BAB II
DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Menurut Ditjen PPHP., (2009) indonesia memiliki jumlah hewan ternak yang tergolong besar terdiri dari 16.034.337 ekor sapi potong, 621.980 ekor sapi perah dan 1.378.153 ekor kerbau. Satu ekor sapi mampu menghasilkan 4 kg kotoran per hari oleh karena itu kotoran sapi dapat diproyeksikan mencapai 72,1 juta kg. Oleh karena itu apabila biogas yang dihasilkan sebesar 0,31 m^3/kg kotoran padatan, maka akan dihasilkan biogas sebanyak 22,35 juta m^3 biogas. Biogas sebanyak ini dapat menghematan 13,86 juta liter minyak, 10,28 juta kg LPG, 17,88 liter bensin, dan 78,23 ribu ton kayu bakar.

Penelitian yang dilakukan oleh Artayana (2014). Biogas atau metana dapat digunakan seperti gas alam. Pemanfaat kotoran ternak sapi menjadi biogas dapat dijadikan cara alternatif sebagai pengganti LPG atau natural gas, dimana 1,7 m^3 biogas setara dengan 1 liter *gasoline.* Pupuk sapi yang dihasilkan dari satu sapi dalam satu tahun dapat dikonversi menjadi gas metana yang nilainya setara dengan 200 liter *gasoline.* Gas yang diperoleh dapat dimanfaatkan menjadi bahan bakar generator. 1 m^3 biogas dapat digunakan untuk menyalakan lampu 60 Watt selama 7 jam. Hal ini berarti bahwa 1 m^3 biogas menghasilkan energi = 60 W x 7 jam = 420 Wh = 0,42 kWh. Dalam pemanfaatannya kandungan gas CH_4 ini mempunyai nilai panas / kalor yang dapat digunakan sebagai bahan bakar. Untuk gas metana murni 100% mempunyai nilai kalor 8900 kKal/m^3 oleh karena itu biogas dapat menjadi bahan bakar pengganti bensin pada generator. (Widodo dkk, 2005).

Biogas yang terbuat dari kotoran ternak sapi memiliki kandungan gas CH_4 sebesar 55 – 65 %, gas CO_2 sebesar 30 – 35 %, gas hidrogen (H_2), gas nitrogen (N_2) dan gas – gas lain. Panas yang dihasilkan dari biogas itu sendiri mencapai 600 BTU/cu ft *(British Thermal Unit/*Cubic Feet*)*. Biogas yang terbuat dari gas alam mengandung gas CH_4 sebesar 80 % dengan panas sebesar 1000 BTU/cuft.

Gas CO_2 dan gas H_2S bersifat korosif apa bila keberadaannya tidak dipisahkan akan mengurangi kandungan gas metana CH_4 yang ada dalam biogas (Sunaryo, 2014). Kandungan metana (CH_4) pada biogas sangat besar dan nilai kalornya yang cukup tinggi yaitu mencapai 4.800 kKal/m^3 - 6.700 kKal/m^3. Biogas sangat bagus apa bila dijadikan sebagai sumber energi. (Anggito, 2014)

Wahyuni, (2013) berpendapat bahwa biogas yang dihasilkan oleh biodigester sebagian besar terdiri dari 50 – 70% metana (CH_4), 30 – 40% karbondioksida (CO_2), dan gas lainnya dalam jumlah kecil. Biogas terbentuk pada hari ke 4 – 5 sesudah biodigester terisi penuh, dan mencapai puncak pada hari ke 20 – 25. Kualitas biogas dapat ditingkatkan dengan memperlakukan beberapa parameter yaitu Menghilangkan hidrogen sulphur, kandungan air dan karbondioksida (CO2).

Gas H_2S merupakan gas pengotor apa bila terbakar dan keberadaannya tersebar bebas maka akan teroksidasi menjadi SO_2 dan SO_3 yang mengakibatkan korosif. Apa bila teroksidasi lebih lanjut oleh H_2O dapat memicu terjadinya hujan asam. H_2S dan CO_2 merupakan gas yang sangat berpengaruh terhadap terjadinya pembakaran. Gas ini harus dihilangkan karena tidak bermanfaat pada saat proses pembakaran (Artayana, 2014).

Daya pada genset dipengaruhi oleh jumlah bahan bakar yang dibakar di dalam ruang bakar. Semakin besar CH_4 yang dibakar maka semakin besar pula daya yang dihasilkannya.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Biogas

Biogas merupakan gas produk akhir dari pencernaan anaerobik dari bahan-bahan organik, bakteri-bakteri anaerobik antara lain yaitu tinja kotoran manusia, hewan dan limbah yang dihasilkan dari rumah tangga (domestik). komponen terbesar penyusun utama biogas adalah metana CH_4 50 - 70 % dan karbon dioksida CO_2 30 - 40 %. Namun komposisi biogas bervariasi tergantung dengan proses anaerobik yang terjadi.

Tabel 2.1. Kandungan Biogas

Komponen	Persentase
Metan (CH_4)	50-70%
Karbondioksida (CO_2)	30-40%
Air (H_2O)	0,3%
Hidrogen sulfide (H_2S)	Sedikit sekali
Nitrogen (N_2)	1- 2%
Hidrogen	5-10%

(Sumber : Kadarwati, 2003)

Biogas sangat bagus apa bila dijadikan sebagai sumber energi terbarukan. Kandungan metana (CH_4) pada biogas sangat besar dan nilai kalornya yang cukup tinggi yaitu mencapai 4.800 kKal/m^3 - 6.700 kKal/m^3 (Anggito, 2014).

Kandungan energi yang dimiliki biogas tidak kalah dari kandungan energi yang terdapat pada bahan bakar fosil. Nilai kalori dari 1 m^3 biogas setara dengan 0,6 – 0,8 liter minyak tanah. Untuk menghasilkan listrik 1 Kwh dibutuhkan 0,62 – 1 meter kubik biogas yang setara dengan 0,52 liter minyak solar. Oleh sebab itu biogas sangat bagus apa bila digunakan sebagai penganti minyak tanah, LPG dan bahan bakar fosil yang lain (Wahyuni, 2013).

