

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Biogas sebagai sumber Energi Alternatif

Biogas adalah gas produk akhir pencernaan atau degradasi anaerobik dari bahan-bahan organik oleh bakteri-bakteri anaerobik, termasuk diantaranya kotoran manusia dan hewan, limbah domestik (rumah tangga), sampah *biodegradable* atau setiap limbah organik yang *biodegradable* dalam kondisi anaerobik. Komponen terbesar (penyusun utama) biogas adalah metana (CH_4 , 50 - 70 %) dan karbondioksida (CO_2 , 30 - 40 %). Namun, komposisi biogas bervariasi tergantung dengan asal proses anaerobik yang terjadi. Beberapa kandungan biogas dapat dilihat pada tabel 2.1

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 potensial untuk dijadikan sebagai sumber energi terbarukan karena kandungan metana (CH_4) yang tinggi dan nilai kalornya yang cukup tinggi yaitu berkisar antara 4.800 – 6.700 kkal/m³ (Harahap, 1980). metana (CH_4) yang hanya memiliki satu karbon dalam setiap rantainya, dapat membuat pembakarannya lebih ramah lingkungan dibandingkan bahan bakar berantai karbon panjang. Hal ini disebabkan karena jumlah CO_2 yang dihasilkan selama pembakaran bahan bakar berantai karbon pendek adalah lebih sedikit.

Energi yang terkandung dalam biogas tergantung dari konsentrasi metana (CH_4). 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 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 sehingga konsentrasi yang di iijinkan maksimal 5 ppm. Bila gas dibakarmaka hidrogen sulphur akan lebih berbahaya karena akan membentuk senyawa baru bersama – samaoksigen, yaitu sulphur dioksida /sulphur trioksida ($\text{SO}_2 / \text{SO}_3$). Senyawa ini lebih beracun. Pada saat yang sama akan membentuk asam sulfat (H_2SO_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 penyalan biogas serta dapat menimbulkan korosif.

2.1.1. Perumusan Analisis Biogas

Kotoran sapi terdiri dari bahan padat dan cair. Kandungan Bahan Kering pada bebrbagai makhlukhidup dapat dilihat pada tabel 2.2

Tabel 2.2 Kandungan Bahan Kering

Jenis	Banyak tinja (kghari)	Kandungan Bahan kering (%)	Biogas yangdihasilkan ($\text{m}^3/\text{kg.BK}$)
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

Hal – hal yang perlu diperhatikan dalam pembuatan biogas adalah volume digester dan volume bahan isian, menurut pedoman teknis pengembangan usaha pengolahan kompos dan biogas, isian digester yaitu 75% dari volume total digester, 25% bagian yang tidak terisi merupakan tempat penyimpanan atau hasil dari fermentasi biogas.

- a. Volume digester

$$A = \pi r^2 \cdot t$$

- b. Volume Bubur Kotoran

$$\text{Volume bubur kotoran} = \frac{3}{4} \cdot \text{Volume digester}$$

2.2 Sifat Biogas

Sifat fisik dan kimia dari biogas mempengaruhi pemilihan teknologi yang akan digunakan, dimana pengetahuan tentang sifat-sifat dari biogas bermanfaat untuk mengoptimalkan peralatan yang menggunakan gas ini. Karena kandungan utama biogas terdiri dari metana dan karbondioksida, maka sifat biogas difokuskan pada sifat-sifat dari masing-masing gas tersebut. Unsur – unsur lain seperti nitrogen (N₂), hidrogen sulfida (H₂S), relatif dalam jumlah sangat kecil, namun gas hidrogen sulfida mempunyai pengaruh yang sangat besar terhadap material yaitu dapat menyebabkan korosi jika bereaksi dengan air (H₂O). Sifat – sifat methane pada karbon dioksida dapat dilihat pada tabel 2.3

Tabel 2.3 Sifat – sifat metane dan karbon dioksida

	Metana (CH ₄)	Karbon dioksida (CO ₂)
Berat molekul	16,04	44,1
Berat jenis (specific gravity)	0,554	1,52
Titik didih @ 14,7 psia	26,43 °C	42,99 °C
Titik beku @ 14,7 psia	182,53°C	-56,60 °C
Volume jenis	4,2 ft ³ /lb	8,8 ft ³ /lb
Temperatur kritis	46,6 °C	31,10 °C
Tekanan kritis	673 psia	1072 psia
Perbandingan panas jenis	1,307	1,303

Sumber : Heisler, 1981

Proses pembentukan 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 metanasi.

Pada tahap pengasaman komponen monomer (gula sederhana) yang terbentuk pada tahap hidrolisis akan 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 butirrat, gas karbondioksida, hidrogen dan amoniak. Sedangkan pada tahap metanogenik adalah proses pembentukan gas metan. Sebagai ilustrasi dapat dilihat salah satu contoh bagan perombakan serat kasar (selulosa) hingga terbentuk biogas.

Ada beberapa golongan bakteri yang memegang peranan penting dalam proses terbentuknya biogas ini, yaitu:

- a. Golongan bakteri pengunasselulosa

Bakteri-bakteri ini akan mengubah selulosa menjadi gula. Selulosa merupakan komponen terbesar penyusun bahan-bahan organik. Pada kondisi anaerob akan menghasilkan karbondioksida, air, dan panas. Sedangkan pada kondisi anaerob akan menghasilkan karbondioksida, etanol panas.

- b. Golongan bakteri pembentuk asam

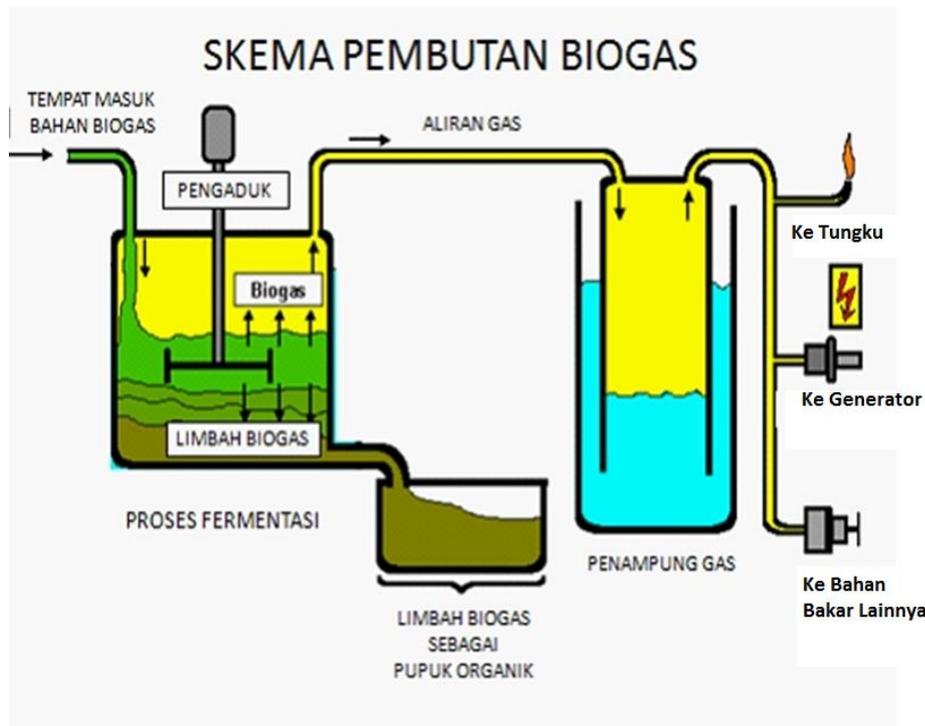
Bakteri pembentuk asam ini aktif menguraikan substansi-substansi polimer kompleks, yaitu protein, karbohidrat, dan lemak menjadi asam-asam organik sederhana yaitu asam-asam butirrat, propionat, laktat, asetat, dan alkohol. Pada kondisi anaerob, bakteri ini masih dapat berkembang biak dan aktif menguraikan bahan organik menjadi asam-asam organik. Tetapi tahap

awal pada proses pembentukan biogas dalam digester, tahapan ini disebut juga tahap oksidagenik. Adapun jenis bakteri yang aktif memproduksi asam-asam tersebut adalah bakteri *Hethanobacterium Propiunicum* dan *Methanobacterium suboxydan*.

c. Golongan bakteri pembentuk gas metana

Kondisi anaerob merupakan kondisi yang sangat mendukung terjadinya proses pembentukan biogas, proses ini disebut juga *methanogenik*. Bakteri yang aktif dan memproduksi gas metana antara lain, *Methonobacterium Sohngeni*, *Methonococcus Mozei*, *Methono Sarcina Methanica*. Bakteri pembentuk metana sangat sensitif terhadap pH, komposisi substansi dan temperatur. Apabila kadar pH di bawah 6.0 maka proses pembentukan metana akan terhenti dan tidak ada penurunan kandungan organik pada endapan.

