%)

LHV_{bb} / Q_c = nilai kalor terendah bahan bakar (kkal/kg)

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

Q_m = Energi kalor masuk (hasil pembakaran) (Kkal/jam)

Q_k = Energi kalor yang dilepaskan (Kkal/jam)

G_f / FC = Jumlah bahan bakar yang dipergunakan (kg/jam)

e. Emisi Gas Buang

Emisi gas buang pada motor bakar mencakup CO_2 , CO , HC , O_2 , dan NO_x , dalam penelitian ini emisi gas buang yang diteliti adalah CO dan HC .

➤ Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida (CO) adalah gas tidak berbau, tidak berwarna, tidak berasa dan tidak mengiritasi, mudah terbakar dan sangat beracun. Gas Karbon monoksida merupakan bahan yang umum ditemui di industri. Gas ini merupakan hasil pembakaran tidak sempurna dari kendaraan bermotor.

Gas karbon monoksida (CO) yang berpengaruh langsung bagi kesehatan manusia perlu mendapat kajian khusus, Keberadaan gas CO akan sangat berbahaya jika terhirup oleh manusia karena gas itu akan menggantikan posisi oksigen yang berkaitan dengan haemoglobin dalam darah. Gas CO akan mengalir ke dalam jantung, otak, serta organ vital lainnya. Ikatan antara CO dan haemoglobin membentuk karboksahaemoglobin yang jauh lebih kuat 200 kali dibandingkan dengan ikatan antara

oksigen dan haemoglobin. Akibatnya sangat fatal karena akan menyebabkan keracunan bahkan kematian.

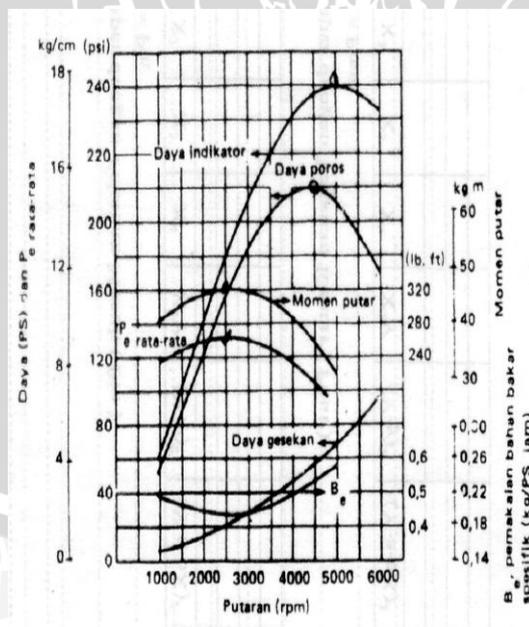
➤ Hidrokarbon (HC)

Kandungan gas metana (CH_4) dalam biogas adalah termasuk senyawa hidrokarbon, jadi setiap HC yang terdapat dalam gas buang kendaraan menunjukkan adanya gas metana yang tidak terbakar dan terbuang bersama sisa pembakaran. Apabila suatu senyawa hidrokarbon terbakar sempurna (bereaksi dengan oksigen) maka hasil reaksi pembakaran tersebut adalah karbondioksida (CO_2) dan air (H_2O)

Hidrokarbon (HC) merupakan gas yang tidak begitu merugikan manusia, akan tetapi merupakan penyebab terjadinya kabut campuran asap (*smog*). 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 yang biasa disebut *blow by gases* (gas lalu) Kadar HC yang baik dalam gas buang adalah kurang dari 300 ppm.

f. Karakteristik Kinerja Motor Bensin

Grafik karakteristik kinerja motor bensin bisa dilihat pada gambar 2.5 – 2.6 berikut ini:



Gambar 2.5 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 2.6 Gambar karakteristik emisi gas buang pada motor bensin.
Sumber: Mathur & Sharma (1980: 625)

Terlihat dalam gambar 2.5 – 2.6 di atas beberapa karakteristik kinerja motor bensin 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 (Ne)

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 / Be)

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 (η_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.