Tabel 2.2. Nilai kesetaraan biogas dan energi lainnya

Aplikasi	1m^3 Biogas setara dengan
1 m^3	a. Elpiji 0,46 kg b. Minyak tanah 0,62 liter c. Minyak solar 0,52 liter d. Bensin 0,8 liter e. Kayu bakar 3,50 kg f. Listrik 4,7 kWh

(Sumber : Suyitno, 2009)

2.2.2. Energi Yang Terkandung Dalam Biogas

Energi yang terkandung dalam biogas tergantung dari konsentrasi metana CH_4. Besar kecilnya kandungan energi (nilai kalor) yang dimiliki pada biogas bisa dilihat dari seberapa besar kandungan metananya, apabila kandungan metanya besar maka nilai kalor yang dimiliki oleh biogas tersebut juga relatif tinggi dan sebaliknya apabila semakin sedikit kandungan metananya maka semakin kecil pula nilai kalornya. Kualitas biogas dapat ditingkatkan dengan memperlakukan beberapa parameter yaitu menghilangkan hidrogen sulphur, kandungan air dan karbondioksida CO_2. Hidrogen sulphur mengandung racun dan zat yang menyebabkan korosi, bila biogas mengandung senyawa ini maka akan menyebabkan gas yang berbahaya. Gas hidrogen sulphur akan lebih berbahaya apabila terbakar karena gas hidrogen sulphur akan membentuk senyawa baru bersama–sama oksigen, yaitu sulphur dioksida / sulphur trioksida (SO_2 / SO_3). Senyawa ini lebih beracun pada saat yang sama akan membentuk asam sulfat (H_2 SO_3) suatu senyawa yang lebih korosif. Parameter yang kedua adalah menghilangkan kandungan karbon dioksida yang memiliki tujuan untuk meningkatkan kualitas, sehingga gas dapat digunakan untuk bahan bakar kendaraan. Kandungan air dalam biogas akan menurunkan titik penyalaan biogas serta dapat menimbukan korosif. (Anggito, 2014)

Tabel 2.3. Kandungan Bahan Kering

Jenis	Banyaknya Tinja (kg/hari)	Kandungan Bahan kering (%)	Biogas yang dihasilkan (m^3/kg.BK)
Gajah	30	18	0,018 – 0,025
Sapi	25 – 30	20	0,023 – 0,040
Kambing/ Domba	1,13	26	0,040 – 0,059
Ayam	0,18	28	0,065 – 0,116
Itik	0,34	38	0,065 – 0,116
Babi	7	9	0,040 – 0,059
Manusia	1,25 – 0,4	23	0,020 – 0,028

(Sumber : Susi Panjaitan, 2010)

2.2.3. Kandungan Biogas kelompok ternak sapi Pandan Mulyo Bantul

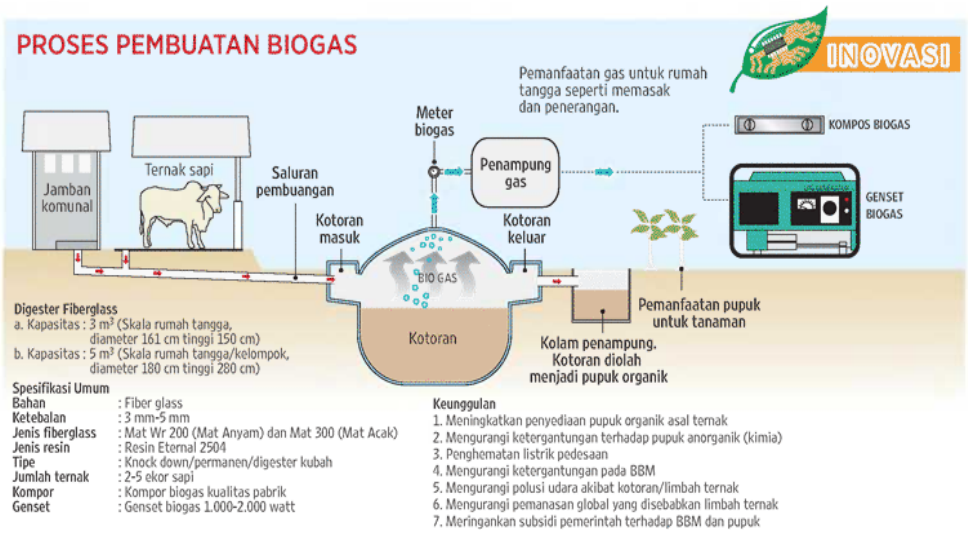
Sebelum biogas digunakan sebagai penganti bensin pada bahan bakar generator maka perlu adanya pengujian terlebih dahulu. Pengujian pada biogas harus dilakukan guna untuk mengetahui kandungan gas yang ada pada bahan baku dari biogas itu sendiri. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kandung gas yang berada didalam biogas, yang selanjutnya biogas dipergunakan sebagai bahan bakar generator . Kandungan gas yang baik pada biogas yaitu mengandung kadar gas Metana (CH_4) yang tinggi dibandingkan dengan gas lain seperti Karbondioksida (CO_2) , Hidrogen Sulfida (H_2S). Apabila kadar gas Metana (CH_4) yang berada dalam biogas tinggi maka semakin tinggi pula kalor yang dihasilkan. Berikut adalah hasil pengujian komposisi biogas yang diambil dari kelompok ternak sapi Pandan Mulyo Bantul.

Tabel 2.4. Kandungan Biogas

No	Komponen	Jumlah (%)
1	CH_4	41,94
2	CO_2	32,46

Sumber : Lab. Pegelolaan limbah FTP UGM

2.2.4. Proses Pembentukkan Biogas



Gambar 2.1. Proses Pebuatan Biogas
(Sumber : Saputri dkk, 2014)

Proses pembentukkan biogas di dalam digester disebut dengan fermentasi *anaerob* (pembusukkan tanpa oksigen). Proses fermentasi *anaerob* di dalam digester dibagi dalam 3 tahapan yaitu:

a. Hidrolisa merupakan perubahan zat organik menjadi bahan cairan mikroba oleh mikroba asam
b. Asidifikasi adalah perubahan organik cair menjadi asam – asam organik oleh mikroba asam
c. Metanasi adalah perubahan asam organik menjadi metana, karbon dioksida, asam sulfida, nitrogen, dan sel-sel mikroba oleh mikroba ametanasi

Pada proses pengasaman komponen monomer (gula sederhana) yang terbentuk pada tahap hidrolisis akan berubah menjadi bahan makanan bagi bakteri pembentuk asam. Produk akhir dari gula-gula sederhana pada tahap ini akan dihasilkan asam asetat, propionat, format, laktat, alkohol, dan sedikit butirat, gas karbon dioksida, hidrogen dan amoniak. Sedangkan pada tahap metanogenik adalah proses pembentukan gas metana.

