Potensi Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg) Di Universitas Sam Ratulangi

Yosua Tengker, Glanny M. C. Mangindaan, Meita Rumbayan.
Teknik Elektro Universitas Sam Ratulangi Manado, Jl. Kampus Bahu, 95115
Email : geofanytengker@gmail.com

ABSTRAK

Kebutuhan akan ketersediaan energi semakin meningkat seiring dengan pertambahan jumlah penduduk dan peningkatan konsumsi energi oleh masyarakat. Sumber energi yang selama ini digunakan Sebagian besar berasal dari bahan bakar fosil yang di mana bahan bakar fosil merupakan sumber energi yang proses terbentuknya memerlukan waktu jutaan tahun. Salah satu solusi yang dapat diterapkan dalam masalah ini adalah energi terbarukan yang didapat dari biogas. Telah dilakukan penelitian mengenai pemanfaatan biogas daun kering sebagai sumber energi alternatif yang di mana penelitian bertujuan untuk menguji potensi biogas pada daun kering dan kotoran sapi. Dengan campuran daun kering, kotoran sapi, dan air yang di mana bertujuan untuk mengetahui potensi ketersediaan energi biogas dengan daun kering dan kotoran sapi sebagai sumber energi utama.

Kata Kunci: *biogas, daun kering, kotoran sapi*

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan ketersediaan energi semakin meningkat seiring dengan pertambahan jumlah penduduk dan peningkatan konsumsi energi oleh masyarakat akibat penggunaan berbagai macam peralatan untuk menunjang kenyamanan dalam kehidupan. Sumber energi yang selama ini digunakan sebagian besar berasal dari bahan bakar fosil, seperti batu bara, minyak bumi, gas alam, dan lain – lain. Bahan bakar fosil merupakan sumber energi yang proses terbentuknya memerlukan waktu yang sangat lama dan dapat dikatakan merupakan energi tak terbarukan.

Energi terbarukan adalah energi yang didapatkan dari pemanfaatan panas matahari/surya, air, angin, panas bumi, gelombang laut, serta biomassa. Energi terbarukan mempunyai keuntungan ramah terhadap lingkungan serta keberadaanya di alam ini sangat berlimpah. Salah satu energi terbarukan yang sangat berpotensi di Indonesia adalah biogas.

Biogas adalah salah satu jenis energi terbarukan. Biogas merupakan gas yang dihasilkan oleh aktivitas anaerobik atau fermentasi bahan – bahan organik, termasuk di antaranya limbah domestic (rumah tangga), sampah biodegradable atau setiap limbah organik yang biodegrable dalam kondisi anaerobik. Kandungan utama biogas adalah metana dan karbon dioksida.

Universitas Sam Ratulangi memiliki bermacam – macam pepohonan yang tumbuh di daerah sekitara kampus; dimana daun kering yang dihasilkan oleh pohon – pohon tersebut mempunyai potensi untuk dijadikan bahan utama biogas. Oleh karena itu Universitas Sam Ratulangi memiliki potensi pengembangan pembangkit listrik tenaga biogas.

II. LANDASAN TEORI

Pengertian Biogas

Biogas adalah gas yang mudah terbakar (flammable) yang dihasilkan dari proses fermentasi (pembusukan) bahan – bahan organik oleh bakteri – bakteri anaerob (bakteri yang hidup dalam kondisi tanpa oksigen yang ada dalam udara). Proses fermentasi ini sebetulnya terjadi secara alamiah tetapi membutuhkan waktu yang relatif lama. Biogas berbeda dengan bahan bakar fosil (minyak bumi dan batu bara) yang merupakan bahan bakar tidak dapat diperbarui. Biogas sendiri merupakan gabungan dari gas metana (CH4), gas CO2 dan gas lainnya.

Biogas sangat potensial sebagai sumber energi terbarukan karena kandungan metana (CH4) yang tinggi dan nilai kalornya yang cukup tinggi. CH4 sendiri mempunyai nilai kalor 50MJ/kg. Metana (CH4) yang memiliki satu karbon dalam setiap rantainya, dapat menghasilkan pembakaran yang lebih ramah lingkungan dibandingkan bahan bakar berantai karbon panjang. Hal ini disebabkan karena jumlah CO2 yang dihasilkan selama pembakaran bahan bakar berantai karbon pendek adalah lebih sedikit.

Menurut Hermawan (2005), biogas mengandung komponen – komponen penyusunnya, sebagai berikut:

Tabel 1. Unsur penyusun Biogas

Komponen	Konsentrasi (%)
Metana (CH4)	55 – 75
Karbon Dioksida (CO2)	25 – 45

Nitrogen (N2)	0 – 0,3
Hidrogen (H2)	1 – 5
Hidrogen Sulfida (H2S)	0 – 3
Oksigen (O2)	0,1 – 0,5

Bahan Baku Penghasil Biogas

Biogas dapat diproduksi dari bahan organik dengan bantuan bakteri untuk proses fermentasi anaerobnya. Pada umumnya hampir semua jenis bahan organik dapat diolah menjadi biogas. Untuk biogas sederhana, bahan organik yang paling banyak digunakan di Indonesia adalah dari kotoran dan urine hewan. Beberapa bahan lain yang digunakan adalah dari kotoran manusia, sampah bio (organik), dan sisa proses pembuatan tahu.

Bahan baku pembuatan biogas sangat melimpah di sekitar kita. Beragam jenis limbah kotoran selalu tersedia, terutama di daerah pemukiman dan sentra peternakan. Bahan baku juga dapat diperoleh dari limbah pertanian, berupa sisa hasil panen dan tumbuhan-tumbuhan liar. Namun, setiap bahan baku memiliki nilai tertentu yang mesti tentukan jenisnya, baik berdasarkan nilai ekonomis maupun kemampuannya dalam menghasilkan biogas.

Tabel 2. Bahan Baku Penghasil Biogas

Bahan	Produksi Biogas (L/kg TS)	Kadar Metana (%)	Waktu Tinggal (hari)
Pisang (Buah dan daun)	940	53	15
Rumput	450-530	55-57	20
Jagung (batang secara keseluruhan)	350-500	50	20
Jerami (dicacah)	250-350	58	30
Tanaman rawa	380	56	20
Kotoran ayam	300-450	57-70	20
Kotoran sapi	190-220	68	20
Sampah (fraksi organik)	380	56	25

Sumber : Arati (2009), modifikasi. *)TS= *total solids*/ bahan kering

Berdasarkan dari Tabel 2.2 terlihat bahwa pisang (buah dan daun) penghasilan biogasnya paling banyak dan paling pendek waktu tinggalnya dibandingkan bahan baku yang lain. Dari segi kadar metana biogas, kotoran ayam menempati posisi paling tinggi dengan kadar metana biogas tertinggi dengan kadar gas metana 57– 70 %. Kotoran sapi yang paling banyak dimanfaatkan di lapangan menghasilkan produksi 190 – 220liter biogas per kilogram kotoran. Kadar gas metana yang dihasilkan sebesar 68% dan masa tinggal 20 hari.

