

RANCANGAN DESAIN PEMILIHAN REAKTOR BIOGAS

Taufikurrahman

Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya
Jln. Srijaya Negara Bukit Besar Palembang-30139
E-mail: taufikmesin@yahoo.co.id

ABSTRACT

Biogas technology has been introduced and developed for long time in Indonesia, however application as alternative energy did not spread widely. There were several constrains such as lack of technical expertise, misfunction of the reactor, design is not user friendly, need manually handling and highly investment for construction. In the planning of biogas reactors have to consider several aspects, namely the number of cattle, Quality from cattle dung, biogas production locations and costs are available. Also consider the number of biogas users. Production of methane gas depends on C/N ratio of input material, hydraulic residence time, pH, temperature and toxicity. Temperature of slurry inside digester was around 25–27°C and pH 7–7.8, reactor produced biogas that contain methane gas content about 77%.

Keywords: Biogas, Design, Reactor, and Temperature.

PENDAHULUAN

Sumber daya energi mempunyai peran yang sangat penting bagi pembangunan ekonomi nasional. Sebagai salah satu negara penghasil minyak dan gas dengan berkurangnya cadangan minyak, menyebabkan kelangkaan bahan bakar minyak, yang disebabkan oleh kenaikan harga minyak dunia yang signifikan. Kenaikan harga yang mencapai 110 dollar Amerika Serikat ini termasuk luar biasa sebab biasanya terjadi saat musim dingin di negara-negara yang mempunyai empat musim di Eropa dan Amerika Serikat.

Penghematan energi telah dilakukan sejak dahulu karena pasokan bahan bakar yang berasal dari minyak bumi adalah sumber energi fosil yang tidak dapat diperbarui (*unrenewable*), sedangkan permintaan naik terus, demikian pula harganya sehingga tidak ada stabilitas keseimbangan permintaan dan penawaran. Salah satu jalan untuk menghemat bahan bakar minyak (BBM) adalah mencari sumber energi alternatif yang dapat diperbarui (*renewable*).

Kebutuhan bahan bakar bagi penduduk berpendapatan rendah maupun miskin, terutama di pedesaan, sebagian besar dipenuhi oleh minyak tanah yang memang dirasakan terjangkau karena disubsidi oleh pemerintah. Namun karena digunakan untuk industri atau usaha lainnya, kadang-kadang terjadi kelangkaan persediaan minyak tanah di pasar. Penggunaan kayu sebagai bahan bakar menjadi pertimbangan bagi penduduk pedesaan yang tinggal di dekat kawasan hutan berusaha mencari kayu bakar, baik dari ranting-ranting kering dan tidak jarang pula menebangi pohon-pohon di hutan yang terlarang untuk ditebangi, sehingga lambat laun mengancam kelestarian alam di sekitar kawasan hutan.

Sumber energi alternatif cukup tersedia. Energi matahari di musim kemarau atau musim kering, energi angin dan air. Tenaga air memang paling banyak dimanfaatkan dalam bentuk pembangkit listrik tenaga air (PLTA), namun bagi

sumber energi lain belum kelihatan secara signifikan. Oleh karena itu, pemanfaatan sumber-sumber energi alternatif yang terbarukan dan ramah lingkungan menjadi pilihan.

Energi terbarukan lain yang dapat dihasilkan dengan teknologi tepat guna yang relatif lebih sederhana dan sesuai untuk daerah pedesaan adalah energi biogas dengan memproses limbah bio atau bio massa di dalam alat kedap udara yang disebut digester. Biomassa berupa limbah dapat berupa kotoran ternak bahkan tinja manusia, sisa-sisa panen seperti jerami, sekam, daun-daunan sortiran sayur, limbah cair tahu dan kotoran ternak.