Prinsip terjadinya biogas adalah fermentasi anaerob bahan organik yang di lakukan oleh mikroganisme sehingga menghasilkan gas yang mudah terbakar (*flammable*). Secara kimia, reaksi yang terjadi pada pembuatan biogas cukup panjang dan rumit, meliputi tahap hidrolisis, tahap pengasaman, dan tahan metanogenik, pembuatan biogas relatif mudah di lakukan. (Anggito, 2014)

syarat-syarat pembuatan biogas yaitu :

a. Kedap Udara atau Anaerob

   Terbentuknya biogas dipengaruhi adanya proses fermentasi bahan-bahan organik oleh mikroorganisme anaerob. Oleh sebab itu instalasi yang digunakan untuk pengolah biogas harus kedap udara.
b. Bahan Pengisian

   Bahan baku yang digunakan berupa bahan organik seperti kotoran ternak, sisa dapur dan sampah organik. Bahan baku isian harus terhindar dari bahan anorganik seperti pasir, batu, plastik, dan beling
c. Derajat Keasaman (pH)

Kehidupan mikroorganisme sangat dipengaruhi oleh derajat keasaman. Derajat keasaman yang baik guna untuk berlangsungnya kehidupan mikroorganisme yaitu 6,8-7,8. Pada tahap awal fermentasi bahan organik akan terbentuk asam (asam organik yang akan menurunkan pH)

d. Imbangan C/N

Kotoran sapi memiliki nilai kandungan C/N kisaran 18. Imbangan karbon (C) dan nitrogen (N) yang terdapat dalam bahan organik sangat berperan aktif guna untuk menentukan kehidupan mikroorganisme. 25-30 merupakan nilai Imbangan C/N yang optimum bagi mikroorganisme.

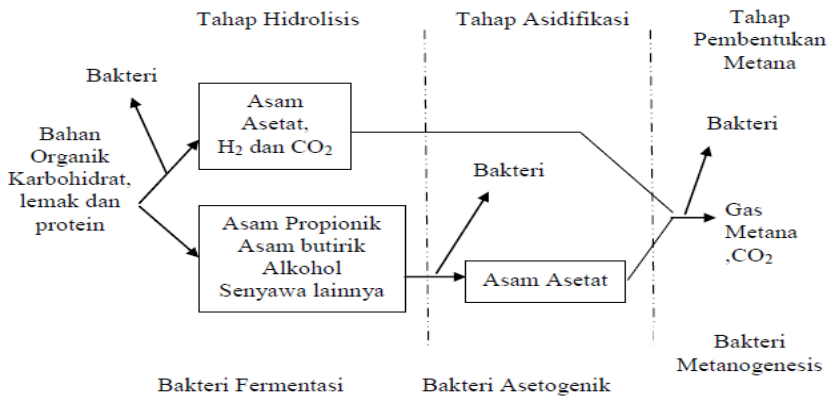
e. Temperatur

Penurunan temperatur didalam digester secara tiba-tiba akan mempengaruhi produksi biogas. Langah yang mudah untuk menstabilkan temperatur yaitu dengan memberikan penutup diatas digester. Hal ini bertujuan supaya digester tidak terkena sinar matahari secara langsung

f. Starter

Starter diperlukan guna untuk mempercepat terjadinya proses perombakan bahan organik hingga menjadi biogas. Starter merupakan mikroorganisme perombak yang berupa lumpur aktif organik atau cairan isi rumen. Starter juga ada yang dijual secara komersial namun pada proses pembuatan biogas kotoran kambing tidak menggunakan starter. Sehingga membutuhkan waktu fermentasi yang lebih lama.

Fermentasi *anaerob* saat proses pembentukan biogas secara biologis dan kimia dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.2. Proses Pembentukan Biogas
(Sumber : Mayasari, 2010)

2.3. Digester

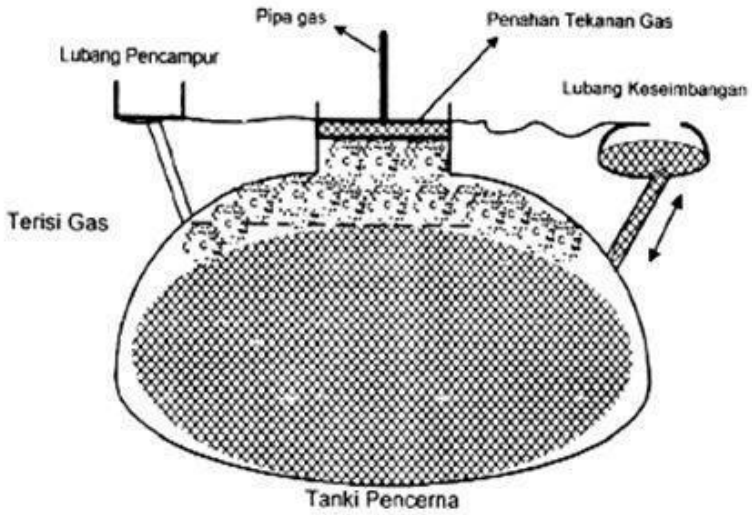
Proses terjadinya pembuatan biogas dengan menggunakan *biodigester* pada prinsipnya yaitu dengan menciptakan suatu tempat kedap udara dengan bagian–bagian pokok seperti tangki pencerna (*digester tank*), lubang input bahan baku, lubang *output* lumpur sisa hasil pencernaan (*slurry*) dan lubang penyaluran biogas. Dalam digester terkandung bakteri metana yang akan mengolah limbah organik menjadi biogas. Ada beberapa macam reaktor biogas yang sering digunakan antara lain (Wahyuni, 2013). :

1. Reaktor Kubah Tetap (*Fixed Dome*)

   Reaktor ini pertama kali dibuat di Cina pada tahun 1930, sejak saat itulah reaktor ini berkembang dengan berbagai model. Reaktor ini memiliki 2 bagian. Bagian yang pertama adalah digester sebagai tempat pencerna material biogas dan sebagai rumah bagi bakteri, baik bakteri pembentuk asam maupun bakteri pembentuk gas metana.