2.3 Syarat Pembuatan Biogas



Gambar 2.1 Skema Pembuatan Biogas

Sumber: http://www.biologi.lipi.go.id/bio_indonesia/mTemplate.php?h=3&id_berita=267, diakses 24 juni 2014

Prinsip terjadinya biogas adalah fermentasi anaerob bahan organik yang dilakukan oleh mikroorganisme 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 tahap metanogenik. Meskipun dalam praktiknya, pembuatan biogas relatif mudah dilakukan. Adapun syarat pembuatan biogas yaitu

a. Kondisi Anaerob atau Kedap Udara

Biogas dihasilkan dari proses fermentasi bahan organik oleh mikroorganisme anaerob. Karena itu, instalasi pengolahan biogas harus kedap udara.

b. Ada bahan pengisian

Bahan baku isian 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)

Derajat keasaman sangat berpengaruh terhadap kehidupan mikroorganisme. Derajat keasaman yang optimum bagi kehidupan mikroorganisme adalah 6,8-7,8. Pada tahap awal fermentasi bahan organik akan terbentuk asam (asam organik yang akan menurunkan pH).

d. Imbangan C/N

Imbangan karbon (C) dan nitrogen (N) yang terkandung dalam aktivitas bahan organik sangat menentukan kehidupan mikroorganisme. Imbangan C/N yang optimum bagi mikroorganisme perombak adalah 25-30. Kotoran sapi mempunyai kandungan C/N sebesar 18.

e. Temperatur

Produksi biogas akan menurun secara cepat akibat perubahan temperatur yang mendadak di dalam digester. Upaya yang praktis untuk menstabilkan temperatur adalah dengan memberikan penutup di atas digester. Hal ini bertujuan supaya digester tidak terkena sinar matahari secara langsung.

f. Starter

Starter diperlukan untuk mempercepat proses perombakan bahan organik hingga menjadi biogas. Starter merupakan mikroorganisme perombak yang

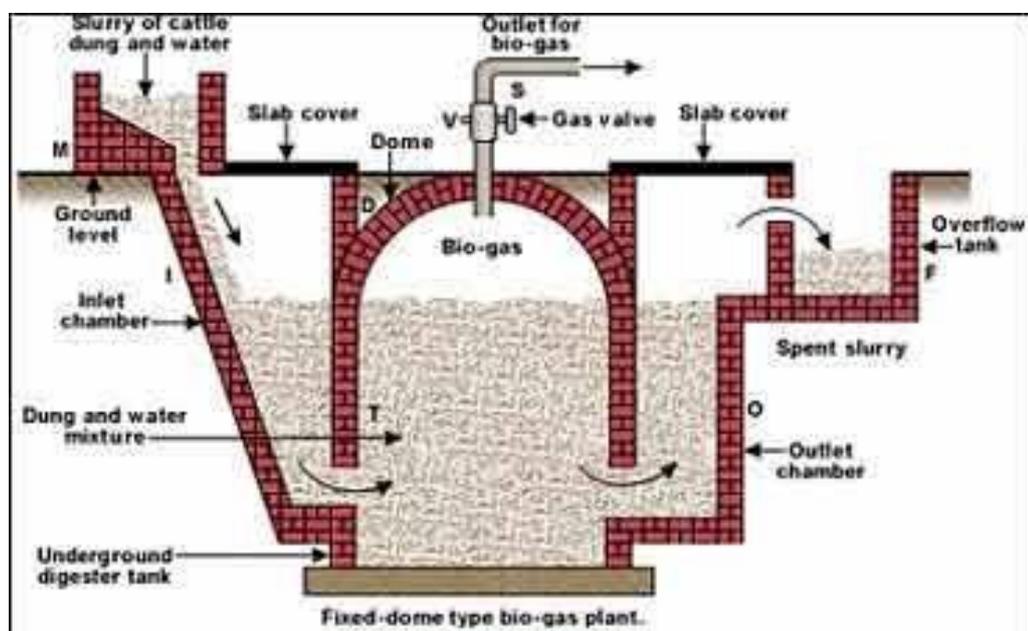
berupa lumpur aktif organik atau cairan isi rumen. Starter juga ada yang dijual secara komersial. Namun pada proses pembuatan biogas kotoran kambing tidak menggunakan starter. Sehingga membutuhkan waktu fermentasi yang lebih lama

2.4 Komponen-komponen Unit Penghasil Biogas

2.4.1. Reaktor

a. Reaktor jenis kubah tetap

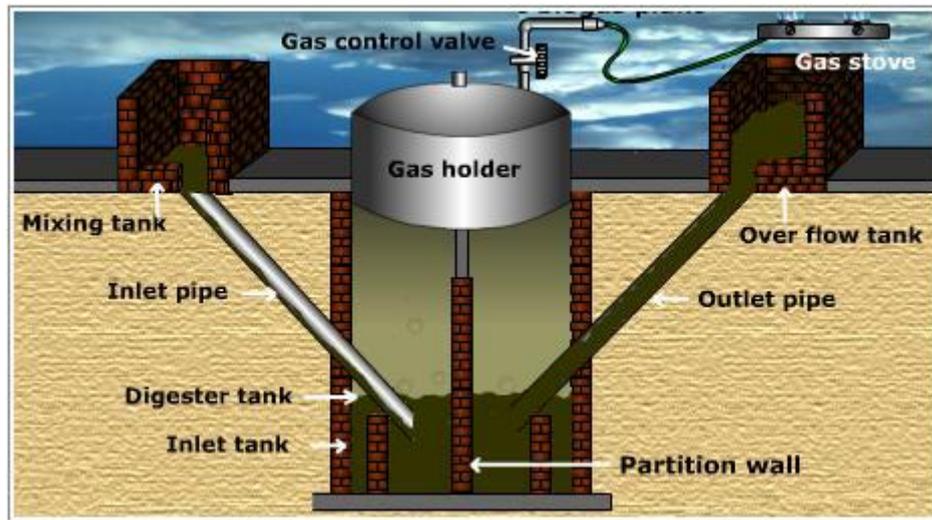
Disebut juga reaktor China, karena dibuat pertamakali di China tahun 1930. Reaktor ini memiliki dua bagian yaitu bagian degester yaitu tempat pencernaan material Biogas dan sebagai rumah bagi bakteri, baik bakteri pembentuk asam maupun bakteri pembentuk zat metana. Reaktor dapat dibuat dengan menggunakan batu, batu bata atau beton dan menggunakan fiber glas. Tetapi dengan struktur yang kuat karena akan menahan gas supaya tidak bocor. Bagian kedua berupa kubah tetap yang memiliki bentuk menyerupai kubah yang merupakan tempat berkumpulnya gas. Keuntungan pada reaktor ini adalah konstruksinya yang relatif lebih murah tapi sayangnya reaktor jenis ini sering kehilangan gas pada bagian kubah, karena konstruksinya yang tetap.