Teknologi Biogas

Teknologi biogas merupakan salah satu teknik tepat guna untuk mengolah limbah, baik limbah peternakan, pertanian, limbah industri, dan rumah tangga untuk menghasilkan energi. Teknologi ini memanfaatkan mikroorganisme yang tersedia di alam untuk merombak dan mengolah berbagai limbah organik yang ditempatkan pada ruang kedap udara (anaerob). Selanjutnya hasil pengolahan limbah tersebut dengan konsep hasil akhir menjadi produk berdaya guna sebagai bahan bakar gas (biogas) dan pupuk-pupuk organik padat/cair bermutu baik (limbah keluaran dari digester). Berdasarkan hasil penelitian, penggunaan limbah keluaran dari digester biogas secara rutin mampu meningkatkan produksi padi secara berkesinambungan. Hal ini berbeda dengan pupuk kimia/sintetis yang justru bisa menurunkan produksi tanaman jika digunakan secara terus-menerus. Keunggulan lainnya adalah pupuk yang dihasilkan tidak menimbulkan adanya residu atau gulma di dalam lahan sawah. Manfaat lain dari energi biogas adalah sebagai pengganti bahan bakar, khususnya minyak tanah ataupun LPG yang dipergunakan untuk memasak. Dalam skala besar, biogas dapat digunakan sebagai pembangkit energi listrik. Di samping itu, dari proses produksi biogas akan dihasilkan limbah keluaran dari digester biogas yang dapat langsung dipergunakan sebagai pupuk organik pada tanamn budidaya pertanian. Limbah biogas merupakan pupuk organik yang sangat kaya akan unsur-unsur yang dibutuhkan oleh tanaman. Bahkan unsur-unsur tertentu seperti protein, selulose, lignin, dan lain-lain tidak dapat digantikan oleh pupuk kimia. Pupuk organik dari biogas telah dicobakan pada tanaman jagung, bawang merah, dan padi. Nilai kalori dari $1m^3$ biogas setara dengan 0,6-0,8liter minyak tanah. Untuk menghasilkan listrik 1 kwh dibutuhkan 0,62-$1m^3$ biogas yang setara dengan 0,52liter minyak solar. Oleh karena itu, biogas sangat cocok digunakan sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan sebagai pengganti minyak tanah, *Liquefied Petroleum Gas* (LPG), butana, batu bara, maupun bahan-bahan lain yang berasal dari fosil.

Tabel 3. Biogas dibandingan dengan bahan bakar lain

Keterangan	Bahan Bakar Lain
$1m^3$ Biogas	Elpiji 0,46kg
	Minyak tanah 0,62liter
	Minyak solar 0,52liter
	Bensin 0,80liter
	Gas kota 1,50m^3
	Kayu bakar 3,50kg

Biogas dapat digunakan dengan cara yang sama seperti gas-gas mudah terbakar lainnya. Pembakaran biogas dilakukan dengan mencampurnya dengan sebagian oksigen (O2). Namun demikian, untuk mendapatkan hasil pembakaran yang optimal, perlu dilakukan prakondisi sebelum biogas dibakar yaitu melalui proses pemurnian/penyaringan. Hal ini karena biogas mengandung beberapa gas lain yang tidak menguntungkan. Sebagai salah satu contoh, kandungan gas hidrogen sulfida yang tinggi yang terdapat dalam biogas jika dicampur dengan oksigen dengan perbandingan 1:20 maka akan menghasilkan gas yang sangat mudah meledak. Namun, sejauh ini belum pernah dilaporkan terjadinya ledakan pada sistem biogas sederhana. Beberapa hal yang menarik pada teknologi biogas adalah kemampuannya untuk membentuk biogas dari limbah organik yang jumlahnya berlimpah dan tersedia secara bebas. Variasi dari sifat-sifat biokimia menyebabkan produksi biogas juga bervariasi. Sejumlah bahan organik dapat digunakan sama-sama dengan beberapa persyaratan produksi gas atau pertumbuhan normal bakteri metan yang sesuai.

Pemilihan bahan biogas dapat ditentukan dari perbandingan kadar C (karbon) dan N (nitrogen) dalam bahan tersebut. Bahan organik yang umumnya mampu menghasilkan kualitas biogas yang tinggi mempunyai rasio C/N sekitar 20-30 (Sasse, 1988) atau 20-25 (Dennis A., 2001). Perbandingan C dan N dalam bahan biogas merupakan faktor penting untuk berkembangnya bakteri yang akan menguraikan bahan organik tersebut. Pada perbandingan C/N kurang dari 8, dapat menghalangi aktivitas bakteri akibat kadar amonia yang berlebihan (Uli Werner, 1989). Pada perbandingan C/N lebih dari 43 mengakibatkan kerja bakteri juga terhambat (Dennis A., 2001). Walaupun demikian, parameter ini bukan jaminan satu-satunya untuk kualitas biogas yang tinggi karena masih terdapat beberapa parameter lain yang harus diperhatikan khususnya pada reaktor biogas (biodigester).

Untuk mendapatkan produksi biogas yang tinggi, maka penambahan bahan yang mengandung karbon (C) seperti jerami, atau N (misalnya: urea) perlu dilakukan untuk mencapai rasio C/N = 20

Tabel 4. Rasio C/N beberapa bahan organic

Bahan	Rasio C/N
Kotoran bebek	8
Kotoran manusia	8
Kotoran ayam	10
Kotoran kambing	12
Kotoran babi	18
Kotoran domba	19
Kotoran sapi	24
Air hyiacinth	25
Kotoran gajah	43
Jerami (jagung)	60
Jerami (padi)	70
Jerami (gandum)	90
Tahi gergajian	Di atas 200

Tidak semua bahan organik terurai menjadi gas dalam digester anaerob. Bakteri anaerob tidak menguraikan lignin dan beberapa jenis hidrokarbon. Digester yang berisi kotoran yang mengandung nitrogen tinggi dan belerang yang rendah dapat menghasilkan racun berupa amonia dan H_2S (Hidrogen Sulfida). Kotoran yang tidak bercampur dengan air akan terurai dengan lambat.

Perlu ditekankan disini bahwa proses fermentasi dalam biodigester sendiri berlangsung secara alami. Mikroba (bakteri) yang berfungsi untuk menguraikan bahan organik juga dapat terbentuk secara alami asalkan kondisi biodigester terpenuhi untuk tumbuhnya bakteri tersebut. Ciri fisik yang terlihat dari terjadinya proses fermentasi alami adalah terbentuknya gelembung pada permukaan air.