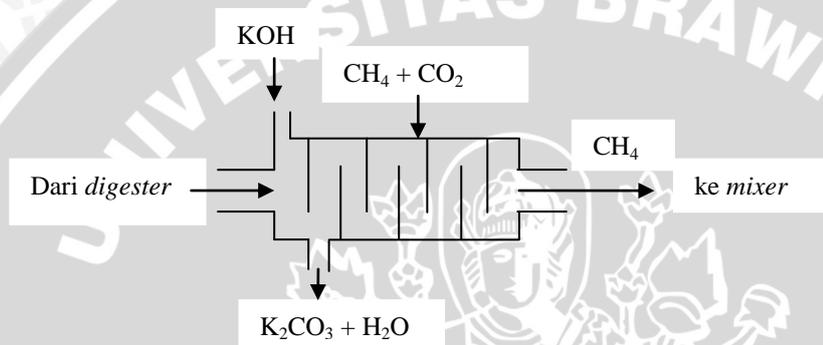
5. Emisi gas buang (CO dan HC)

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

2.6 Purifier

Purifier adalah alat tambahan pada instalasi percobaan yang berfungsi sebagai pemurni biogas, dimana cara kerjanya sebagai separator CH_4 dari produk hasil pengikatan CO_2 oleh KOH , yaitu berupa K_2CO_3 dan H_2O .

Purifier dipasang diantara *digester* dan *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 KOH sedangkan lubang pada bagian bawah sebagai saluran keluar untuk K_2CO_3 dan H_2O . agar tidak ikut masuk ke dalam silinder. Desain sederhana *purifier* dapat dilihat dalam gambar 2.7 berikut:



Gambar 2.7 Desain sederhana *purifier*.

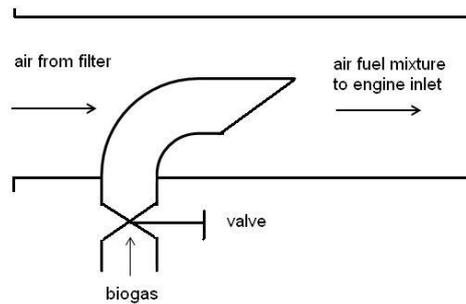
Purifier bekerja memanfaatkan prinsip perbedaan massa jenis antara CH_4 yang berfase gas dengan K_2CO_3 (solid) dan H_2O (cair). Sehingga hanya CH_4 yang akan masuk ke dalam silinder sedangkan K_2CO_3 dan H_2O akan keluar lewat lubang di bagian bawah *purifier*.

2.7 Modifikasi Motor Bensin 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*

Penambahan *mixer* merupakan modifikasi dasar yang diperlukan agar motor bensin dapat beroperasi dengan bahan bakar gas, fungsi *mixer* adalah sebagai tempat pencampuran bahan bakar gas dan udara. Desain dari *mixer* sangat beragam Gambar 2.8 berikut adalah contoh beberapa desain *mixer* sederhana.



Gambar 2.8 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.

2.8 Pembakaran

Pembakaran adalah reaksi kimia antara bahan bakar dan oksigen yang menghasilkan energi kalor pada temperatur tinggi.

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 (CO₂), semua sulfur (S) membentuk sulfur oksida (SO₂), dan semua hidrogen (H) terbakar membentuk air (H₂O). 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 ₂	CO ₂	+ 406,9 kJ/kmol
	C + O	CO	+ 123,8 KJ/kmol
Hidrogen	H ₂ + ½ O ₂	H ₂ O	+ 242 kJ/kmol

Sumber : Mitzlaff (1988: 13)



2.8.1 Pembakaran Stoikiometri

Istilah stoikiometri berasal dari bahasa Yunani yaitu *stoicheion* (partikel) dan *metron* (pengukuran). Stoikiometri akhirnya mengacu kepada cara perhitungan dan pengukuran zat serta campuran kimia. (www.wikipedia.org)

Pembakaran stoikiometri adalah pembakaran dimana bahan bakar terbakar seluruhnya untuk membentuk produk. Reaksi pembakaran pada motor bensin merupakan reaksi oksidasi antara senyawa hidrokarbon dengan oksigen, sehingga dihasilkan produk yang berupa CO₂, H₂O, atau lainnya yang persentasenya tergantung pada kualitas pembakaran.