Gambar 2.2 Reaktor jenis kubah tetap

Sumber : <http://biogasanessa.wordpress.com/2011/11/21/7/> diakses, 20 Juni 2014

b. Reaktor terapung



Gambar 2.3 Reaktor terapung

Sumber : <http://biogasanessa.wordpress.com/2011/11/21/7/> diakses, 20 Juni 2014

Dinamakan juga reaktor India, karena pertamakali dibuat di India pada tahun 1937. Bagian gester pada reaktor ini sama dengan pada reaktor kubah tetap, tapi pada bagian penampung gas menggunakan peralatan bergerak terbuat dari drum yang akan bergerak naik-turun tergantung pada jumlah gas yang dihasilkan. Keuntungan reaktor ini adalah volume gas yang ada dapat terlihat langsung dan tekanan gas yang relatif konstan. Sedangkan kerugiannya adalah biaya material konstruksi yang mahal dan masalah korosi yang terjadi pada drum sehingga reaktor ini berumur pendek.

2.4.2. Pemurnian Biogas

1. Penghilangan H₂S

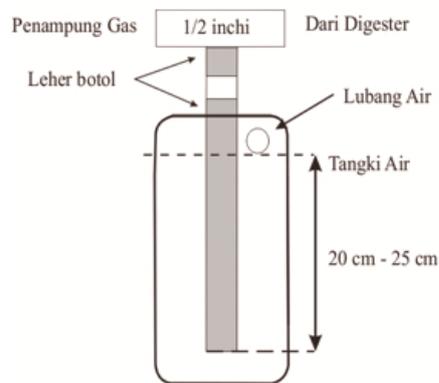
Proses asidifikasi menghasilkan senyawa H_2S yang sifatnya bau. Terdapat beberapa cara yang dapat dilakukan untuk menghilangkan H_2S dari biogas hasil fermentasi, yaitu:

- a. Cara pertama adalah dengan menyemprotkan NaOH pada bubur kotoran yang sedang difermentasikan sehingga H_2S yang baru terbentuk akan langsung dinetralkan oleh NaOH yang ada. Namun secara ekonomis dan ditinjau dari faktor fermentasi, cara ini tidak begitu disukai. Hal ini karena ketersediaan senyawa NaOH yang cukup mahal dan penggunaan yang berlebihan akan mengurangi efisiensi fermentasi (derajat pH akan meningkat sehingga faktor pH dari fermentasi tidak dapat dipenuhi). Masalah paling buruk adalah jika pH dari larutan terlalu tinggi dapat mematikan bakteri tersebut sehingga proses fermentasi dapat terhenti (Zicari 2003).
- b. Cara kedua adalah dengan konsep *adsorpsi ferat hidrat* ($Fe(OH)_3$), dalam proses ini gas H_2S akan diserap oleh senyawa *ferat hidrat* dan mengalami *reaksi redoks* (ferat tereduksi menjadi ferit, sulfida teroksidasi menjadi belerang). Belerang lebih tidak berbau dibanding dengan sulfida sehingga cara ini dianggap cukup efektif. Karena karakteristik dari tanah tropis mempunyai komposisi besi(III) yang tinggi, maka dapat digunakan tanah sebagai *adsorben*. Hal inilah yang menyebabkan cara ini jauh lebih disukai dari pada cara lainnya (Zicari 2003).

2. Pengurangan Kadar Air dan Uap Air

Air merupakan salah satu produk utama dari proses fermentasi. Oleh karena itu dilakukan suatu cara untuk mengurangi kadar air dari biogas yang dihasilkan sehingga kemurniaannya cukup tinggi. Cara paling mudah dari proses penghilangan air adalah dengan cara kondensasi dari uap tersebut. Cara kondensasi ini dapat dilakukan secara alami dengan menggunakan pipa berlekuk pada proses penyaluran biogas dari biodigestion menuju penampungan biogas. Pipa-pipa berlekuk dan suhu yang cukup rendah secara alami akan mengkondensasikan uap air menjadi air sehingga jumlah air dalam biogas akan berkurang. Alat penjebak

air seperti pada gambar 2.4 watertrap, berfungsi untuk penjebak air, agar air tidak ikut di bakar pada mesin pembakaran.



Gambar 2.4 water trap

Cara yang dilakukan untuk mempertinggi kemurnian biogas yaitu dengan penghilangan CO_2 . Dapat dilakukan dengan melarutkan CO_2 kedalam air membentuk asam karbonat. Pada proses ini akan mengubah CO_2 dalam biogas menjadi asam karbonat, dengan mereaksikannya dengan KOH.

2.4.3. Penampung Biogas

Bak penampung berfungsi untuk menampung biogas yang dihasilkan dari digester sebelum disalurkan menuju Generator set. Gambar penampung gas disajikan pada gambar 2.5 berikut ini



Gambar 2.5 Penampung Gas

2.4.4. Selang

Selang berfungsi sebagai media penyalur gas dari digester menuju bak penampung biogas dan menuju media aplikasi. Gambar selang disajikan pada gambar 2.6 berikut ini



Gambar 2.6 Gambar Selang

2.4.5. Katup

Katup berfungsi untuk membuka dan menutup saluran biogas dari digester dan dari bak penampung. Gambar katup disajikan pada gambar 2.7 berikut ini.



Gambar 2.7 Katup

2.4.6. Pipa PVC

Pipa PVC berfungsi sebagai media penyaluran biogas. Gambar pipa PVC disajikan pada gambar 2.8 berikut ini.



Gambar 2.8 Pipa PVC

2.4.7. Elbow

Elbow berfungsi sebagai sambungan antar pipa yang berbelok. Gambar elbow disajikan pada gambar 2.9 berikut ini



Gambar 2.9 Elbow

2.4.8. Klem

Klem berfungsi sebagai untuk mengencangkan sambungan antara selang dengan T-pipe. Gambar klem disajikan pada gambar 2.10 berikut ini.



Gambar 2.10 Klem

2.5 Komponen penguji Biogas

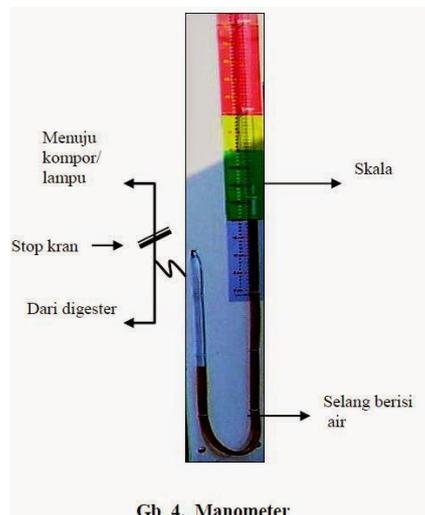
2.5.1. **Termometer** berfungsi untuk mengukur suhu di dalam digester. Gambar termometer disajikan pada gambar 2.11 berikut ini



Gambar 2.11 Termometer

2.5.2. Manometer

Manometer berfungsi untuk mengukur tekanan dari penampung biogas disajikan pada gambar 2.12

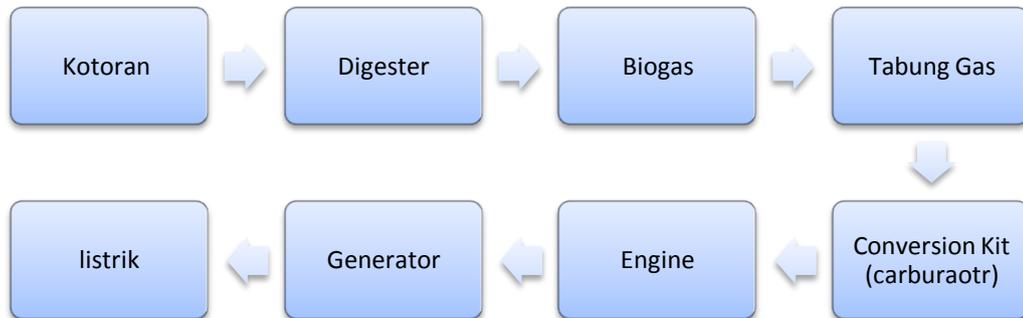


Gb 4. Manometer

Gambar 2.12 Manometer

Sumber : http://www.muryanto-taniternak.com/2014/04/pembuatan-dan-cara-kerja-instalasi_27.html, diakses 17 Juni 2014

2.6 Konversi Energi



Gambar 2.13 Alur diagram dari kotoran menjadi listrik

Pembangkitan tenaga listrik sebagian besar dilakukan dengan cara memutar generator sehingga dihasilkan energi listrik. Energi mekanik yang diperlukan untuk menggerakkan generator di dapatkan dari mesin penggerak atau yang sering di gunakan yaitu : mesin diesel, turbin uap, turbin air, dan turbin gas.