   Bagian dari reaktor kubah tetap dibuat dengan kedalaman yang bervariasi dengan menggunakan batu, batu bata atau beton. Reaktor ini harus memiliki daya tahan yang kuat guna untuk menahan gas agar tidak terjadi kebocoran. Bagian kedua yaitu kubah tetap (*fixed dome*).

Dinamakan kubah tetap karena bentuknya menyerupai kubah dan bagian ini merupakan pengumpul gas yang tidak bergerak (*fixed*). Gas yang dihasilkan dari material organik pada digester akan mengalir dan disimpan di bagian kubah. Kelebihan dari reaktor ini biaya dalam pembuatan konstruksi lebih murah dari pada menggunakan reaktor terapung karena tidak memiliki bagian bergerak yang menggunakan besi. Sedangkan kekurangan dari reaktor ini adalah seringnya terjadi kehilangan gas pada bagian kubah karena konstruksi tetapnya.



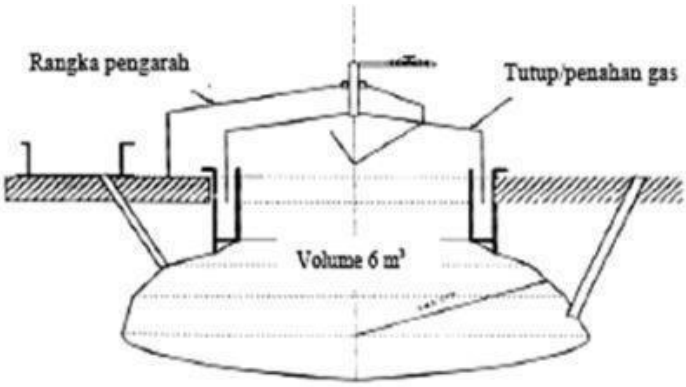
Gambar 2.3. Reaktor Kubah Tetap (*Fixed Dome*)
(Sumber : Mayasari, 2010)

2. Reaktor Terapung (*Floating Drum Reactor*)

Reaktor jenis terapung pertama kali dikembangkan di India pada tahun 1937. Reaktor ini juga memiliki bagian digester yang sama dengan reaktor kubah tetap. Perbedaannya terletak pada bagian penampung gas yang menggunakan drum yang bergerak. Drum ini dapat bergerak naik-turun yang berfungsi untuk menyimpan gas. Pergerakan drum mengapung pada cairan tergantung dari jumlah gas yang dihasilkan.

Kelebihan dari reaktor ini adalah dapat melihat secara langsung volum gas yang tersimpan pada drum karena pergerakannya. Karena

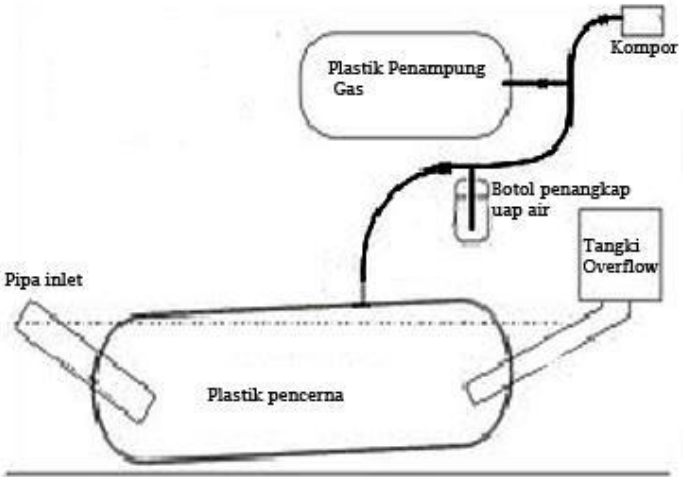
tempat penyimpanannya yang terapung maka tekanan gas konstan. Sedangkan kekurangannya adalah biaya material konstruksi dari drum lebih mahal. Faktor korosi pada drum juga menjadi masalah sehingga bagian pengumpul gas pada reaktor ini memiliki umur yang lebih pendek dibandingkan tipe kubah tetap.



Gambar 2.4. Reaktor Terapung (Floating Drum Reactor)
(Sumber : Mayasari, 2010)

3. Reaktor Balon (*Balloon Reactor*)

Reaktor balon merupakan jenis reaktor yang banyak digunakan pada skala rumah tangga, reaktor ini menggunakan bahan plastik sehingga lebih efisien dalam penanganan dan perubahan tempat penyimpanan biogas. Reaktor ini terdiri dari beberapa bagian yang berfungsi sebagai digester dan sebagai penyimpan gas yang berhubungan tanpa sekat. Material organik terletak di bagian bawah karena memiliki berat yang lebih besar dibandingkan gas yang akan mengisi pada rongga atas.



Gambar 2.5. Reaktor Balon (*Balloon Reactor*)
(Sumber : Mayasari, 2010)

4. Reaktor *Fiberglass*

Fiberglass merupakan reaktor yang banyak diminati pada skala rumah tangga dan pada skala industri. Reaktor ini menggunakan bahan *fiberglass* sehingga lebih efisien dalam penangganannya ketika melakukan pemindahan tempat. Reaktor ini terdiri atas satu bagian yang berfungsi sebagai digester sekaligus penyimpanan gas yang masing-masing bercampur dalam satu ruangan tanpa adanya pemisah/sekat. Reaktor yang terbuat dari *fiberglass* sangat efisien karena kedap, ringan dan kuat.