Pada umumnya, pengoksidasi yang digunakan adalah udara yang komposisinya secara volume dianggap 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 uap air, karbondioksida atau lainnya yang persentasenya tergantung pada kualitas pembakaran.

Sebagai contoh persamaan kimia dari pembakaran stoikiometri dari metana (CH₄) dengan udara adalah:



2.8.2 Pembakaran Pada Motor Bensin Berbahan Bakar Biogas

Untuk menghasilkan kinerja mesin yang optimal, proses pembakaran memegang peranan yang sangat penting sehingga proses pembakaran yang terjadi antara bahan bakar dan udara 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 *ballast* yang dapat menghambat pembakaran, seperti CO₂, abu, dan H₂O.

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 *ballast*. Unsur

ballast adalah unsur atau zat yang menambah berat atau volume dari bahan bakar tetapi 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 katup buang sehingga pemanfaatan energinya akan berkurang.

2.9 Biogas

2.9.1 Pengertian Biogas

Biogas adalah suatu campuran gas-gas yang dihasilkan dari suatu proses fermentasi bahan organik oleh bakteri dalam keadaan tanpa oksigen (*anaerobic process*). Gas yang dihasilkan adalah gas metana (CH_4), gas karbon dioksida (CO_2), gas hidrogen (H_2), gas nitrogen (N_2) dan gas hidrogen sulfida (H_2S). Biogas termasuk jenis bahan bakar gas, menurut Soetiari (1986: 3) bahan bakar gas mempunyai keuntungan bila digunakan dalam pembakaran seperti:

- a. Bebas dari unsur-unsur pengotor.
- b. Kondisi pembakaran mudah diatur.
- c. Lebih mudah disalurkan dalam pipa-pipa (saluran).
- d. Mampu menghasilkan efisiensi tinggi, karena kelebihan udara yang digunakan biasanya sedikit karena udara dan bahan bakar langsung bercampur dan terbakar.

2.9.2 Proses Pembuatan Biogas

Pembentukan biogas merupakan proses biologis. Bahan dasar yang digunakan adalah bahan organik yang akan berfungsi sebagai sumber karbon yang merupakan sumber dari pertumbuhan dan aktivitas bakteri. Bahan yang dapat digunakan yaitu bahan *biodegradable* seperti biomassa (bahan organik bukan fosil), kotoran, sampah

padat hasil aktivitas perkotaan dan lain-lain. Akan tetapi, biogas biasanya dibuat dari kotoran ternak seperti kerbau, sapi, kambing, kuda dan lain – lain. (www.wikipedia.org).

Proses pembuatan biogas dilakukan secara fermentasi yaitu proses mikrobiologis yang merupakan proses metabolisme sel. Fermentasi sendiri dapat terjadi secara aerobik maupun anaerobik. Biogas dihasilkan dalam proses fermentasi anaerobik

Reaksi kimia pembuatan biogas ada 3 tahap (Price dan Cheremisinoff, 1981). , yaitu :