Jadi sesungguhnya mesin penggerak melakukan penggerakan energi primer menjadi energi mekanik, penggerak energi mekanik akan di kopel 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 ($0,028 \text{ meter}^3$) biogas menghasilkan energi panas sebesar 10 Btu (2,25 kkal) dan dapat dilihat di nilai kesetaraan biogas dengan sumber energi lainnya pada tabel 2.4 Nilai kesetaraan biogas dengan energi lain.

Tabel 2.4 Nilai kesetaraan biogas dan energi lainnya

Aplikasi	1m ³ Biogas setara dengan
1 m ³	Elpiji 0,46 kg Minyak tanah 0,62 liter Minyak solar 0,52 liter Bensin 0,8 liter Kayu bakar 3,50 kg Listrik 4,7 kWh

Sumber : Suyitno, 2009

Konversi energi biogas untuk pembangkit tenaga listrik dapat dilakukan dengan menggunakan genset yang di modifikasi. Pemilihan teknologi ini sangat dipengaruhi potensi biogas yang ada seperti konsentrasi gas metan maupun tekanan biogas.

2.7 GENERATOR SET

Generator set adalah sebuah perangkat yang berfungsi menghasilkan daya listrik disebut sebagai generator set dengan pengertian satu set peralatan gabungan dari dua perangkat berbeda yaitu engine dan generator atau alternator. Engine 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.

Genset yang digunakan dalam proyek akhir ini mempunyai spesifikasi standar sebagai berikut :

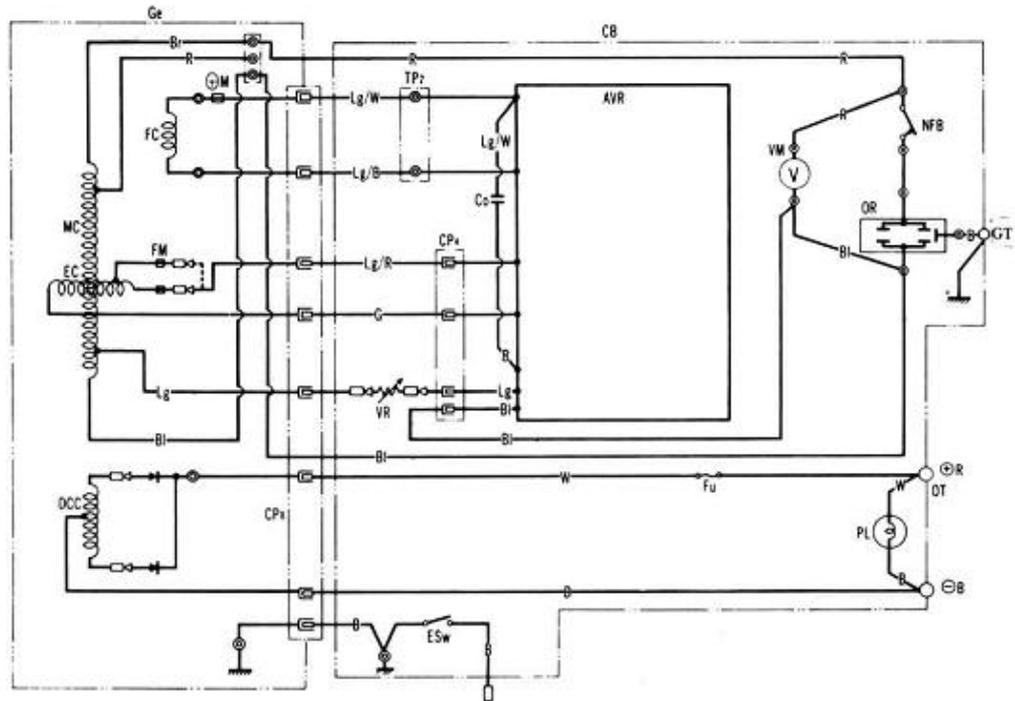
Spesifikasi Motor Bakar

- a. Engine Type : 4 - Cycle, side valve, 1 cylinder
- b. Displacement [Bore x stroke] : 197,3 cc (12 cu in) [67 x 56 mm(2,6 x 2,2 in)]
- c. Rasio kompresi : 6,5 x 1

Spesifikasi Generator

- d. Rating Voltage : 115 Volt
- e. Max. Output : 1,5 KVA (1.500 watts)
- f. Rated Output : 1,25 KVA (1.250 watts) 10,9 A/
- g. Ignition System : CDI
- h. Frekwensi : 60 Hz
- i. Dc Output : 12 Volt, 8,3 A

Sumber : Portable Generator owner's manual, 1977



Gambar 2.14 Wairing Diagram Kontrol Box

Sumber : *Portable Generator owner's manual, 1977*

Tabel 2.5 Part name diagram Kontrol Box

Part Name		
MC = Main Coil	CP4 = 4P Connector	Vm = Volt Meter
EC = Exciter Coil	VR = Variabel resistor	NFB = Circuit Breaker
FC = Field Coil	ESw = Engine Switch	OR = AC Output Receptacle
Ge = Generator Block	CB = Control Box Block	GT = Ground Terminal
DCC = DC Armature Coil	Fu = Fuse	PL = Pilot lamp
M = Mark	FM= Frequency Mark	OT = Output terminal
CP8 = 8P Connector	Co = Condensor	

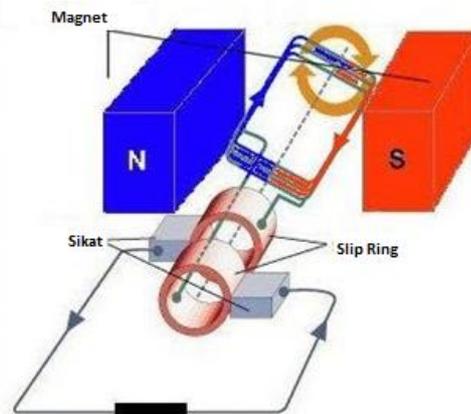
Sumber : *Portable Generator owner's manual, 1977*

2.7.1. Generator atau Alternator

Generator adalah mesin yang dapat mengubah tenaga mekanis menjadi tenaga listrik melalui proses induksi *elektromagnetik*. Generator ini memperoleh energi mekanis dari prime mover atau penggerak mula. Arus listrik yang

diberikan pada stator akan menimbulkan momen elektromagnetik yang bersifat melawan putaran rotor sehingga menimbulkan EMF pada kumparan rotor.