2.4. Motor Bakar

Motor bakar merupakan suatu pesawat kalor yang digunakan untuk mentransformasikan energi panas menjadi suatu energi mekanik, dimana proses perubahan tersebut terjadi karena adanya suatu proses pembakaran campuran bahan bakar dan udara yang menghasilkan suatu energi panas yang dikonversikan menjadi suatu energi mekanik yang berguna melalui suatu konstruksi mesin. Motor bakar terdiri dari motor dengan kerja bolak balik (*reciprocating engine*) dan motor dengan kerja putar (*rotary engine*). Motor dengan bahan bakar bensin dengan bantuan karburator untuk mencampur terlebih dahulu bahan bakar dan udara didalam karburator sebelum dimasukkan ke dalam silinder (ruang bakar). Bahan bakar dan udara yang sudah tercampur dan masuk kedalam ruang bakar

akan dibakar oleh keluarnya bungga api listrik yang keluar dari kedua elektroda busi. Oeleh sebab itu motor bensin juga bisa disebut sebagai *Spark Ignition Engines.*

2.4.1. Motor Bensin

Motor bensin merupakan suatu motor yang dapat menghasilkan tenaga dari proses pembakaran bahan bakar (campuran bahan bakar dan udara) didalam ruang bakar. Karena proses pembakaran bahan bakarnya terjadi didalam ruang bakar, maka motor bensin ini tergolong kedalam jenis motor pembakaran dalam (*Internal Combustion Engine*). Motor bensin mengubah energi termal bahan bakar menjadi energi mekanik berupa daya poros pada putaran poros engkol. Motor bensin ini dilengkapi dengan busi dan karburator yang memiliki peran penting dalam proses pembakaran. Karburator dalam motor bensin digunakan sebagai tempat pencampuran udara dan bensin / bahan bakar, pencampuran bahan bakar dan udara guna untuk menjadikan bentuk kabut/gas. Campuran bahan bakar tersebut dapat terbakar oleh percikan bunga api listrik dari busi di dalam ruang bakar. Setelah campuran bahan bakar dan udara keluar dari karburator berbentuk gas, maka campuran bahan bakar tersebut diisap (masuk) kedalam ruang bakar melalui katup masuk. Kemudian didalam ruang bakar menjelang akhir langkah kompresi, loncatan bunga api listrik dari busi membakar campuran bahan bakar ini sehingga terjadilah proses pembakaran yang kemudian dapat menghasilkan daya motor. Motor bensin (*Spark Ignition Engine*) menurut prinsip kerjanya, dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu motor bensin dua langkah (*two stroke*) dan motor bensin empat langkah (*four stroke*). Motor bensin 2 langkah memerlukan 2 kali langkah torak untuk 1 kali pembakaran dan 1 kali langkah kerja dalam 1 kali putaran poros engkol. Sedangkan motor bensin 4 langkah memerlukan 4 langkah torak untuk 1 kali pembakaran dan 1 kali langkah kerja dalam 2 kali putaran poros engkol.

2.4.2. Karburator

Karburator berfungsi untuk mengubah bahan bakar cair menjadi kabut / gas. Karburator dbuat untuk membuat campuran udara dan bahan bakar pada perbandingan yang tepat. Bahan bakar cair dan udara didapatkan campuran bahan bakar berbentuk kabut / gas sebelum masuk kedalam ruang bakar. Kebutuhan bahan bakar dapat disuplai secara optimal sesuai dengan putaran mesin. Beberapa hal yang perlu dipahami sebelum mengetahui prinsip kerja karburator adalah sebagai berikut :

1. Tekanan atmosfir

   Tekanan atmosfir merupakan tekanan udara yang berada disekeliling kita.

2. Kevakuman

   Vakum merupakan suatu kondisi atau keadaan dimana sama sekali tidak terdapat udara / hampa dalam suatu ruangan yang tertutup.

3. Prinsip Kerja Venturi

   Pada venturi, terjadi penyempitan suatu ruangan sehingga menyebabkan tekanan udara menjadi turun, dan sebaliknya kecepatannya akan naik. Bahan bakar yang terhisap dan keluar dari pelampung disebabkan oleh adanya tekanan yang rendah pada venturi, sedangkan besarnya venturi ini dipengaruhi oleh perubahan ketinggian pada *throttle valve*.

4. Ruang Pelampung (*float chamber*)

   Fungsi dari ruang pelampung ini yaitu sebagai tempat penampungan dan penyuplaian bahan bakar yang akan dikabutkan menuju kedalam ruang bakar. Pelampung dan Katup pelampung (float *valve*) berfungsi untuk mengatur banyaknya bahan bakar yang ada didalam ruang pelampung.

5. *Choke Valve*

   Choke valve digunakan untuk memperkaya atau memperbanyak campuran bahan bakar dan udara pada saat motor start dingin. Pada jenis motor tertentu, misalnya sepeda motor suzuki, choke valve tidak digunakan untuk membuka atau menutup saluran udaranya, namun digunakan untuk menambah jumlah bahan bakar yang akan masuk menuju ruang bakar, sehingga didapatkan campuran yang kaya.

6. *Piston Valve*

   Besarnya venturi dalam karburator, diatur oleh Piston valve ini. Dengan diaturnya besar venturi pada karburator oleh piston valve ini, maka kecepatan udara yang akan masuk ke ruang bakar menjadi berubah. Piston valve mengatur jumlah bahan bakar yang masuk ke ruang bakar dengan cara mengatur lebarnya pembukaan pada piston valve.

7. Sekrup Penyetel Udara

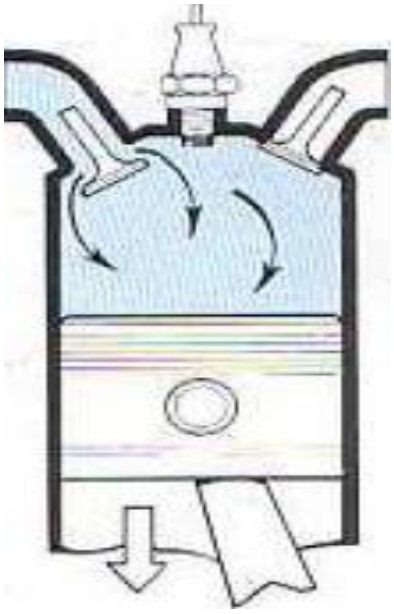
   Sekrup ini berfungsi untuk mengatur jumlah campuran udara dengan bahan bakar yang tepat pada kondisi putaran lamsam.