1. Rasio C/N

Hubungan antara jumlah karbon dan nitrogen yang terdapat pada bahan organik dinyatakan dalam terminologi rasio karbon/ nitrogen (C/N). Apabila rasio C/N sangat tinggi, nitrogen akan dikonsumsi sangat cepat oleh bakteri metan sampai batas persyaratan protein dan tak lama bereaksi ke arah kiri pada kandungan karbon pada bahan. Sebagai akibatnya, produksi metan akan menjadi rendah. Sebaliknya, apabila rasio C/N sangat rendah, nitrogen akan bebas dan berakumulasi dalam bentuk amoniak (NH4). NH4 akan meningkatkan derajat pH bahan dalam digester. pH lebih tinggi dari 8,5 akan mulai menunjukkan akibat racun pada populasi bakteri metan.

2. Kotoran hewan

Kotoran hewan khususnya kotoran sapi, mempunyai rata-rata rasio C/N sekitar 24. Bahan tanaman seperti jerami dan limbah gergajian mengandung persentase karbon lebih tinggi. Rasio C/N dari beberapa bahan limbah komoditas terdapat pada tabel diatas. Bahan dengan rasio C/N tinggi dicampur dengan bahan yang rasio C/N nya rendah sehingga didapatkan rata-rata rasio campuran input pada tingkat yang dikehendaki.

3. Pengadukan dan konsistensi input

Untuk mempermudah pemahaman akan dibahas satu contoh bahan organik yang digunakan, yaitu kotoran sapi. Sebelum dimasukkan ke dalam digester, kotoran sapi dalam keadaan segar, dicampur dengan air (perbandingan 1:1) berdasarkan unit volume (air dan kotoran sapi dalam volume yang sama). Namun, jika kotoran sapi dalam bentuk kering, jumlah air harus ditambah sampai kekentalan yang diinginkan (bervariasi antara 1: 1,25 sampai 1,2). Pengadukan dilakukan untuk menjaga total partikel padat tidak mengendap pada dasar register. Jika terlalu pekat, partikel-partikel menghambat aliran gas yang terbnetuk pada bagian bawah digester. Sebagai akibatnya, produksi gas lebih sedikit daripada perolehan optimum.

4. Padatan tak stabil

Berat padatan organik terbakar habis pada suhu 538^{o}C didefinisikan sebagai padatan tak stabil. Potensi produksi biogas dari bahan-bahan organik, dapat dikalkulasi berdasarkan kandungan padatan tak stabil. Semakin tinggi kandungan padatan tak stabil dalam satu unit volume dari kotoran sapi segar akan menghasilkan produksi gas yang lebih banyak.

Berikut ini terdapat banyak faktor yang memfasilitasi dan menghambat telah memainkan peranan dalam proses, yaitu:

a) Nilai Ph

Produksi biogas secara optimum dapat dicapai bila nilai pH dari campuran input di dalam digester juga merupakan fungsi waktu di dalam digester tersebut. Pada tahap awal proses fermentasi, asam organik dalam jumlah besar diproduksi oleh bakteri pembentuk asam, pH dalam digester dapat mencapai dibawah 5. Keadaan ini cenderung menghentikan proses pencernaan atau proses fermentasi. Bakteri – bakteri metanogenik sangat

peka terhadap pH dan tidak bertahan hidup dibawah pH 6. Kemudian proses pencernaan berlangsung, konsumen NH4 bertambah pencernaan nitrogen dapat meningkatkan nilai pH diatas 8. Ketika produksi metana dalam kondisi stabil, kisaran nilai pH adalah 7,2 – 8,2.

b) Suhu

Bakteri metanogen dalam keadaan tidak aktif pada kondisi suhu ekstrim tinggi maupun rendah. Suhu optimum yaitu 35^{o}C. Ketika suhu udara turun sampai 10^{o}C produksi gas menjadi berhenti. Produksi gas sangat bagus yaitu pada kisaran mesofilik, antara suhu 25^{o}C dan 30^{o}C. Penggunaan isolasi yang memadai pada digester membantu produksi gas khususnya di daerah dingin.

c) Laju pengumpanan

Laju pengumpanan adalah jumlah bahan yang dimasukkan ke dalam digester per unit kapasitas per hari. Pada umumnya, 6kg kotoran sapi per m^3 volume digester adalah direkomendasikan pada suatu jaringan pengolah kotoran sapi. Apabila terjadi pemasukan bahan yang berlebihan, akan terjadi akumulasi asam dan produksi metana akan terganggu. Sebaliknya, bila pengumpanan kurang dari kapasitas digester, produksi gas juga menjadi rendah.

d) Waktu tinggal dalam digester

Waktu tinggal dalam digester adalah rata – rata periode waktu saat input masih berada dalam digester dan proses fermentasi oleh bakteri metanogen. Dalam jaringan dari digester dengan kotoran sapi, waktu tinggal dihitung dengan pembagian volume total dari digester oleh volume input yang ditambah setiap hari. Waktu tinggal juga tergantung pada suhu. Di atas suhu 35^{o}C atau suhu lebih tinggi, waktu tinggal semakin dekat.

e) Sludge

Sludge adalah limbah keluaran berupa lumpur dari lubang pengeluaran digester setelah mengalami proses fermentasi oleh bakteri metana dalam kondisi anaerobik. Setelah ektraksi biogas (energi), sludge dari digester sebagai produk samping dari sistem pencernaan secara aerobik. Kondisi ini, dapat dikatakan manur dalam keadaan stabil dan bebas patogen serta dapat dipergunakan untuk memperbaiki kesuburan tanah dan meningkatkan produksi tanaman.

Digester

Biogas merupakan bahan bakar terbarukan yang sangat potensial untuk dimanfaatkan. Di Indonesia jumlahnya sangat melimpah karena kaya akan sumber daya alam berupa material organik berupa dedaunan, kotoran hewan maupun kotoran manusia. Biogas dapat dimaksimalkan produksinya bila bakteri pengurai bekerja pada keadaan tanpa oksigen atau anaerob.

Untuk menghasilkan biogas yang dapat digunakan sebagai bahan bakar diperlukan suatu alat yang disebut digester. Biogas pada digerster akan terbentuk pada hari ke 4-5 dan mencapai puncaknya pada hari ke 15-20. Produksi biogas rata-rata mengandung 55% gas metana yang merupakan bahan utama biogas.

Terdapat 3 kelompok bekteri dalam proses penguraian kotoran, yaitu:

1. Kelompok bakteri fermentative, yaitu dari jenis streptococci, bacteriodes, dan beberapa jenis enterobactericeae.
2. Kelompok bakteri asetogenik, yaitu desulfovibrio.
3. Kelompok bakteri metana, yaitu dari jenis methanobacterium, methanobacillus, methanosacaria, methanococcus.