1. Reaksi Hidrolisa / Tahap Pelarutan Bahan-Bahan Organik

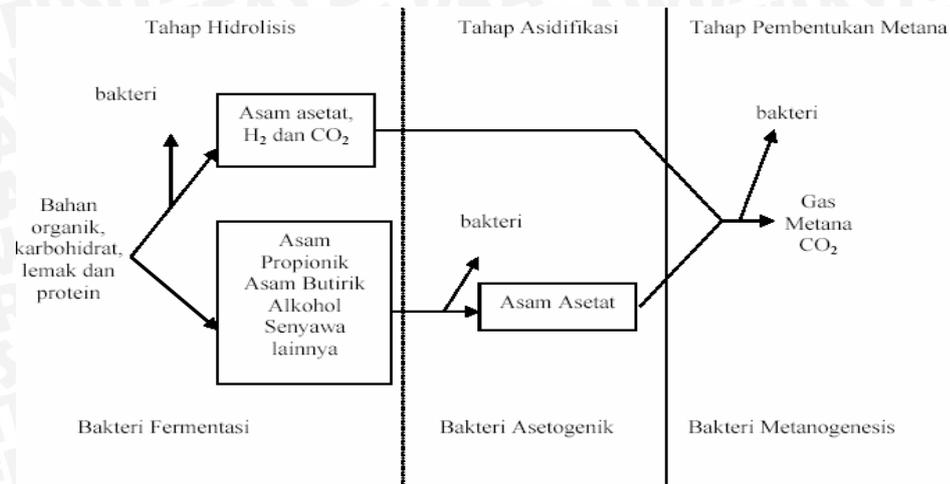
Pada tahap ini bahan yang tidak larut seperti selulosa, polisakarida dan lemak diubah menjadi bahan yang larut dalam air seperti karbohidrat dan asam lemak. Bakteri memutuskan rantai panjang karbohidrat kompleks, protein, dan lipida menjadi senyawa rantai pendek. Sebagai contoh polisakarida diubah menjadi monosakarida.

2. Reaksi Asidifikasi / Tahap pengasaman (reaksi nonmetagonik)

Pada tahap ini, bakteri asam mengubah senyawa rantai pendek pada tahap hidrolisis menjadi asam asetat dalam suasana anaerob. Bakteri yang berperan dalam proses ini adalah bakteri anaerobik yang dapat tumbuh dan berkembang dalam keadaan asam seperti *Pseudomonas*, *Flavobacterius*, *Alcaligenes*, *Escherichia*, dan *Aerobacter*. Pembentukan asam pada kondisi anaerobic tersebut penting untuk pembentukan gas metana pada proses selanjutnya.

3. Reaksi Metanogenik / Tahap gasifikasi

Pada tahap ini, bakteri metana membentuk gas metana secara perlahan secara anaerob. Pada proses ini akan dihasilkan CH_4 , CO_2 , sedikit N_2 , H_2 dan H_2S . Bakteri yang berperan dalam proses ini adalah *Methanobacterium*, *Methanosarcina*, dan *Methanococcus*. Bakteri penghasil asam dan gas metana bekerja sama secara simbiosis. Bakteri penghasil asam membentuk keadaan atmosfer yang ideal untuk bakteri penghasil metana sedang bakteri penghasil metana menggunakan asam yang dihasilkan bakteri penghasil asam untuk menghasilkan metana. Proses pembentukan biogas dapat dilihat pada gambar 2.9 di bawah ini:



Gambar 2.9 Proses pembentukan biogas
Sumber: Sufyandi (2001)

Sistem produksi biogas dibedakan menurut cara pengisian bahan bakunya, yaitu pengisian curah dan pengisian kontinyu:

a. Pengisian curah

Yang dimaksud dengan sistem pengisian curah (SPC) adalah cara pengantian bahan yang dilakukan dengan mengeluarkan sisa bahan yang sudah dicerna dari tangki pencerna setelah produksi biogas berhenti, dan selanjutnya dilakukan pengisian bahan baku yang baru.