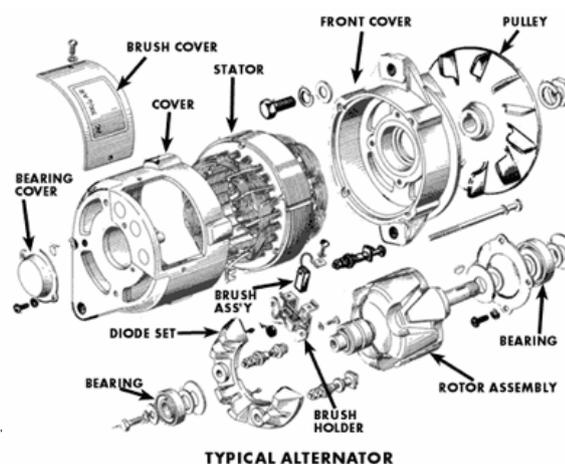
Tegangan EMF ini akan menghasilkan suatu arus jangkar. Jadi diesel sebagai prime mover akan memutar rotor generator, kemudian rotor diberi eksitasi agar menimbulkan medan magnet yang berpotongan dengan konduktor pada stator dan menghasilkan tegangan pada stator. Karena terdapat dua kutub yang berbeda yaitu utara dan selatan, maka pada 90° pertama akan dihasilkan tegangan maksimum positif dan pada sudut 270° kedua akan dihasilkan tegangan maksimum negatif. Ini terjadi secara terus menerus/continue. Bentuk tegangan seperti ini lebih dikenal sebagai fungsi tegangan bolak-balik.



Gambar 2.15 Jenis Generator dengan Medan Magnet diam

Sumber : <http://dwiuniarto.wordpress.com/2013/10/27/generator-arus-bolak-balik/>

2.7.1.1. Konstruksi Generator Sinkron



Ageng Tri Anggito, 201.
STUDI PEMBANGKITAN

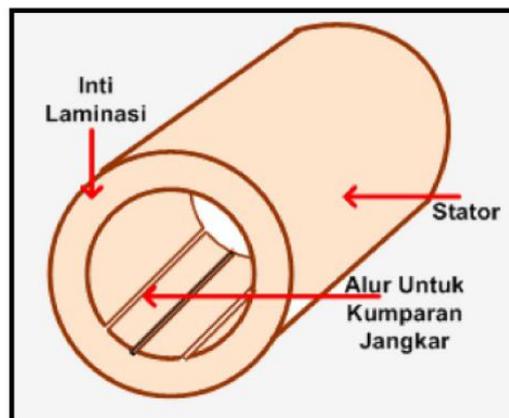
Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

Gambar 2.16 Kontruksi Generator AC

Sumber : <http://magnapam.com/?p=1933>

a. Stator

Stator dari Mesin Sinkron biasanya terbuat dari besi magnetik yang berbentuk laminansi untuk mengurangi rugi – rugi arus pusar. Dengan inti magnetik yang bagus berarti permebillitas dan resistivitas dari bahan tinggi.



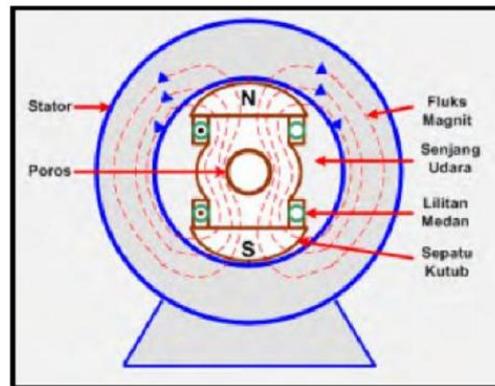
Gambar 2.17 Inti stator dan Alur pada Stator

Sumber : Pri, dkk, 2008

b. Rotor

Untuk medan rotor yang digunakan tergantung pada kecepatan mesin, mesindengan kecepatan tinggi seperti turbo generator mempunyai bentuk silinder(nonsalient pole), sedangkan mesin dengan kecepatan rendah seperti hydroelectric atau generator listrik-diesel mempunyai rotor kutub

menonjol(salientpole).Cincin geser, terbuat dari bahan kuningan atau tembaga yang yang dipasang pada poros dengan memakaibahan isolasi. Slip ring ini berputar bersama-sama dengan poros dan rotor.



Gambar 2.18 Bentuk rotor dengan kutub menonjol

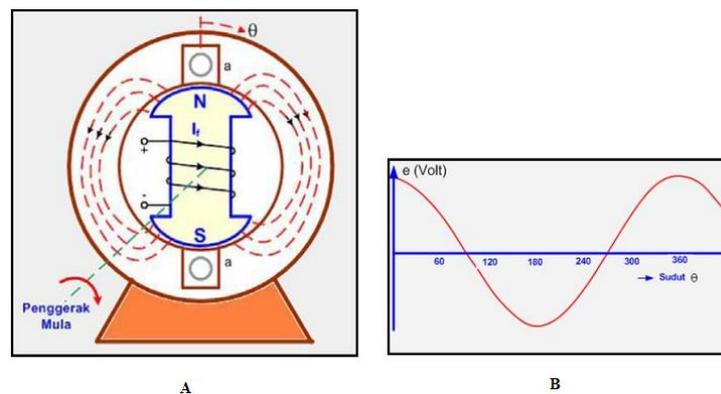
Sumber : Prih, dkk, 2008

2.7.1.2. Prinsip Kerja Generator Sinkron

Generator sinkron memiliki kumparan jangkar pada stator dan kumparan medan pada rotor. Kumparan jangkar berbentuk sama dengan mesin induksi sedangkan kumparan medan sinkron dapat berbentuk kutub sepatu atau kutub dengan celah udara sama rata (rotor silinder), Secara umum, Prinsip kerja generator sinkron adalah:

1. Kumparan medan yang terdapat pada rotor dihubungkan dengan sumber eksitasi yang akan mensuplai arus searah terhadap kumparan medan. Dengan adanya arus searah yang mengalir melalui kumparan medan maka akan menimbulkan fluks.
2. Penggerak mula (Prime Mover) yang sudah terkopel dengan rotor segera dioperasikan sehingga rotor akan berputar pada kecepatan nominalnya.
3. Perputaran rotor akan memutar medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan medan. Medan putar yang dihasilkan pada rotor akan diinduksikan pada kumparan jangkar sehingga pada kumparan jangkar yang terletak pada stator akan menghasilkan fluks magnetik yang berubah-ubah besarnya terhdap waktu. Adanya perubahan fluks magnetik yang melingkupi suatu kumparan akan menimbulkan GGL induksi pada ujung kumparan tersebut.

Pada generator Sinkron, laju putaran rotor berbanding lurus dengan frekuensi dari tegangan yang dibangkitkan. Gambar 2.19 memperlihatkan prinsip kerja generator AC dengan dua kutub dan dimisalkan hanya memiliki satu lilitan yang terbuat dari dua penghantar secara seri, penghantar a dan a'. Lilitan seperti ini disebut “lilitan pusat atau terkonsentrasi” generator real biasanya terdiri dari banyak lilitan dalam masing – masing fasa yang terdistribusi pada alur stator



Sumber : Prih, dkk, 2008

Gambar 2.19 a. Diagram Generator AC satu fasa, dua kutub

b. Gelombang yang dihasilkan

Nilai dari tegangan yang dibangkitkan bergantung pada :

1. Jumlah dari lilitan dalam kumparan.
2. Kuat medan magnetik, makin kuat medan makin besar tegangan yang diinduksikan.
3. Kecepatan putar dari generator itu sendiri.

$$n = \frac{120 \cdot f}{p}$$

dimana :

n = Kecepatan putar rotor (rpm)

P = Jumlah kutub rotor

f = frekuensi (Hz)