2.4.3. Cara Kerja Mesin 4 Langkah

Mesin 4 langkah (*four stroke*) memerlukan 2 putaran poros engkol (4 gerakan piston) dalam cara kerjanya. Oleh karena itu disebut mesin empat lagkah karena diselesaikan setiap dua kali putaran poros engkol (Yamaha. 2009). Secara spesifik prinsip kerja mesin 4 langkah dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Langkah Isap / Pemasukan

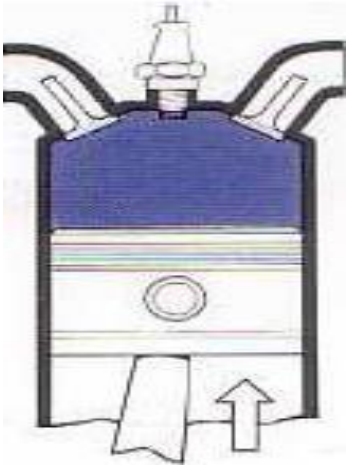
   Langkah awal dimana piston bergerak kebawah dari Titik Mati Atas (TMA) menuju Titik Mati Bawah (TMB). Klep pemasukan akan terbuka terlebih dahulu sebelum piston mencapai TMA. Pada saat itu juga piston menghisap campuran bahan bakar dan udara masuk kedalam silinder. Saat langkah ini katup isap membuka dan akan menutup kembali setelah piston meninggalkan TMB. Katup buang selama langkah ini dalam keadaan tertutup.



Gambar 2.6. Langkah Isap
(Sumber : Syaifudien. 2011)

2. Langkah Kompresi

   Pada langkah kompresi piston kemudian bergerak naik keatas dari TMB menuju TMA. Maka campuran bahan bakar dan udara yang berada didalam silinder akan terkompresi sampai TMA. Selama langkah ini kedua katup yaitu katup isap dan katup buang berada dalam keadaan tertutup. Sebelum akhir langkah kompresi ini pembakaran dimulai dan tekanan silinder naik lebih cepat.



Gambar 2.7. Langkah Kompresi
(Sumber : Syaifudien. 2011)

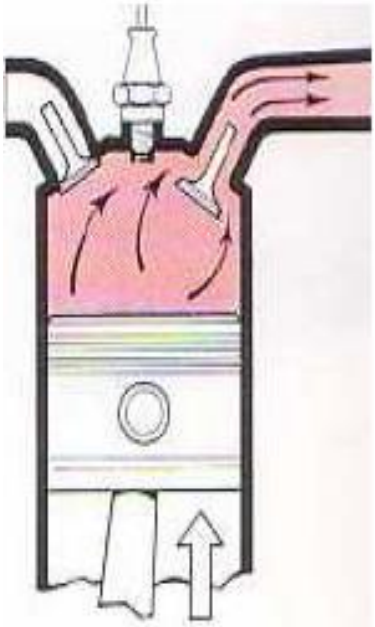
3. Langkah Kerja

   Campuran bahan bakar dan udara yang sudah terkompresi kemudian dibakar menggunakan percikan bunga api dari busi. Sehingga menyebabkan terbakarnya gas-gas yang kemudian menimbulkan tenaga yang mendorong piston kebawah menuju TMB. Selama langkah ini katup buang dan katup isap dalam posisi tertutup. Katup buang akan terbuka beberapa saat sebelum piston mencapai TMB.

Gambar 2.8. Langkah Usaha
(Sumber : Syaifudien. 2011)

4. Langkah Buang

   Pada langkah buang ini piston bergerak menuju TMA. Katub buang mulai terbuka dan gas hasil pembakan mengalir keluar. Piston mulai naik dari TMB menuju TMA akan mendorong keluar sisa gas hasil pembakaran seperti pada gambar 2.9 pada langkah ini katup isap masih dalam keadaan tertutup. Katup buang akan menutup kembali setelah beberapa saat piston meninggalkan TMA. Poros engkol kemudian dapat menyelesaikan 4 putaran sepenuhnya. Akhirnya siklus kembali lagi dari awal dan dilakukan berulang-ulang.



Gambar 2.9. Langkah Buang
(Sumber : Syaifudien. 2011)

2.5. Generator

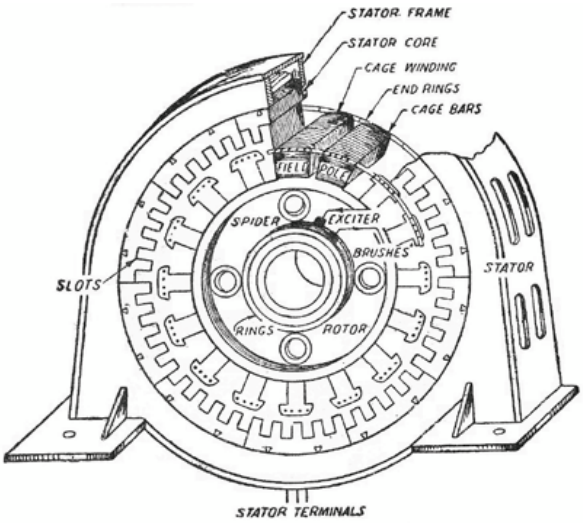
Generator merupakan sebuah perangkat yang berfungsi menghasilkan daya listrik, genset disebut juga sebagai generator set dengan pengertian satu set peralatan gabungan dari dua perangkat berbeda yaitu engine dan generator atau alternator. Generator adalah mesin yang dapat mengubah tenaga mekanis menjadi tenaga listrik melalui proses induksi *elektro magnetik*. Generator dapat berupa perangkat mesin berbahan bakar solar atau mesin berbahan bakar bensin. sedangkan generator atau alternator merupakan kumparan atau gulungan tembaga yang terdiri dari stator (kumparan statis) dan rotor (kumparan berputar) yang dapat membangkitkan listrik. (Anggito, 2014)

Pembangkitan tenaga listrik sebagian besar dilakukan dengan cara memutar generator sehingga dihasilkan energi listrik. Energi mekanik yang diperlukan untuk menggerakan generator di dapatkan dari mesin penggerak atau yang sering di gunakan yaitu : mesin diesel, turbin uap, turbin air, dan turbin gas. Mesin penggerak melakukan penggerakan energi primer menjadi energi mekanik penggerak energi mekanik akan di teruskan ke generator untuk menghasilkan

energi listrik. Biogas dapat digunakan sebagai bahan bakar dan sebagai sumber energi alternatif untuk penggerak generator pembangkit tenaga listrik. Biogas menghasilkan energi panas pada pembakaran dengan kesetaraan 1 kaki kubik 0,028m^3 biogas dapat menghasilkan energi panas sebesar 10 Btu 2,25 kKal dan dapat dilihat di nilai kesetaraan biogas dengan sumber energi lainnya.