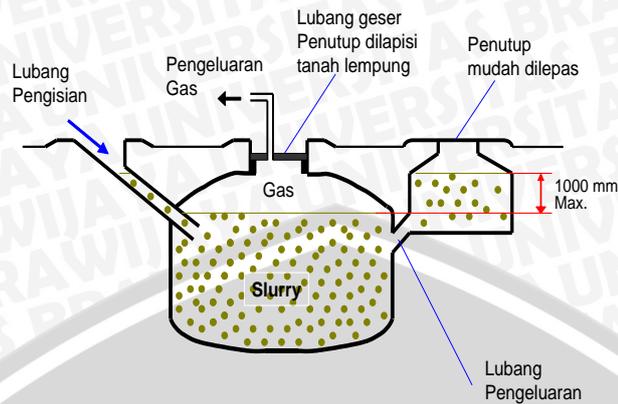
b. Pengisian kontinyu

Yang dimaksud dengan pengisian kontinyu (SPK) adalah bahwa pengisian bahan baku kedalam tangki pencerna dilakukan secara kontinyu (setiap hari), tanpa harus mengeluarkan bahan yang sudah dicerna. Bahan baku segar yang diisikan setiap hari akan mendorong bahan isian yang sudah dicerna keluar dari tangki pencerna melalui pipa pengeluaran

Dilihat dari konstruksinya, pada umumnya digester biogas dapat digolongkan dalam dua jenis, yaitu:

a. *Fixed Dome* (Tangki Tetap)

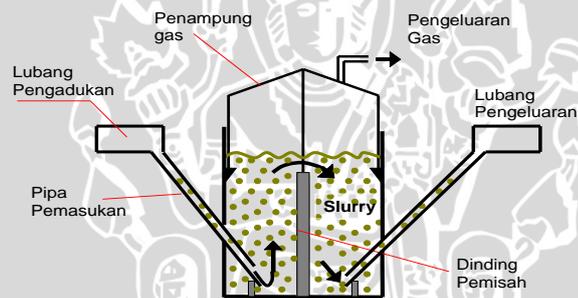
Digester yang memiliki volume tetap sehingga produksi biogas akan meningkatkan tekanan di dalam *digester*. seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.10 berikut:



Gambar 2.10 Digester tipe *fixed dome* (China)
 Sumber: Nurhasanah (2008)

b. Floating Dome (Tangki Terapung)

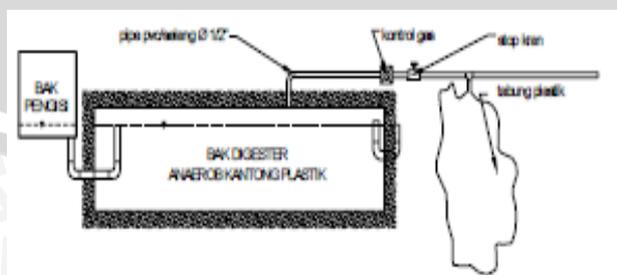
Digester jenis ini bisa bergerak untuk menyesuaikan dengan kenaikan tekanan *digester*, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.11 berikut:



Gambar 2.11 Digester tipe *floating dome* (India)
 Sumber: Nurhasanah (2008)

c. Baloon Plant

Digester yang terbuat dari plastik, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.12 berikut:



Gambar 2.12 Digester tipe *Baloon Plant*
 Sumber: Nurhasanah (2008)

2.9.3 Proses Pembuatan Biogas di Pondok Pesantren Nurul Haromain

Bahan yang digunakan adalah kotoran sapi yang dicampur dengan urine sapi dan air, kemudian diaduk dalam kolam pengaduk sampai tercampur secara merata, setelah ketiga bahan tersebut tercampur secara merata kemudian dimasukkan ke dalam *digester* melalui saluran masuk (*inlet*) untuk kemudian didiamkan. Di dalam *digester* terjadi proses fermentasi oleh bakteri *anaerobic* hingga menghasilkan biogas, biogas yang terbentuk akan mengisi ruangan yang kosong pada *digester* dan mengalir melalui saluran yang telah disediakan pada bagian atas dan mendorong *slurry* keluar melalui saluran keluar (*outlet*) menuju kolam keluaran. Sistem pengisian yang digunakan menggunakan sistem pengisian kontinu (SPK) dan tipe *digester* yang digunakan adalah tipe *fixed dome*.