Sumber : Prih, dkk, 2008

2.7.1.3. Alternator Tanpa Beban

Dengan memutar alternator pada kecepatan sinkron dan rotor diberi arus medan (IF), maka tegangan (E_a) akan terinduksi pada kumparan jangkar stator akan diinduksi tegangan tanpa beban (E_o), yaitu :

$$E_o = C \cdot n \cdot \phi$$

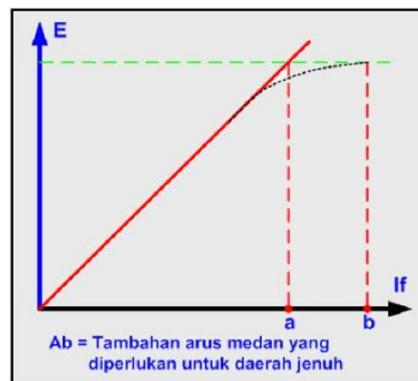
Sumber : Zuhail, 1999

yang mana:

c = konstanta mesin ϕ = fluks yang dihasilkan oleh IF

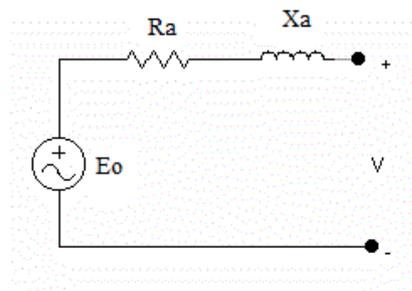
n = putaran sinkron

Dalam keadaan tanpa beban arus jangkar tidak mengalir pada stator, karenanya tidak terdapat pengaruh reaksi jangkar. Fluks hanya dihasilkan oleh arus medan (IF). Apabila arus medan (IF) dinaikan maka tegangan output akan naik sampai titik saturasi (jenuh) E_a seperti yang terlihat pada kurva sebagai berikut.



Gambar2.20 Karakteristik tanpa beban generator sinkron

Sumber : Zuhail, 1999



Gambar 2.21 Gambar Rangkaian Ekuivalen Generator Tanpa Beban

Sumber : Zuhul, 1999

2.7.1.4. Alternator Berbeban

Dalam keadaan berbeban arus jangkar akan mengalir dan mengakibatkan terjadinya reaksi jangkar. Reaksi jangkar bersifat reaktif karena itu dinyatakan sebagai reaktansi, dan disebut reaktansi magnetisasi (X_m). Reaktansi pemagnet (X_m) ini bersama-sama dengan reaktansi fluks bocor (X_a) dikenal sebagai reaktansi sinkron (X_s). Persamaan tegangan pada generator adalah:

$$E_a = V + I.R_a + j I.X_s$$

$$X_s = X_m + X_a$$

Sumber : Zuhul, 1999

yang mana:

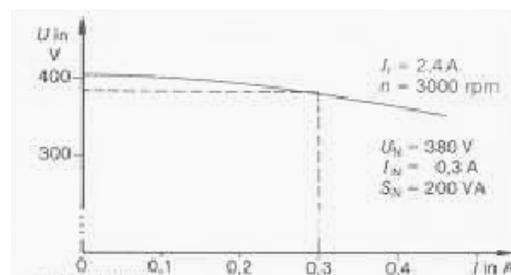
E_a = tegangan induksi pada jangkar

V = tegangan terminal output

R_a = resistansi jangkar

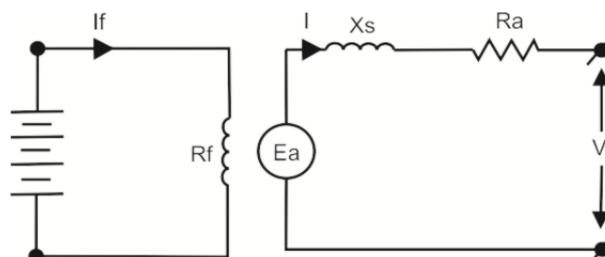
X_s = reaktansi sinkron

Karakteristik pembebanan dan diagram vektor dari alternator berbeban induktif (faktor kerja terbelakang) dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.22 Karakteristik alternator berbeban induktif

Sumber : Zuhul, 1999



Gambar 2.23 Gambar Rangkaian Ekuivalen Generator Berbeban

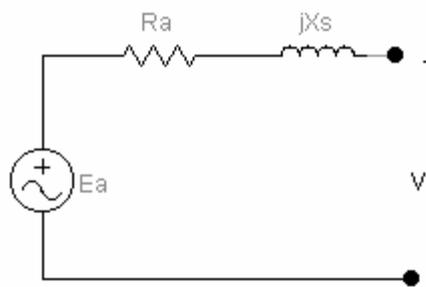
Sumber : Zuhail, 1999

2.7.1.5. Rangkaian Ekuivalen Generator Sinkron

Tegangan induksi E_a dibangkitkan pada fasa generator sinkron. Tegangan ini biasanya tidak sama dengan tegangan yang muncul pada terminal generator. Tegangan induksi sama dengan tegangan output terminal hanya ketika tidak ada arus jangkar yang mengalir pada mesin. Beberapa faktor yang menyebabkan perbedaan antara tegangan induksi dengan tegangan terminal adalah:

1. Distorsi medan magnet pada celah udara oleh mengalirnya arus pada stator, disebut reaksi jangkar.
2. Induktansi sendiri kumparan jangkar.
3. Resistansi kumparan jangkar.
4. Efek permukaan rotor kutub sepatu.

Rangkaian ekuivalen generator sinkron perfasa ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.24 Rangkaian ekuivalen generator sinkron

Sumber : Zuhail, 1999

2.7.1.6. Pengaturan Tegangan (Regulasi Tegangan)

Pengaturan tegangan adalah perubahan tegangan terminal alternator antara keadaan beban nol (E_o) dan beban Penuh (V). Keadaan ini memberikan gambaran batasan drop tegangan yang terjadi pada generator, yang dinyatakan sebagai berikut.

$$\% \text{ Pengaturan Tegangan} = \frac{E_o - V}{V} \times 100\%$$

Sumber : Muchin, 2013

Terjadinya perbedaan tegangan terminal V dalam keadaan berbeban dengan tegangan E_0 pada saat tidak berbeban dipengaruhi oleh faktor daya dan besarnya arus jangkar (I_a) yang mengalir. Untuk menentukan pengaturan tegangan dari alternator adalah dengan memanfaatkan karakteristik tanpa beban dan hubung singkat yang diperoleh dari hasil percobaan dan pengukuran tahanan jangkar. Ada tiga metode yang sering digunakan untuk menentukan pengaturan tegangan tersebut, yaitu :

1. Metode Impedansi Sinkron atau metode GGL.
2. Metode Ampere lilit atau metode GGM.
3. Metode faktor daya nol atau metode Potier.

2.7.1.7. Automatic Voltage Regulator (AVR)

Prinsip kerja dari AVR adalah mengatur arus penguatan pada exciter. Apabila tegangan output generator di bawah tegangan nominal tegangan generator, maka AVR akan memperbesar arus penguatan pada *exciter* dan juga sebaliknya apabila tegangan output Generator melebihi tegangan nominal generator maka AVR akan mengurangi arus penguatan pada *exciter* dengan demikian apabila terjadi perubahan tegangan output Generator akan dapat distabilkan oleh AVR secara otomatis dikarenakan dilengkapi dengan peralatan seperti alat yang digunakan untuk pembatasan penguat minimum ataupun maximum yang bekerja secara otomatis. Sistem pengoperasian Unit AVR (*Automatic Voltage Regulator*) berfungsi untuk menjaga agar tegangan generator tetap konstan dengan kata lain generator akan tetap mengeluarkan tegangan yang selalu stabil tidak terpengaruh pada perubahan beban yang selalu berubah-ubah, dikarenakan beban sangat mempengaruhi tegangan output generator.