Beberapa hal yang perlu dipehatikan saat proses pembangunan biodigester yaitu:

Kondisi abiotis harus sepenuhnya anaerob. Jika terdapat udara yang mengandung oksigen masuk kedalam digester akan mengurangi produksi gas metana yang dihasilkan. Karena bakteri cenderung akan memakan oksigen yang masuk daripada terus bekerja memakan kotoran organik yang terdapat dalam digester.

1. Kondisi temperature yang stabil. Kondisi temperature yang ideal untuk digester pada umumnya di indonesia rata – rata 20-30 derajat celcius.
2. Keasaman (pH). Kondisi keasaman yang baik untuk perkembangan bakteri dalam digester antara 6,6 – 7,0 dan pH diusahakan tidak dibawah 6,2.
3. C/N rasio. C/N rasio yang ideal untuk produksi biogas antara 25–30. Oleh karena itu untuk menambahkan dengan karbon yang tinggi perlu ditambahkan jerami atau urea (unsur N).
4. Nutrisi tambahan. Dalam proses fermentasi, bakteri membutuhkan beberapa nutrisi tambagan berupa sedikit unsur logam. Jika kekurangan salah satu unsur nutrisi yang dibutuhkan dapat menurunkan proses produksi metana. Nutrisi yang dibutuhkan antara lain ammonia (NH_3) sebaga sumber Nitrogen, nikel (Ni), tembaga (Cu), dan besi (Fe) dalam jumlah yang sedikit. Selain itu, magnesium (Mg), fosfor dalam bentuk fosfat (PO_4), dan seng (Zn) dalam jumlah yang sedikit pula.

Tabel 5. Daftar nutrisi tambahan proses pembuatan biogas

Bahan	Jumlah Kebutuhan
$NH_4 – N$	3,3
$PO_4 – P$	0,1
S	0,33
Ca	0,13

Mg	0,018
Fe	0,023
Ni	0,004
Co	0,003
Zn	0,02

5. Pengaruh starter yang mengandung bakteri Metana diperukan untuk mempercepat proses fermentasi anaerob. Beberapa jenis starter antara lain:
   - Lumpur aktif, timbunan sampah organic timbunan kotoran, sludge, cairan *septic tank* dan seperti lumpur kolam ikan.
   - Starter buatan, yaitu bakteri yang dibiakkan dengan media buatan.

Prinsip Digester

Prinsip bangunan digester adalah menciptakan suatu ruang kedap udara (anaerob) yang menyatu dengan saluran atau pemasukan (input) serta saluran atau bak pengeluaran (luaran). Bak pemasukan berfungsi untuk melakukan homogenisasi dari bahan baku limbah cair dan padat. Apabila limbah padat dalam kondisi menggumpal maka diperlukan pengadukan supaya lebih mudah masuk ke dalam digester dan proses perombakan lebih mudah. Bak penampungan bertujuan menampung bahan sisa (sludge) hasil perombakan bahan organik dari digester yang telah mengurai bahan organiknya, tetapi akan semakin meningkat unsur haranya.

Pada dasarnya kotoran ternak yang ditumpuk atau dikumpulkan begitu saja dalam beberapa waktu tertentu dengan sendirinya akan membentuk gas metan. Namun, karena tidak ditampung, gas itu akan hilang menguap ke udara. Oleh karena itu, untuk menampung gas yang terbentuk dari bahan organik dapat dibuat beberapa model konstruksi alat penghasil biogas.

Berdasarkan cara pengisiannya, ada dua jenis digester (pengolah gas), yaitu *batch feeding* dan *continues feeding.*

- *Batch feeding*

Adalah jenis digester yang pengisian bahan organik (campuran bahan organik dan air) dilakukan sekali sampai penuh, kemudian ditunggu sampai biogas dihasilkan. Setelah biogas tidak berproduksi lagi atau produksinya sangat rendah, isian digesternya dibongkar, lalu diisi kembali dengan bahan organik yang baru.

- *Continues feeding*

Adalah jenis digester yang pengisian bahan organiknya dilakukan setiap hari dalam jumlah tertentu. Pada pengisian awal, digester diisi penuh, lalu ditunggu sampai biogas diproduksi. Setelah biogas diproduksi, pengisian bahan organik dilakukan secara kontinu setiap hari dengan jumlah tertentu. Setiap pengisian bahan organik yang baru akan selalu diikuti pengeluaran bahan sisa (sludge). Karena itu, jenis digester ini akan didesain dengan membuat lubang pemasukan dan lubang pengeluaran.

Sludge adalah lumpur yang keluar dari digester yang telah mengalami fermentasi. Sludge dapat dipisahkan menjadi bagian padatan dan cairan yang semuanya dapat dimanfaatkan langsung sebagai pupuk organik, yaitu pupuk organik padat dan pupuk organik cair.

Digester jenis *continues feeding* mempunyai dua model yaitu model tetap (*fixed*) dan model terapung (*floating*). Perbedaan kedua model ini adalah pada pengumpul biogas yang dihasilkan. Pada model *floating*, pengumpul gasnya terapung di atas sumur pencerna sehingga kapasitasnya akan naik turun sesuai dengan produksi gas yang dihasilkan dan pemanfaatan gas yang dihasilkan.

Model konstruksi tetap kontinu, yaitu penampung bahan organik penghasil biogas dan penampung gas menjadi satu, sedangkan pengisian bahan organik dilakukan secara kontinu. Model ini dapat dibuat sesuai dengan kapasitas tamping bahan penghasil biogas dan jumlah biogas yang ingin dihasilkan. Model permanen ini membutuhkan modal yang relatif lebih besar, tetapi umur pakainya lebih lama, perawatannya mudah, dan pengoperasiannya sederhana.

Proses Pembentukan Biogas

Ada tiga proses pembentukan biogas, dari pengolahan bahan organic dengan bantuan mikroorganisme anaerob hingga menjadi biogas, yaitu proses hidrolisis, pengasaman (asidifikasi), dan metanogenesis.

1. Hidrolisis

Hidrolisis merupakan proses yang utama dan tahap awal dari proses fermentasi. Tahap ini merupakan penguraian bahan organic dengan senyawa kompleks yang memiliki sifat mudah larut, seperti lemak, protein dan karbohidrat, menjadi senyawa yang sederhana. Hidrolisis juga dapat diartikan sebagai struktur dari bentuk polimer menjadi bentuk monomer. Senyawa yang dihasilkan dari proses hidrolisis diantaranya senyawa asam organic, glukosa, etanol, CO_2, dan senyawa hidrokarbon lainnya. Senyawa ini akan dimanfaatkan mikroorganisme sebagai sumber energy untuk melakukan aktivitas fermentasi.