2.5.1. Konstruksi Generator Sinkron

Pada dasarnya konstruksi generator sinkron sama dengan motor sinkron. Konstruksi generator sinkron terdiri dari stator (bagian yang diam) dan rotor (bagian yang bergerak). Keduanya merupakan rangkaian magnetik yang berbentuk simetris dan silindris. Selain itu generator sinkron memiliki celah udara ruang antara stator dan rotor yang berfungsi sebagai tempat terjadinya fluksi atau induksi energi listrik dari rotor ke-stator.



Gambar 2.10. Konstruksi Generator Sinkron Secara Umum
(Sumber : Hizkia. 2015)

1. Rotor

Rotor adalah bagian dari motor listrik atau generator listrik yang berputar pada sumbu rotor. Perputaran rotor di sebabkan karena adanya medan magnet dan lilitan kawat email pada rotor. Sedangkan torsi dari perputaran rotor di

tentukan oleh banyaknya lilitan kawat dan juga diameternya. Rotor terdiri dari beberapa komponen utama yaitu

a. *Slip Ring*

Slip ring merupakan cincin logam yang melingkari poros rotor tetapi dipisahkan oleh isolasi tertentu. Terminal kumparan rotor dipasangkan ke-*slip ring* ini kemudian dihubungkan kesumber arus searah melalui sikat (*brush*) yang letaknya menempel pada *slip ring*.

b. Sikat

Sebagaian dari generator sinkron ada yang memiliki sikat ada juga yang tidak memiliki sikat. Sikat pada generator sinkron berfungsi sebagai saklar putar untuk mengalirkan arus DC ke-kumparan medan pada rotor generator sikron. Sikat terbuat dari bahan karbon tertentu.

c. Kumparan rotor (kumparan medan)

Kumparan medan merupakan unsur yang memegang peranan utama dalam menghasilkan medan magnet. Kumparan ini mendapat arus searah dari sumber eksitasi.

d. Poros Rotor

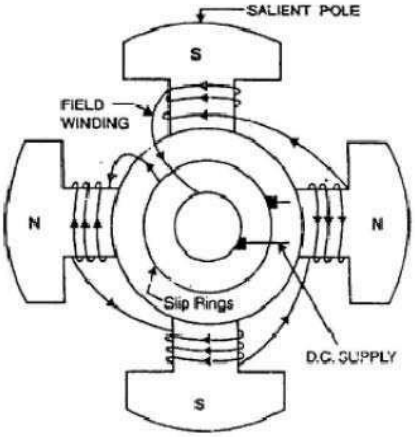
Poros rotor merupakan tempat meletakkan kumparan medan, dimana pada poros tersebut telah terbentuk slot-slot secara paralel terhadap poros rotor.

Rotor pada generator sinkron pada dasarnya sebuah elektromagnet yang besar. Kutub medan magnet rotor dapat berupa *salient pole* (kutub menonjol) dan non salient pole (kutub silinder atau tak menonjol).

a. Rotor kutub menonjol (*Salient Pole Rotor*)

Rotor tipe ini mempunyai kutub yang jumlahnya banyak. Kumparan dibelitkan pada tangkai kutub, dimana kutub-kutub diberi laminasi untuk mengurangi panas yang ditimbulkan oleh arus Eddy, kumparan-kumparan medannya terdiri dari bilah tembaga persegi. Kutub menonjol ditandai dengan rotor berdiameter besar dan panjang sumbunya pendek.

Selain itu jenis kutub *salient pole*, kutub magnetnya menonjol keluar dari permukaan rotor. Belitan-belitan medan dihubung seri. Ketika belitan medan ini disuplai oleh eksiter, maka kutub yang berdekatan akan membentuk kutub yang berlawanan. Bentuk kutub menonjol generator sinkron tampak seperti Gambar 2.11 berikut :



Gambar 2.11. Rotor Kutub Menonjol Generator Sinkron
(Sumber : Ahmad Faisal, 2011)

Rotor kutub menonjol umumnya digunakan pada generator sinkron dengan kecepatan putaran rendah dan sedang (120-400 rpm). Generator sinkron tipe seperti ini biasanya dikopel oleh mesin diesel atau turbin air pada sistem pembangkit listrik. Rotor kutub menonjol baik digunakan untuk putaran rendah dan sedang karena :

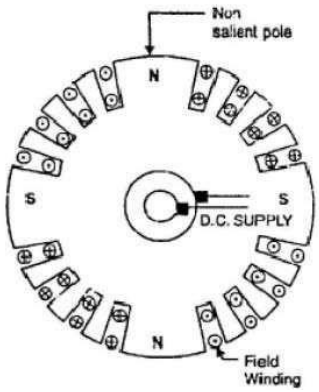
- Konstruksi kutub menonjol tidak terlalu kuat untuk menahan tekanan mekanis apabila diputar dengan kecepatan tinggi.
- Kutub menonjol akan mengalami rugi-rugi yang besar dan bersuara bising jika diputar dengan kecepatan tinggi.

b. Rotor kutub tak menonjol (Rotor Silinder)

Rotor tipe ini dibuat dari plat baja berbentuk silinder yang mempunyai sejumlah slot sebagai tempat kumparan. Karena adanya slot- slot dan juga kumparan medan yang terletak pada rotor maka jumlah kutub pun sedikit

yang dapat dibuat. Belitan-belitan medan dipasang pada alur- alur di sisi luarnya dan terhubung seri yang dimana pasokan listrik dipasok oleh eksiter.