Di dalam AVR, ada *Mutual Reactor* (MT) yaitu semacam trafo jenis CT (*Current Transformer*) yang menghasilkan arus listrik berdasarkan besaran arus beban yang melaluinya (secara rangkaian seri). Arus listrik yang dihasilkan ini digunakan untuk memperkuat medan magnet pada belitan rotor. Sehingga untuk

beban yang besar, arus listrik yang mengalir pada bebanyang dihasilkan juga besar,sesuai dengan hukum Ohmyang dicetuskan George Simon Ohmpada 1825 seperti di bawah ini :

$$V = I . R \text{ dimana } \frac{V_p}{V_s} = \frac{I_p}{I_s} \text{ dan } P = I_x . V$$

Sumber : Dwiuniarto, 2013

Namun untuk menjaga kestabilan tegangan tidak hanya dengan AVR saja, genset juga dilengkapi Sistem *Governor* untuk menjaga kestabilan RPM (*Rotation Power Momentum*) sehingga bisa dihasilkan frekuensi putaran yang stabil pada saat ada atau tidak ada beban, hal ini bisa dilakukan dengan mengatur supply BBM (biasanya solar) pada generator genset.

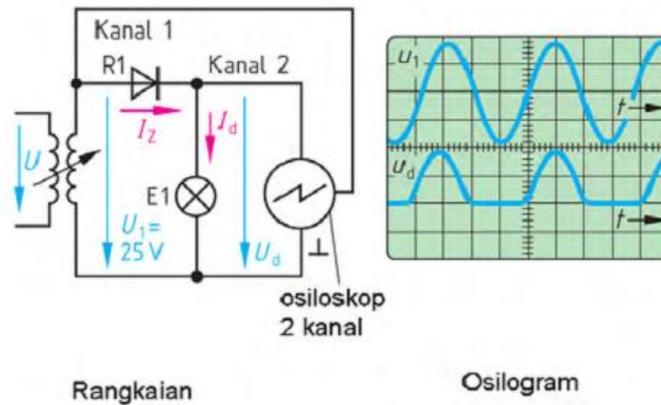
2.7.1.8. Sumber Listrik Arus Searah

Penyearah digunakan untuk mengubah listrik AC menjadi listrik DC, listrik DC dipakai untuk berbagai kebutuhan misalnya Power Supply, Pengisi Akumulator, Alat penyepuhan logam. Komponen elektronika yang dipakai yaitu Diode, atau Thyristor. Penyearah dengan Diode sering disebut penyearah tanpa kendali, artinya tegangan output yang dihasilkan tetap tidak bisa dikendalikan. Penyearah dengan Thyristor termasuk penyearah terkendali, artinya tegangan output yang dihasilkan bisa diatur dengan pengaturan penyalaan sudut α sesuai dengan kebutuhan.

Ada empat tipe penyearah dengan Diode, terdiri penyearah setengah gelombang dan gelombang penuh satu phasa dan setengah gelombang dan gelombang penuh tiga phasa. Penyearah Dilengkapi Filter Kapasitor

a. Penyearah Setengah Gelombang

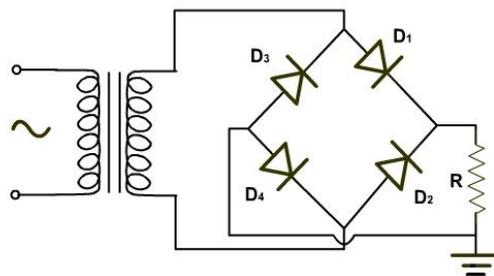
Rangkaian transformator penu-run tegangan dengan sebuah Diode R1 setengah gelombang dan sebuah lampu E1 sebagai beban. Sekunder trafo sebagai tegangan input $U_1 = 25 \text{ V}$ dan bentuk tegangan output DC dapat dilihat dari osiloskop. Tegangan input U_1 merupakan gelombang sinusoida, dan tegangan output setelah Diode U_d bentuknya setengah gelombang bagian yang positifnya saja.



Gambar 2.25 Dioda setengah Gelombang 1 Phasa

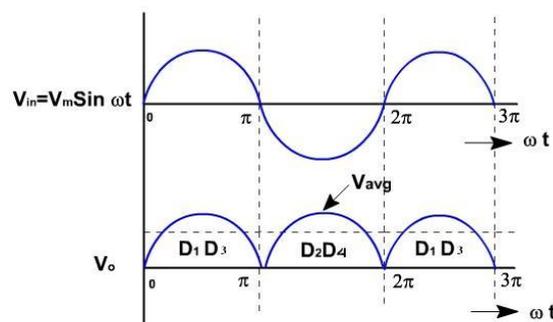
Sumber : Prih, dkk, 2008

b. Penyearah Diode Gelombang Penuh



Sumber : <http://elektronika-dasar.web.id/teori-elektronika/konsep-dasar-penyearah-gelombang-rectifier/>, diakses 6 Juli 2014

Gambar 2.26Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh

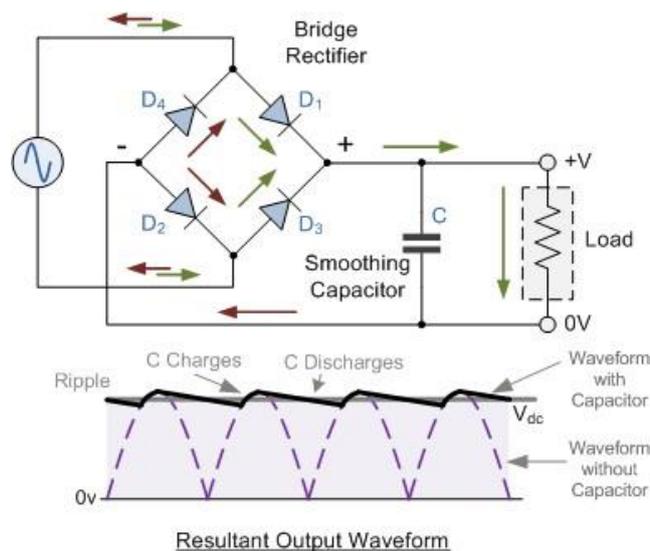


Sumber : <http://elektronika-dasar.web.id/teori-elektronika/konsep-dasar-penyearah-gelombang-rectifier/>, diakses 6 Juli 2014

Gambar 2.26Sinyal Input dan Arus Dioda dan Arus Beban

Prinsip kerja dari penyearah gelombang penuh dengan 4 diode diatas dimulai pada saat output transformator memberikan level tegangan sisi positif, maka D1, D4 pada posisi forward bias dan D2, D3 pada posisi reverse bias sehingga level tegangan sisi puncak positif tersebut akan di lewatkan melalui D1 ke D4. Kemudian pada saat output transformator memberikan level tegangan sisi puncak negatif maka D2, D4 pada posisi forward bias dan D1, D2 pada posisi reverse bias sehingga level tegangan sisi negatif tersebut dialirkan melalui D2, D4. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada grafik output berikut.

Agar tegangan penyearahan gelombang AC lebih optimal menajdi tegangan DC maka dipasang filter kapasitor pada bagian output rangkaian penyearah seperti terlihat pada gambar berikut.



Gambar 2.27rangkaian penyearah dan gelombang yang dihasilkan
 Sumber :<http://elektronika-dasar.web.id/teori-elektronika/konsep-dasar-penyearah-gelombang-rectifier/>, diakses 6 Juli 2014

Fungsi kapasitor pada rangkaian diatas untuk menekan ripple yang terjadi dari proses penyearahan gelombang AC. Setelah dipasang filter kapasitor maka output dari rangkaian penyearah gelombang penuh ini akan menjadi tegangan DC (Direct Current) yang dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$V_{dc} = \frac{2V_{max}}{\pi}$$

Kemudian untuk nilai ripple tegangan yang ada dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$V_{Ripple} = \frac{I_{Load}}{fC}$$

Sumber : Agus, 2012

2.7.2. Motor Bakar

Motor bakar merupakan salah satu mesin penggerak mula yang mempunyai peranan penting sebagai tenaga penggerak berbagai macam peralatan dari kapasitas kecil sampai besar. Jenis peralatan yang digerakkan adalah peralatan yang tidak bergerak atau *stationer*. Motor bakar terdiri dari motor dengan kerja bolak-balik (*reciprocating engine*) dan motor dengan kerja putar (*rotary engine*). Motor dengan kerja bolak-balik terdiri dari motor bensin dan motor Diesel, dengan sistem 2 tak maupun 4 tak. Perbedaan utama motor bensin dengan motor diesel adalah pada sistem penyalanya. Motor bensin dengan bahan bakar bensin dicampur terlebih dahulu dalam karburator dengan udara pembakaran sebelum dimasukkan ke dalam silinder (ruang bakar), dan dinyalakan oleh loncatan api listrik antara kedua elektroda busi karena itu motor bensin dinamai juga *Spark Ignition Engines*.