2.9.4 Komposisi dan Nilai Kalor Biogas

Produksi biogas dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kualitas bahan isian, perbandingan C/N, temperatur, perbandingan air dan bahan padat, macam bakteri serta pH isian. Derajat keasaman yang paling optimum bagi kehidupan bakteri adalah pH 6,8 – 8 dan temperatur optimum antara 30-35 °C. Komposisi biogas yang digunakan dalam penelitian ini dibatasi pada komposisi yang paling besar yakni CH₄ dan CO₂ seperti yang ditunjukkan dalam lampiran 2.

Energi yang terkandung dalam biogas tergantung dari konsentrasi metana (CH₄). Semakin tinggi kandungan metana maka semakin besar kandungan energi (nilai kalor) pada biogas, dan sebaliknya semakin kecil kandungan metana semakin kecil nilai kalor. Kualitas biogas dapat ditingkatkan dengan memperlakukan beberapa parameter yaitu dengan menghilangkan hidrogen sulphur, kandungan air dan karbon dioksida (CO₂). Nilai kalor biogas dapat dihitung dengan persamaan :

$$LHV_{biogas} = \frac{V_{CH_4}}{V_{total}} \times LHV_{CH_4} \times \rho_{CH_4} \quad (\text{Mitzlaff, 1988: 26}) \quad (2-8)$$

Dimana: LHV_{biogas} = nilai kalor biogas (kJ/m³)

LHV_{CH₄} = nilai kalor CH₄ (kJ/kg)

V_{CH₄} = volume CH₄ (m³)

V_{total} = volume biogas (m³)

ρ_{CH₄} = massa jenis CH₄ (kg/m³)

2.9.5 Teknik Pemurnian Biogas

Penelitian yang dilakukan oleh Rao dan Rubin (2002) menyatakan banyak metode yang bisa digunakan untuk memisahkan CO₂ dalam biogas, seperti: proses *cryogenic* (pendinginan), proses absorpsi *pressure swing absorption* (PSA), absorpsi dengan bongkahan serbuk besi, proses pelarutan dan difusi dengan teknologi membran dan absorpsi secara kimiawi. Cara pemisahan dengan proses *cryogenic* membutuhkan tekanan yang tinggi dimana CO₂ yang dihasilkan berupa larutan sedangkan dengan proses absorpsi kapasitasnya terlalu kecil. Cara pemisahan dengan menggunakan membran juga sulit untuk dilakukan. Saat ini yang paling banyak digunakan untuk memisahkan CO₂ dalam biogas adalah dengan menggunakan proses absorpsi secara kimia.

Proses absorpsi kimia adalah proses absorpsi gas menggunakan pelarut dengan reaktan (pereaksi) yang dapat bereaksi dengan komponen gas yang terlarut. Penggunaan pelarut kimia ini dimaksudkan untuk meningkatkan laju reaksi pelarut dalam menyerap CO₂. Proses ini secara prinsip melibatkan dua proses penting yaitu proses absorpsi secara fisik dan reaksi kimia. Adanya reaksi kimia inilah yang dapat meningkatkan kemampuan pelarut dalam menyerap gas (CO₂). Dalam penelitian ini digunakan teknik pemurnian secara absorpsi kimia dengan menggunakan reaktan kalium hidroksida (KOH).

2.10 Kalium Hidroksida

2.10.1 Kalium

Kalium atau potassium adalah unsur kimia dalam tabel periodik kimia yang memiliki simbol K dengan nomor atom 19. Kalium memiliki ciri – ciri diantaranya, logam lunak berwarna putih keperakan dan termasuk logam reaktif sehingga tidak ditemukan dalam keadaan bebas melainkan berupa senyawa.

Kalium termasuk golongan logam alkali, secara alami kalium ditemukan sebagai senyawa dengan unsur lain dalam air laut atau mineral lainnya. Kalium teroksidasi dengan sangat cepat dengan udara, sangat reaktif terutama dengan air, dan secara kimia memiliki sifat yang mirip dengan natrium.

2.10.2 Hidroksida

Hidroksida adalah suatu ion poliatomik yang terdiri dari oksigen dan hidrogen (OH⁻). 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.