Rotor ini biasanya berdiameter kecil dan sumbunya sangat panjang. Konstruksi ini memberikan keseimbangan mekanis yang lebih baik karena rugi-rugi anginnya lebih kecil dibandingkan rotor kutub menonjol (*salient pole rotor).* Gambar bentuk kutub silinder generator sinkron tampak seperti pada Gambar 2.12 berikut:



Gambar 2.12. Rotor Kutub Silinder Generator Sinkron
(Sumber : Aditya. 2016)

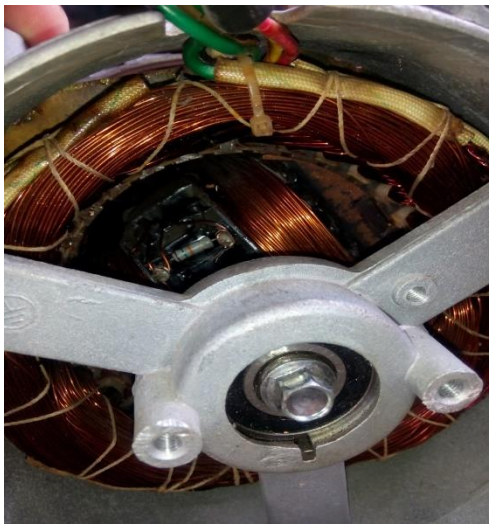
Rotor silinder umumnya digunakan pada generator sinkron dengan kecepatan putaran tinggi (1500 atau 3000 rpm) biasanya digunakan untuk pembangkit listrik berkapasitas besar misalnya pembangkit listrik tenaga uap dan gas. Rotor silinder baik digunakan pada kecepatan tinggi karena:

- Distribusi disekeliling rotor mendekati bentuk gelombang sinus sehingga lebih baik dari kutub menonjol.
- Konstruksinya memiliki kekuatan mekanik pada kecepatan putar tinggi.

2. Stator

Stator atau armatur adalah bagian generator yang berfungsi sebagai tempat untuk menerima induksi magnet dari rotor. Arus AC yang menuju ke beban disalurkan melalui armatur, komponen ini berbentuk sebuah rangka

silinder dengan lilitan kawat konduktor yang sangat banyak. Armatur selalu diam (tidak bergerak). Oleh sebab itu komponen ini juga disebut sebagai stator. Penempatan stator biasanya mengelilingi rotor, stator bisa berupa gulungan kawat tembaga yang berinteraksi dengan angker dan membentuk medan magnet untuk mengatur perputaran rotor. Bentuk suatu stator dari generator sinkron dapat dilihat pada Gambar 2.13 berikut:



Gambar 2.13. Stator Generator Sinkron

Generator arus bolak-balik memiliki 2 bagian utama, yaitu Stator merupakan bagian diam dari generator. Setator merupakan bagian yang berfungsi untuk mengeluarkan tegangan bolak balik dan Rotor merupakan bagian berputar sebagai bagaian yang memproduksi medan magnit dan menginduksikan ke stator. Stator terdiri dari badan generator yang terbuat dari baja yang berfungsi melindungi bagian dalam generator, kotak terminal dan name plate pada generator. Inti Stator yang terbuat dari bahan ferromagnetik yang berlapis-lapis dan terdapat alur-alur tempat meletakkan lilitan stator. Lilitan stator yang merupakan tempat untuk menghasilkan tegangan. Sedangkan rotor berbentuk kutub sepatu (*salient*) atau kutub dengan celah udara sama rata (rotor silinder). Bagian stator yang berputar terdiri atas :

1. Rangka Stator

   Rangka stator merupakan rumah (kerangka) yang merupakan inti jangkar generator sinkron.

2. Inti Stator

   Inti stator terbuat dari laminasi-laminasi baja campuran atau besi magnetik khusus yang terpasang kerangka stator.

3. Alur (*slot*) dan Gigi

   Alur dan gigi merupakan tempat meletakkan kumparan stator yaitu kumparan jangkar.

4. Kumparan Stator (Kumparan Jangkar)

   Kumparan jangkar biasanya terbuat dari tembaga. Kumparan ini merupakan timbulnya GGL induksi.

2.6. Perhitungan Tekanan Hidrostatis (p), Debit Biogas (Q), Kecepatan Biogas (v), Daya Listrik (P), dan Laju Aliran Massa (ṁ)

2.6.1. Tekanan Hidrostatis (p)

Tekanan Hidrostatis adalah tekanan yang terjadi di bawah air. Tekanan ini terjadi karena adanya berat air yang membuat cairan tersebut mengeluarkan tekanan. Tekanan sebuah cairan bergantung pada kedalaman cairan di dalam sebuah ruang dan gravitasi juga menentukan tekanan air tersebut. Tekanan Hidrostatis dirumuskan :

$$p = \rho \times g \times h \quad \text{.....} \quad (2.1)$$

Keterangan : P = Tekanan (Pa)

ρ = massa jenis (kg/m^3)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

H = ketinggian (m)

2.6.2. Debit (Q)

Debit dalam aliran gas merupakan merupakan ukuran volume per satuan waktu. Untuk mengetahui debit dapat dicari dengan :

$$Q = \frac{V}{t} \quad \text{.....} \quad (2.2)$$

Keterangan : Q = Debit (m^3/s)

V= Volume (m^3)

t = Waktu (s)

Atau

$$Q = A \times v \quad \text{.....} \quad (2.3)$$

Keterangan Q = Debit (m^3/s)

A = Luas penampang (m^2)

v = Kecepatan (m)

Maka

$$v = \frac{Q}{A} \quad \text{.....} \quad (2.4)$$

2.6.3. Daya Listrik (P)

Daya listrik adalah banyaknya energi listrik yang mengalir pada rangkaian listrik dalam setiap satuan waktu. Daya listrik dapat dirmuskan sebagai berikut :

$$P = \frac{W}{t} \quad \text{.....} \quad (2.5)$$

Dimana : P = Daya (Watt atau Joule/sekon)

W = Energi listrik (Joule)

t = Waktu (sekon)

Karena:

$$W = V \cdot I \cdot t \qquad (2.6)$$

Jika W disubtitusikan, maka persamaan daya listrik menjadi :

$$P = V \cdot I \qquad (2.7)$$

Dimana : P = Daya (Watt) atau (Joule/sekon)

V = Tegangan (Volt)

I = Kuat arus (Ampere)

2.6.4. Laju Aliran Massa ($\dot{m}$)

Laju aliran massa merupakan banyaknya massa suatu zat yang mengalir persatuan waktu. Untuk mengetahui nilai laju aliran massa dapat digunakan rumus:

$$\dot{m} = Q \times \rho \qquad (2.8)$$

Keterangan : $\dot{m}$ = Laju aliran massa (kg/s)

Q = Debit (m^3/s)

ρ = massa jenis (kg/m^3)