Silinder motor bakar terbuat dari aluminium paduan dan diberi sirip pendingin kepala silinder yang menutup silinder terbuat dari aluminium dan dilengkapi juga dengan sirip pendingin. Kepala silinder ini juga dilengkapi dengan busi yang menimbulkan percikan bunga api dan mekanisme katup isap dan katup buang.

2.7.2.1. Unjuk Kerja Motor Bakar

Kinerja suatu motor bakar diperoleh dengan serangkaian uji unjuk kerja. Beberapa parameter penting yang berpengaruh pada unjuk kerja motor bakar adalah sebagai berikut:

a. Torsi dan Daya Poros.

Torsi adalah ukuran kemampuan mesin untuk menghasilkan kerja. Dalam prakteknya, torsi dari mesin berguna untuk mengatasi hambatan sewaktu kendaraan jalan menanjak, atau waktu mempercepat laju kendaraan pada generator torsi berguna saat beban puncak (otomotif). Besar torsi dapat dihitung dengan rumus:

$$T = \frac{P}{\frac{2\pi n}{60}} = \frac{30 P}{\pi n}$$

dimana :

- T : Torsi (N.m)
 P : Daya efektif (Watt)
 n : Putaran poros engkol (rpm)

Sumber: Agus, 2012

b. Tekanan efektif rata-rata

Tekanan efektif rata-rata didefinisikan sebagai tekanan teoritis (konstan), yang apabila mendorong torak sepanjang langkah kerja dari motor dapat menghasilkan tenaga (tenaga poros).

c. Pemakaian bahan bakar spesifik

Pemakaian bahan bakar spesifik menyatakan banyaknya bahan bakar yang dikonsumsi mesin per jam untuk setiap daya kuda yang dihasilkan. Harga pemakaian bahan bakar spesifik yang lebih rendah menyatakan efisiensi yang lebih tinggi. Jika dalam suatu pengujian mesin diperoleh data mengenai penggunaan jumlah bahan bakar (kg bahan bakar/jam), dan dalam waktu 1 jam diperoleh tenaga yang dihasilkan N, maka pemakaian bahan spesifik dihitung sebagai berikut :

$$Sfc = \frac{mf \times 10^3}{PB}$$

Dimana : Sfc = konsumsi bahan bakar (g/kW.h)

mf = laju aliran bahan bakar (kg/jam)

Sumber: Agus, 2012

Besarnya laju aliran massa bahan bakar (mf) dihitung dengan persamaan berikut:

$$mf = \frac{sg_f V_f 10^{-3}}{T_f} \times 3600$$

Dimana:

sg_f = Specific Gravity

V_f = Volume bahan bakar yang diuji (dalam hal ini pada saat 1 jam (3600 detik) awal, berapa ml konsumsi bahan bakar yang terjadi).

T_f = Waktu untuk menghabiskan bahan bakar sebanyak volume uji (detik).

Sumber: Agus, 2012

2.7.2.2. Kelengkapan Modifikasi

Modifikasi dari mesin otto (motor bensin) cukup mudah karena mesin sudah didesain untuk beroperasi pada campuran udara dan bahan bakar dengan pengapian busi. Beberapa modifikasi yang dapat dilakukan adalah:

- a. Modifikasi saluran masuk bahan bakar dan udara.
- b. Modifikasi rasio kompresi.
- c. Waktu pengapian

Modifikasi dasar adalah merubah campuran udara dan bahan bakar di dalam karburasi. Perbandingan massa udara dan massa bahan bakar untuk pembakaran sempurna dapat dilihat pada

Tabel 2.5. Perbandingan massa udara dan massa bensin pada pembakaran sempurna adalah 1- 5. Perbandingan massa udara dan massa biogas dengan kadar CH_4 50% adalah 4 - 6. Dengan dasar ini, saluran campuran bahan bakar bensin dan udara yang semula menggunakan karburasi, maka pada biogas dibuat peralatan pencampur yang dapat menghasilkan campuran untuk terjadinya pembakaran yang baik.

Tabel 2.6 Perbandingan jumlah udara dan jumlah bahan bakar untuk pembakaran sempurna

No	Bahan Bakar	Perbandingan Massa udara terhadap massa bahan bakar	Perbandingan Volume Udara terhadap Volume Bahan bakar
1	Bensin	1	5
2	Methane	17,16	9
3	Biogas 50% CH ₄ + 50% CO ₂	4,6	5,8

Sumber : Suyitno, 2009

Besarnya rasio kompresi dapat mempengaruhi efisiensi dari motor bakar. Secara umum dikatakan bahwa dengan rasio kompresi yang lebih tinggi akan diperoleh peningkatan efisiensi sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 2.4. Perbandingan kompresi yang umum pada motor bensin adalah 7 - 10. Perbandingan kompresi bukanlah perbandingan tekanan. Perbandingan kompresi (r) sendiri didefinisikan sebagai berikut:

$$R = \frac{V_{max}}{V_{min}}$$

Sumber : Suyitno, 2009

Untuk biogas, rasio kompresi direkomendasikan tidak lebih dan kurang dari 9 -13 (Mitzlatf, 1988) 'Semakin tinggi rasio kompresi dapat meningkatkan temperatur campuran udara bahan bakar. Hal ini dapat menyebabkan penyalaan sendiri yang tidak terkontrol dan proses pembakaran yang tidak rata. Keduanya dapat menjadi hal yang merugikan untuk mesin'.

Kecepatan pembakaran dari biogas lebih rendah dari kecepatan pembakaran bensin. Penyebabnya adalah biogas mengandung CO₂ dalam konsentrasi yang cukup tinggi. Kecepatan pembakaran campuran udara bahan bakar selama satu langkah pembakaran pada motor bensin sangat mempengaruhi efisiensi motor bensin tersebut. Sebagaimana diketahui bahwa waktu yang tersedia untuk sempurnanya pembakaran dalam ruang bakar motor bensin sangatlah singkat. Sebagai gambaran, pada motor bensin yang

beroperasi pada 3000 rpm, maka waktu yang tersedia untuk pembakaran selama satu langkah adalah 1/100 detik.

Waktu yang sesuai dengan kecepatan pembakaran tergantung pada beberapa parameter operasi :

- a. Kecepatan mesin
- b. Kelebihan udara pembakaran
- c. Jenis bahan bakar
- d. Tekanan dan temperatur.

Dalam kasus pembakaran biogas, karena kecepatan pembakarannya yang rendah, maka waktu pengapian yang dibutuhkan biasanya dapat dimajukan 100 – 150 lebih awal dari waktu pengapian standar bahan bakar bensin.

2.7.2.3. Komponen modifikasi motor bakar bensin

- a. selang vakum (karet) ukuran 8 x 3 mm

Selang berfungsi sebagai media penyalur gas dari penampungan ke generator set.



Gambar 2.28 Selang Vakum

- b. klem

Klem berfungsi sebagai untuk mengencangkan sambungan antara selang dengan T-pipe. Gambar klem disajikan pada gambar 2.18 berikut ini.



Gambar 2.29 Klem

c. Naple kecil ukuran 4 mm (bahan kuningan)

Naple ini sebagai masukan gas kepada karburator genset seperti pada gambar 2.19



Gambar 2.30 Naple