Biogas memiliki peluang yang besar dalam pengembangannya. Energi biogas dapat diperoleh dari biogas rumah tangga seperti kotoran cair dari peternakan ayam, sapi, babi, sampah organik dari pasar, industri makanan dan sebagainya. Kapasitas terpasang pemanfaatan biogas adalah kurang dari satu persen dari potensi biogas yang ada (685 MW). Dari ternak ruminansia besar saja (sapi perah, sapi potong dan kerbau) dengan populasi 13.680.000 ekor (pada tahun 2004) dan struktur populasi (anak, muda, dewasa) kotoran segar rata-rata 12. kg/ekor/hari, dapat menghasilkan kotoran segar 164 160.000 ton per hari atau setara dengan 8,2 juta liter minyak tanah/ hari (Syamsuddin, T.R., 2005).

Pemanfaatan energi biogas dengan *digester* biogas memiliki banyak keuntungan, yaitu mengurangi efek gas rumah kaca, mengurangi bau yang tidak sedap, mencegah penyebaran penyakit, menghasilkan panas dan daya (mekanis/listrik) serta hasil samping berupa pupuk padat dan cair. Pemanfaatan limbah dengan cara seperti ini secara ekonomi akan sangat kompetitif seiring naiknya harga bahan bakar minyak dan pupuk anorganik. Disamping itu, prinsip *zero waste* merupakan praktek pertanian yang ramah lingkungan dan berkelanjutan (Marchaim, U., 1992).

Kebudayaan Mesir, China dan Roma kuno diketahui telah memanfaatkan gas alam ini yang dibakar untuk menghasilkan panas. Namun, orang

pertama yang mengaitkan gas bakar ini dengan proses pembusukan bahan sayuran adalah Alessandro Volta (1776), sedangkan Willam Henry pada tahun 1806 mengidentifikasi gas yang dapat terbakar tersebut sebagai metan. Becham (1868), murid Louis Pasteur dan Tappeiner (1882), memperlihatkan asal mikrobiologis dari pembentukan metan.

Pada akhir abad ke-19 ada beberapa riset dalam bidang ini dilakukan. Jerman dan Perancis melakukan riset pada masa antara dua Perang Dunia dan beberapa unit pembangkit biogas dengan memanfaatkan limbah pertanian. Selama Perang Dunia II banyak petani di Inggris dan benua Eropa yang membuat digester kecil untuk menghasilkan biogas yang digunakan untuk menggerakkan traktor. Karena harga BBM semakin murah dan mudah memperolehnya pada tahun 1950-an pemakaian biogas di Eropa ditinggalkan. Namun, di negara-negara berkembang kebutuhan akan sumber energi yang murah dan selalu tersedia selalu ada. Kegiatan produksi biogas di India telah dilakukan semenjak abad ke-19. Alat pencernaan anaerobik pertama dibangun pada tahun 1900. (FAO, The Development and Use of Biogas Technology in Rural Asia, 1981).

Negara berkembang lainnya, seperti China, Filipina, Korea, Taiwan, dan Papua Niugini, telah melakukan berbagai riset dan pengembangan alat pembangkit gas bio dengan prinsip yang sama, yaitu menciptakan alat yang kedap udara dengan bagian-bagian pokok terdiri atas pencernaan (*digester*), lubang pemasukan bahan baku dan pengeluaran lumpur sisa hasil pencernaan (*slurry*) dan pipa penyaluran gas bio yang terbentuk.

Teknologi biogas bukanlah merupakan teknologi baru di Indonesia, sekitar tahun 1980-an sudah mulai diperkenalkan. Teknologi pengolahan biogas sampai saat ini belum mengalami perkembangan yang menggembirakan. Beberapa kendala antara lain yaitu kekurangan *technical expertise*, reaktor biogas tidak berfungsi akibat bocor/kesalahan konstruksi, disain kurang tepat user, membutuhkan penanganan secara manual (pengumpanan/mengeluarkan lumpur dari reaktor) dan biaya konstruksi yang mahal. Oleh karena itu,

diperlukan pengkajian yang lebih mendalam secara teknis dan ekonomis serta cara-cara pendekatan baru dalam pengembangannya (Widodo dan Nurhasanah, 2004; Widodo, et al., 2006). Tujuan kegiatan rekayasa dan pengembangan ini adalah untuk melakukan merekayasa dan menguji reaktor biogas.