2. Pengasaman (Asidifikasi)

Proses berikutnya adalah asidifikasi atau pengasaman. Pada tahap ini, senyawa-senyawa yang terbentuk pada tahap hidrolisis akan dijadikan sumber energy bagi mikroorganisme untuk tahap selanjutnya, yaitu pengasaman atau asifidikasi. Pada tahap ini, bakteri akan menghasilkan senyawa-senyawa asam organic, seperti asam asetat, asam propionat, asam butirat, dan asam laktat beserta produk sampingan berupa alcohol, CO_2, hydrogen, dan zat ammonia.

3. Metanogenesis

Tahap ketiga adalah proses metanogenesis. Bakteri metanogen, seperti methanococus, methanosarcina, dan methano bactherium akan mengubah produk lanjutan dari tahap pengasaman

menjadi gas methana, karbondioksida, dan air yang merupakan komponen penyusun biogas. Berikut reaksi perombakan yang dapat terjadi pada tahap metanogenesis.

Jumlah energy yang dihasilkan dalam pembentukan biogas sangat bergantung pada kosentrasi gas metana yang dihasilkan pada proses metanogenesis. Semakin tinggi kandungan metana yang dihasilkan, maka semakin besar pula energy yang dibentuk. Sebaliknya, apabila kosentrasi gas metana yang dihasilkan rendah, energy yang dihasilkan juga semakin rendah.

Kualitas biogas yang dihasilkan juga dapat ditingkatkan melalui penghilangan hydrogen sulfur, kandungan air, dan karbondioksida yang turut terbentuk. Hidrogen sulfur merupakan senyawa yang mengandung racun yang dapat menyebabkan korosi (pengkaratan) sehingga menjadi berbahaya apabila biogas mengandung senyawa ini karena dapat merusak instalasi. Kandungan air dihindari karena dapat menurunkan titik penyalaan biogas. Untuk menghilangkan ketiga zat tersebut, dapat menggunakan alat desulfulizer yang dibutuhan untuk menyalakan mesin generator (angin) sehingga mesin tidak mudah mengalami korosi. Alat desulfurizer akan menyaring biogas yang masih mengandung CO_2 sehingga terserap. Mesin generator pun tidak mudah korosi karena kandungan metan pada biogas sudah 80 – 95%.

Gas Metan

Gas Metan Sisa atau buangan senyawa organik yang berasal dari tanaman ataupun hewan secara alami akan terurai, baik akibat pengaruh lingkungan fisik (seperti panas matahari), lingkungan kimia (seperti adanya senyawa lain) atau yang paling umum dengan adanya jasad renik yang disebut mikroba, baik bakteri maupun jamur. Akibat penguraian bahan organik yang dilakukan jasad renik tersebut, maka akan terbentuk zat atau senyawa lain yang lebih sederhana (kecil), serta salah satu diantaranya berbentuk CH4 atau gas metan. Gas metan yang bergabung dengan CO2 atau gas karbon dioksida yang kemudian disebut biogas dengan perbandingan 65:35. Seperti sampah atau jerami yang diproses menjadi kompos memerlukan persyaratan dasar tertentu, demikian pula dalam proses pengubahan sampah atau buangan menjadi biogas, memerlukan persyaratan tertentu yang menyangkut:

1) Kandungan atau isi yang terkadung dalam bahan. Hal ini menyangkut nilai atau perbandingan antara unsur C (karbon) dengan unsur N (nitrogen) yang secara umum dikenal dengan nama rasio C/N. Perubahan senyawa organik dari sampah atau kotoran kandang menjadi CH4 (gas metan) dan CO2 (gas karbon dioksida) memerlukan persyaratan rasio C/N anatara 20-25. Sehingga kalau menggunakan bahan hanya berbentuk jerami dengan rasio C/N diatas 65, maka walaupun CH4 dan CO2 akan terbentuk, perbandingan CH4: CO2 = 65:35 tidak akan tercapai. Mungkin perbandingan tersebut bernilai 45:55 atau 50:50 atau 40:60 serta angka – angka lain yang kurang dari yang sudah ditentukan, maka hasil biogasnya akan mempunyai nilai bakar rendah atau kurang memenuhi syarat sebagai bahan energi. Juga sebaliknya kalau bahan yang digunakan berbentuk kotoran kandang, misalnya dari kotoran kambing dengan rasio C/N sekitar 8, maka produksi biogas akan mempunyai perbandingan antara CH4 dan CO2 seperti 90:10 atau nilai lainya yang terlalu tinggi. Dengan nilai ini maka hasil biogasnya juga terlalu tinggi nilai bakarnya, sehingga mungkin akan membahayakan pengguna. Hal lain yang perlu diperhatikan yaitu rasio C/N terlalu tinggi atau terlalu rendah akan mempengaruhi proses terbentuknya biogas, karena ini merupakan proses biologis yang memerlukan persyaratan hidup tertentu, seperti juga manusia.
2) Kadar air yang terkandung dalam bahan yang digunakan, juga seperti rasio C/N harus tepat. Jika hasil biogas diharapkan sesuai dengan persyaratan yang berlaku, maka bahan yang digunakan berbentuk kotoran kambing kering dicampur dengan sisa-sisa rumput bekas makanan atau dengan bahan lainnya yang juga kering, maka diperlukan penambahan air. Tapi berbeda kalau bahan yang akan digunakan adalah sampah organik misalnya sisa makanan yang telah basi atau sayur hijau yang telah membusuk.

   Dalam bahannya sudah terkandung air, sehingga penambahan air tidak akan sebanyak pada bahan yang kering. Air berperan sangat penting didalam proses biologis pembuatan biogas. Artinya terlalu banyak (berlebihan) juga jangan terlalu sedikit (kekurangan).
3) Temperatur yang diyakini sebagai temperatur optimum perkembangbiakan bakteri metan adalah sekitar 35ºC. Dengan temperatur itu proses pembuatan biogas akan 12 berjalan sesuai dengan waktunya. Tetapi berbeda kalau nilai temperatur terlalu rendah (dingin), maka waktu untuk menjadi biogas akan lebih lama.
4) Kehadiran jasad renik pemproses atau jasad renik yang mempunyai kemampuan untuk menguraikan bahan-bahan yang akhirnya membentuk CH4 dan CO2.

Dalam kotoran kandang, lumpur selokan ataupun sampah dan jerami, serta bahan-bahan buangan lainnya, banyak jasad renik, baik bakteri maupun jamur pengurai. Tapi yang menjadi masalah adalah hasil uraiannya belum tentu menjadi CH4 yang diharapkan serta mempunyai kemampuan sebagai bahan bakar. Maka untuk menjamin agar kehadiran jasad renik atau mikroba pembuat biogas (umumnya disebut bakteri metan), sebaiknya digunakan starter, yaitu bahan atau substrat yang didalamnya sudah dapat dipastikan mengandung mikroba metan sesuai yang dibutuhkan.