2.10.3 Kalium Hidroksida

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



Kalium Hidroksida bereaksi menghasilkan ion-ion hidroksida dan ion Kalium 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.

Kalium Hidroksida (KOH) memiliki ciri diantaranya bentuknya padat kristalin, butiran dan batangan dan berat molekul 56 g/mol. Senyawa ini tidak stabil bila berada dalam udara terbuka dan cenderung membentuk karbonat, selain itu tidak berwarna serta menimbulkan panas apabila direaksikan dengan asam, dan mampu mengabsorpsi dengan cepat CO₂ dan H₂O. KOH banyak digunakan sebagai bahan baku laboratorium, industri, dan farmasi. Selain beberapa hal di atas pada dasarnya KOH memiliki fungsi utama sebagai aktifator kimia. Gambar KOH ditunjukkan oleh gambar 2.13 berikut ini:



Gambar 2.13 Kalium hidroksida
Sumber: Dokumentasi pribadi

2.11 Mekanisme Pengikatan CO₂ Oleh KOH

Ketika larutan KOH ditambahkan pada biogas, maka gas CO₂ langsung bereaksi dengan larutan KOH sedangkan CH₄ tidak. Dengan berkurangnya konsentrasi CO₂ sebagai akibat reaksi dengan KOH, maka perbandingan konsentrasi CH₄ dan CO₂ menjadi lebih besar untuk konsentrasi CH₄. Absorpsi CO₂ dari campuran biogas ke dalam larutan KOH dapat dilukiskan sebagai berikut:



2.12 Laju Reaksi

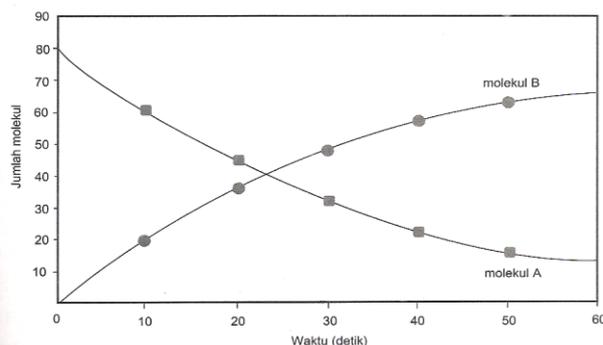
2.12.1 Pengertian

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 (mol dm⁻³ s⁻¹). Satuan mol dm⁻³ atau molaritas (M), merupakan satuan konsentrasi larutan. Penjelasan tentang laju reaksi dapat dilihat pada gambar 2.14 sebagai berikut:



Gambar 2.14 Grafik jumlah molekul terhadap waktu.
Sumber: Sudarmo (2006: 77)

2.12.2 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 :

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

2.12.3 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.

2.13 Molaritas

Molaritas merupakan salah satu cara untuk menyatakan konsentrasi larutan, selain molalitas, normalitas maupun fraksi mol. Molaritas menyatakan jumlah mol zat yang terlarut dalam satu liter larutan. Keuntungan menggunakan satuan molar adalah kemudahan perhitungan dalam stoikiometri, karena lebih mudah untuk mengukur volume larutan dengan menggunakan gelas ukur yang telah dikalibrasi secara cermat. Molaritas dilambangkan dengan notasi M dan satuannya adalah mol/liter. Rumus yang digunakan untuk mencari molaritas larutan adalah:

$$M = \frac{n}{V} \quad (\text{Utami, 2009: 78}) \quad (2-10)$$

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

$$M = n \cdot \frac{1000}{mL} \quad \text{atau} \quad M = \frac{g}{Mr} \cdot \frac{1000}{mL} \quad (\text{Utami, 2009: 79}) \quad (2-11)$$

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

2.14 Hipotesa

Semakin besar konsentrasi KOH yang ditambahkan, maka akan mengakibatkan meningkatnya laju reaksi pengikatan CO_2 dalam biogas, sehingga panas hasil pembakaran semakin besar, kenaikan panas hasil pembakaran akan meningkatkan kinerja dari motor bensin.