Aerasi atau kehadiran udara (oksigen) selama proses. Dalam hal pembuatan biogas maka udara sama sekali tidak diperlukan dalam reaktor pembuat. Keberadaan udara menyebabkan gas CH4 tidak akan

terbentuk. Untuk itu maka reaktor pembuat biogas harus dalam keadaan tertutup rapat. Masih ada beberapa persyaratan lain yang diperlukan agar hasil biogas sesuai dengan harapan. Tetapi ke lima syarat tersebut sudah merupakan syarat dasar agar proses pembuatan biogas sebagaimana mestinya.

Zeolit

Zeolit adalah senyawa zat kimia alumino-silikat terhidrasi dengan kation natrium, kalion dan barium. Secara umum, zeolit memiliki molekuler struktur atom system yang di kelilingi oleh 3 atom oksigen, Yaitu:

- Muatan pada *framework* dinetralkan dengan mengikat kation-kation monovalen atau divalen di dalam porinya.
- Memiliki kemampuan sebagai penukar kation.
- Mengikat molekul air di dalam pori-porinya.

Zeolit dengan struktur *framework* mempunyai luas permukaan yang besar dan mempunyai saluran yang dapat menyaring ion atau molekul. Bila atom Al dinetralisir dengan ion polivalen, misalnya logam Pt atau Cu, zeolit dapat berfungsi sebagai katalis yang banyak digunakan pada reaksi-reaksi kimia.

Pemurnian Biogas Menggunakan Zeolit

Zeolit pada umunya dapat dibedakan menjadi dua, yaitu: zeolit alam dan zeolit sintetik. Zeolit alam biasanya mengandung kation-kation K, Na, Ca, K, atau Mg. sedangkan zeolit sintetik biasanya hanya mengandung kation-kation K, atau Na. system mengapa zeolit alam perlu di aktivasi terlebih dahulu sebelum digunakan. Aktivasi zeolit alam dapat dilakukan secara fisika maupun kimia. Secara fisika aktivasi dapat dilakukan dengan pemanasan pada suhu 300-400^{o}C dengan udara panas atau dengan system vakum untuk melepaskan molekul air. Sedangkan aktivasi secara kimia dilakukan melalui pencucian zeolit dengan larutan Na_2EDTA atau asam-asam anorganik seperti HF, HCI, H_2SO_4 untuk menghilangkan oksida-oksida pengotor yang menutupi permukaan pori.

Pemisahan kandungan CO_2 dalam biogas dapat dilakukan dengan menggunakan zeolit karena zeolit memiliki pori-pori berukuran molekuler sehingga mampu memisahkan atau menyaring molekul dengan ukuran tertentu. Pemisahan kandungan CO_2 dalam biogas dilakukan dengan cara mengalirkan biogas kedalam *purifier* yang di dalamnya terdapat zeolit. Zeolit tersebut akan mengabsorbsi gas CO_2 yang melewati alat *purifier*.

Fermentasi

Ada dua tipe dasar dekomposisi organik yang dapat terjadi aerobik (dengan adanya oksigen), dan dekomposisi anaerobik (tanpa oksigen). Semua bahan organik, baik hewan dan sayur bisa dipecah oleh dua proses, namun produk dekomposisi akan sangat berbeda dalam dua kasus. Dekomposisi aerobik akan menghasilkan karbon dioksida, amonia dan beberapa gas lainnya dalam jumlah kecil, panas dalam jumlah besar dan produk akhir yang dapat digunakan sebagai pupuk. Dekomposisi anaerobik akan menghasilkan metana, karbon dioksida, hidrogen beberapa dan gas lainnya, panas sangat sedikit dan produk akhir dengan kadar nitrogen lebih tinggi dari pada yang dihasilkan oleh fermentasi aerobik. Dekomposisi anaerobik adalah proses dua tahap sebagai pakan bakteri tertentu pada bahan organik tertentu. Pada tahap pertama, bakteri asam membongkar molekul organik kompleks menjadi peptida, gliserol, alkohol dan gula sederhana. Ketika senyawa ini telah diproduksi dalam jumlah yang cukup, kedua jenis bakteri mulai mengubah senyawa-senyawa sederhana menjadi metana. Bakteri penghasil metana ini sangat dipengaruhi oleh kondisi sekitar, yang dapat memperlambat atau menghentikan proses sepenuhnya. Zat Racun (Toxic) – Beberapa zat racun yang dapat mengganggu kinerja biodigester antara lain air sabun, detergen, creolin. Berikut adalah tabel beberapa zat beracun yang mampu diterima oleh bakteri dalam biodigester (Sddimension FAO dalam Ginting, 2006).

Bakteri

Ada tiga kelompok bakteri yang berperan dalam proses pembentukan biogas, yaitu:

1. Kelompok bakteri fermentatif: Steptococci, Bacteriodes, dan beberapa jenis Enterobactericeae
2. Kelompok bakteri asetogenik: Desulfovibrio
3. Kelompok bakteri metana: Mathanobacterium, Mathanobacillus, Methanosacaria, dan Methanococcus.

   Bedasarkan kisaran suhu bakteri di bagi menjadi tiga golongan:

   1) Tipe kriofilik, yaitu bakteri yang hidup pada daerah suhu antara 0˚C-30˚C, dengan suhu optimum 15˚C.
   2) Tipe Mesofilik, yaitu bakteri yang hidup pada temperatur 35 – 37°C. Bakteri ini dapat berkembang pada negara negara tropis seperti di indonesia. Untuk itu kondisi bidigester yang dibangun di indonesia tidak perlu dipanasi. Biodigester yanag dibangun didalam tanah juga mempunyai keuntungan sendiri, yaitu temperatur dalam biodigester cenderung konstan sehingga baik untuk pertumbuhan bakteri. Temperatur dimana bakteri ini bekerja secara optimum adalah pada 35 – 45°C. Waktu penyimpana dalam biodigester adalah lebih dari 30 – 60 hari.
   3) Tipe termofilik, yaitu bakteri yang hidup pada temperatur optimum 53 – 55°C. Bakteri yang berkembang pada temperatur tinggi pada umumnya digunakan hanya untuk mengurangi material, bukan untuk menghasilkan biogas. Waktu penyimpanan dalam digester akan lebih dari 10 sampai dengan 16 hari.

   Digester dengan bakteri ini bisanya dipakai untuk skala industri dimana tipe ini lebih memungkinkan dimaksimalisasi produksi biogasnya. Starter yang mengandung bakteri metana sangat diperlukan untuk mempercepat proses fermentasi anaerob. Beberapa jenis starter antara lain:

- Starter alami, yaitu lumpur aktif seperti lumpur kolam ikan, cairan septictank, endapan lumpur (slutge) dan kotoran hewan.

- Starter semi buatan, yaitu starter dari fasilitas biodigester dalam stadium aktif.
- Starter buatan, yaitu bakteri yang dikembangkan secara laboratorium.

Rumen

Rumen merupakan organ bagian dalam sistem pencernaan seperti lambung pada ternak yang berjenis herbivora. Rumen merupakan bagian penting, ruang pra-pencernaan untuk simbiosis mikroorganisme hidup, yang memiliki beberapa jenis mikroba/bakteri utama pada rumen. Rumen sapi mengandung berbagai mikroorganisme seperti bakteri, fungi maupun protozoa. Mikroorganisme tersebut mengeluarkan berbagai enzim yang berguna pada proses pencernaan pakan pada ruminansia.

Di dalam isi rumen sapi telah terkandung bakteri Methanosarcina yang berperan dalam proses pembentukan biogas dan bakterin selulotik yang mampu mencerna selulosa dari pakan yang berupa rumput.

Pengolahan limbah cairan isi rumen dan kotoran sapi dapat dilakukan dengan cara fermentasi anaerob (tanpa oksigen), dan merupakan salah satu alternatif untuk mengurangi pencemaran lingkungan. Dalam proses tersebut bahan organik akan didegrasi oleh mikroba yang dapat menghasilkan biogas. Cairan rumen sapi dari limbah rumah potong hewan dapat dimanfaatkan sebagai biostarter untuk mempercepat proses fermentasi kotoran untuk menghasilkan dan meningkatkan produksi gas metan dalam biogas.

Konversi Biogas Menjadi Listrik

Energi biogas merupakan energi yang potensial untuk dikembangakan dan dimanfaatkan di indonesia maupun di dunia. Disamping itu dengan terus meningkatnya tarif dasar listrik, kenaikakan harga LPG (Liquefied Petroleum Gas), premium, minyak tanah, minyak solar, minyak diesel dan minyak bakar telah mendorong pengembangan sumber energi alternatif yang murah, berkelanjutan dan ramah lingkungan (Nurhasanahet al 2006). Konversi energi biogas untuk pembangkit tenaga listrik dapat dilakukan dengan menggunakan gasturbine, microturbines dan Otto Cycle Engine. Pemilihan teknologi ini sangat dipengaruhi potensi biogas yang ada seperti konsentrasi gas metan maupun tekanan biogas, kebutuhan beban dan ketersediaan dana yang ada (Saragih, 2010). Dikutip dari buku Renewable Energi Conversion, Transmsision and Storage, Bent Sorensen, bahwa 1 Kg gas metana setara dengan 6,13 x 107J, sedangkan 1kWh setara dengan 3,6 x 107J. massa jenis metan 0,656kg/m3. Sehingga $1m^3$ gas metana menghasilkan energi listrik sebesar 11,17kWh.

Tabel 6. Konversi Energi Gas Metan Menjadi Listrik

Jenis Energi	Setara
1kg gas metan	$6{,}13 \times 10^7$J
1kWh	$3{,}6 \times 10^7$J
$1m^3$ gas metan massa jenis 0,656kg/m^3	$4{,}0213 \times 10^7$J
$1m^3$ gas metan	11,17kWh

III. METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Penelitian telah dilaksanakan di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sam Ratulangi Manado.

Pengambilan Data

Tabel 7. Bahan Utama Biogas

No	Sampah	Massa
1.	Daun Kering 1	13kg
2.	Daun Kering 2	12kg
3.	Daun Kering 3	5kg
4.	Daun Kering 4	10kg
5.	Daun Kering 5	20kg
6.	Rumen Sapi	75kg

IV. HASIL DAN ANALISA PERHITUNGAN

Pembahasan Daun Kering dan Kotoran Sapi

Daun kering yang digunakan = 60kg
Kotoran sapi yang digunakan = 75kg
Jumlah Total = Jumlah daun kering + kotoran sapi
= 60kg + 75kg
= 135kg

Dalam pengolahannya, daun kering ditambahkan kotoran sapi dan dicampurkan dengan air. Perbandingan daun kering ditambahkan kotoran sapi dengan air yaitu 1:1, maka untuk menghitung jumlah bahan baku yang akan dimasukkan yaitu:

Jumlah Bahan Baku = Padatan + Air
= 1:1
= 135kg + 135kg air
= 270kg ≈ 270liter

Berdasarkan pemanfaatan daun kering sebagai sumber energi alternatif biogas, maka penelitian ini

menggunakan perbandingan kotoran sapi dan daun kering dengan perbandingan 2:1. Menggunakan 75kg kotoran sapi, 30kg daun kering dan air dengan perbandingan 1:1 sebagai start awal, dan untuk 30kg daun kering dimasukkan secara bertahap 3 hari dalam satu minggu (senin, rabu, jumat) dicampur dengan air. Berdasarkan hasil penelitian, proses dekomposisi daun kering dalam digester memiliki waktu yang lama karena tekstur daripada daun kering yang tebal dan cacahannya tidak terlalu halus. Biogas yang dihasilkan oleh campuran daun kering dan kotoran sapi memiliki bau busuk namun setelah di bakar tidak menimbulkan bau busuk. Dalam hal ini berarti biogas yang dihasilkan oleh daun kering terbakar dan aman digunakan sebagai pemanfaatan energi alternatif biogas.

Pencampuran EM4

Larutan Effective Mikroorganisme 4 (EM4) ditemukan pertama kali oleh prof. DR. Teruo Higa dari universitas Ryukyus Jepang. Adapun penerapanya di Indonesia banyak dibantu oleh Ir. Gede Ngurah Wididana, M.Sc. Larutan EM4 ini berisi mikroorganisme fermentasi. Jumlah mikroorganisme fermentasi didalam EM4 sangat banyak, sekitar 80genus. Dari sekian banyak mikroorganisme ada lima golongan pokok yang menjadi komponen utama, yaitu bakteri fotosintetik, laktobassilus sp, Streptomyces sp, ragi. Dalam penelitian ini dimasukkan EM4 yang dicampurkan dalam jerigen dengan campuran 1liter EM4, 1 buah gula batu yang sudah dicairkan, dengan air menyesuaikan dimasukkan dalam jerigen 27 liter. EM4 yang sudah dicampur dalam jerigen, dimasukkan secara bertahap mulai hari kamis 13 Mei 2021 sebanyak 9liter, hari jumat 14 Mei 2021 dimasukkan sebanyak 9liter bertahap pagi, siang, sore, hari sabtu 15 Mei 2021 dimasukkan sebanyak 9liter bertahap pagi, siang, sore.

Perkembangan Biogas

Perkembangan biogas dilihat dari tinggi torrent dan menggunakan reaktor tipe *floating drum.* Kapasitas torrent yang dipakai yaitu 700liter dan 650liter. Karena ada ruang 50liter, maka torrent yang naik tidak simetris. Oleh sebab itu perkembangan biogas dibagi 4 sisi dan diberi garis spidol di setiap sisi torrent. Keliling daripada torrent 650liter adalah 274cm dan tinggi torrent pada puncak pekembangannya adalah sisi A 55cm, B 53,5cm, C 59,5cm, dan D 49cm. Untuk mendapatkan volume biogas yang ada pada torrent, kita menggunakan rumus $Volume = \pi r^2 \times tinggi\ torrent$. Karena r tidak diketahui, maka digunakan rumus $Keliling\ torrent = 2\pi r$, sehingga bisa didapatkan volume biogas yang terdapat pada torrent.

Tinggi Torrent = 55cm + 53,5cm + 59,5cm + 49cm
= 217cm
= 217 : 4
= 54,25cm

Keliling Torrent $= 2\pi r$
274 $= 2 \times 3{,}14 \times r$
274 $= 6{,}28 \times r$
$r = \frac{274}{6{,}28}$
$r = 43{,}63$

Dengan diketahui r sama dengan 43,63, maka volume biogas bisa di dapatkan, yaitu:

Volume Biogas $= \pi r^2 \times tinggi\ torrent$
= 3,14 × 43,63 × 43,63 × 54,25
= 3,14 × 1.903,57 × 54,25
= 3,14 × 103.268,67
= 324.263,62 : 1.000.000
= 0,32m^3

Selama 36 hari dengan bahan utama adalah daun kering, tertampung 0,32m^3 biogas

Biogas sudah diuji coba ke kompor dengan waktu pemakaian kurang lebih 35 menit dengan beban batu di atas torrent yaitu 24kg, dan penurunan torrent selama pemakaian yaitu 21cm, sehingga dapat diketahui biogas yang terpakai adalah:

Biogas Terpakai = 3,14 × 43,63 × 43,63 × 21
= 3,14 × 1.903,57 × 21
= 3,14 × 39.974,97
= 125.521,40 : 1.000.000
= 0,12m^3

Kesimpulan Dan Saran

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan referensi yang didapatkan dalam judul "Potensi Pengembangan PLTBg Di Universitas Sam Ratulangi" dapat disimpulkan bahwa daun kering bisa menjadi energi alternatif ataupun energi listrik jika gas metan (CH_4) bisa dimaksimalkan. Dalam penelitian ini daun kering dicampurkan dengan kotoran sapi agar energi yang dihasilkan bisa lebih besar dan bisa digunakan dalam waktu yang lama. Dengan menggunakan campuran antara daun kering 60kg dan kotoran sapi 75kg dengan air, bisa dihasilkannya biogas yang dimana sudah dipakai ke kompor dengan waktu pemakaian selama 35 menit. Dan dalam analisa diatas dengan memakai 60kg daun kering dan 75kg kotoran sapi yang telah dicampurkan dengan air, dapat menghasilkan 0,32m^3 biogas.

Saran

Untuk daun kering sebagai sumber energi utama bisa dicacah lebih halus karena tekstur daripada daun kering yang tebal sehingga proses penguraian daun kering menjadi lama. Dan desain daripada reaktor di bagian inlet untuk tingkat kemiringan bisa dipermudah bahan utama untuk masuk ke dalam reaktor. Agar bisa menghasilkan biogas yang lebih besar, bisa menambahkan daun kering dan kotoran sapi.

DAFTAR PUSTAKA

1) Biogas dan Konsentrasi Gas Metan dalam Biogas. Thesis Universitas Gajah Mada.
2) Fithry, Y. 2010. Pengaruh Penambahan Cairan Rumen Sapi pada Pembentukan Biogas dari Sampah Buah Mangga dan Semangka. Tesis, Program Pasca Sarjana Universitas Gajah Mada: Yogyakarta,
3) Gamayanti, Kunty N., Pertiwiningrum, Anwar., Mira, Y.L. 2012. Pengaruh Penggunaan Limbah Cairan dan Lumpur Gambut Sebagai Starter dalam Proses Fermentasi Metanogonik. Buletin Peternakan Vol.36 No.1: 32-39,
4) Immo, S., Tumaliang, H., & Similang, S. (2021). PEMANFAATAN ECENG GONDOK SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF.
5) Kusuma, S. I. (2009). Rancang bangun pembangkit listrik tenaga biogas,
6) RACHMAN, A. K. (2018). STUDI PERENCANAAN ENERGI BIOMASSA DARI LIMBAH PADI SEBAGAI ALRNATIF UNTUK BAHAN BAKAR PEMBANGKIT LISTRIK DI KOTA BOGOR (Studi kasus di Dinas Pertanian Kota Bogor). *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik Elektro*, *1*
7) Suseno, D. 2009. Aktivitas Antibeakterin Propolis Trigona spp, pada Dua Konsentrasi Berbeda terhadap Cairan Rumen Sapi. Program Studi Biokimia Fakultas Matematika dan IPA IPB, Bogor,
8) Susilowati, E. 2009. Uji Potensi Pemanfaatan Cairan Rumen Sapi untuk Meningkatkan Kecepatan Produksi
9) Yulianto, A., Adi, A. N., & Priyambodo, H. L. (2010). Studi Potensi Pemanfaatan Biogas Sebagai Pembangkit Energi Listrik di Dusun Kaliurang Timur, Kelurahan Hargobinangun, Pakem, Sleman, Yogyakarta. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*,
10) Yenni., Dewilda, Yommi., S.M, Sari. 2012. Uji pembentukan biogas dari substrat sampah sayur dan buah dengan ko-substrat limbah isi rumen sapi. Jurnal Teknik Lingkungan. Teknik Lingkungan: Unand,

Yosua Giovany Tengker lahir pada 07 September 1998 di Amurang Sulawesi Utara. Pada tahum 2016 memulai pendidikan di Universitas Sam Ratulangi, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro dengan mengambil Kosentrasi Minat Teknik Tenaga Listrik pada tahun 2018.

Dalam menempuh pendidikan penulis juga pernah melaksanakan Kerja Praktek yang bertempat di PLTU Amurang, tepatnya di PT. MEGADAYA TANGGUH pada bulan Juni – Juli tahun 2019. Penulis selesai menempuh pendidikan di Fakultas Teknik Elektro Universitas Sam Ratulangi Manado pada tahun 2021, dengan judul penelitian Potensi Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas Di Universitas Sam Ratulangi Manado.