Dalam perancangan disain unit instalasi pemroses biomasa faktor penting yang harus diacu adalah jumlah sapi akan berpengaruh pada kuantitas kotoran ternak, jumlah air pembersih, pengisian reaktor dipengaruhi oleh *volume reactor*, jumlah kotoran sapi yang akan digunakan, lamanya bahan berada di dalam reaktor (*Hdraulic Retention Time*), perkiraan tekanan gas metana yang dihasilkan dan perkiraan produksi volume gas metana.

Sedangkan perencanaan pembuatan unit instalasi pemroses energi biomasa dari kotoran sapi harus memperhatikan empat faktor yaitu *pertama*, ketersediaan jenis bahan konstruksi yang dapat dipakai untuk membuat unit penghasil biogas, *kedua*, ketersediaan jenis bahan organik buangan sebagai bahan isian, *ketiga*, jumlah kebutuhan dasar akan energi dari suatu keluarga atau kelompok masyarakat dan *keempat*, jenis keperluannya, pemanfaatan bahan keluaran yang berupa lumpur untuk pupuk tanaman ataupun algae pada kolam ikan. Faktor-faktor yang mempengaruhi proses anaerobik (Monnet, 2003) yaitu Suhu. Proses anaerobik dapat terjadi dibawah dua kisaran kondisi suhu, yaitu kondisi mesopilik, yaitu antara 20^o-45^oC, pada umumnya 35^oC dan kondisi thermopilik, yaitu antara 50-65^oC, pada umumnya 55^oC. Suhu yang ptimal dari proses anaerobik bervariasi tergantung pada komposisi nutrient di dalam digester, tetapi kebanyakan proses anaerobik seharusnya dipelihara secara konstan untuk mendukung tingkat produksi gas.

Secara umum proses anaerobik akan menghasilkan gas *Methana* (Biogas). Biogas (gas bio) adalah gas yang dihasilkan dari pembusukan bahan-bahan organik oleh bakteri pada kondisi anaerob (tanpa ada oksigen bebas). Biogas tersebut merupakan campuran dari berbagai macam gas antara lain:

Tabel 1. Komposisi Biogas

Unsur	Komposisi (%)
CH ₄	54 – 70
Karbon Dioksida (CO ₂)	27 – 45
Oksigen (O ₂)	1 – 4
Nitrogen (N ₂)	0,5 – 3
Karbon Monoksida (CO)	1
Hidrogen (H ₂)	

Sumber: KLH (2006)

Sifat penting dari gas metan ini adalah tidak berbau, tidak berwarna, beracun dan mudah terbakar. Karena sifat gas tersebut, maka gas metan ini termasuk membahayakan bagi keselamatan manusia (Sugiharto, 2005). Penggunaan biogas ini merupakan

salah satu cara untuk mengurangi pencemaran lingkungan, karena dengan fermentasi bakteri anaerob (bakteri metan) maka tingkat pengurangan pencemaran lingkungan dengan parameter BOD, COD akan berkurang sampai 90%.

Gas metan termasuk gas rumah kaca (*greenhouse gas*), bersama dengan gas karbon dioksida CO₂ memberikan efek rumah kaca yang menyebabkan terjadinya fenomena pemanasan global. Pengurangan gas metan secara lokal ini dapat berperan positif dalam upaya penyelesaian permasalahan global (efek rumah kaca).

Mikroorganisme pengurai memegang peranan penting pada proses pembuatan biogas, mikroorganisme merupakan dasar fungsional untuk sejumlah proses penanganan. Proses penanganan biologi limbah kotoran secara biologik terdiri dari campuran mikroorganisme yang mampu memetabolisme limbah organik menjadi gas, kelompok mikroorganisme tersebut adalah bakteri, fungi, algae, protozoa, rotifera, crustacea, dan virus (Metcalf and Eddy, 1979). pH juga merupakan faktor kunci dalam pertumbuhan mikroorganisme. Sebagian besar mikroorganisme tidak dapat mentoleransi level pH diatas 9,5 atau dibawah 4,0. Secara umum pH optimal untuk pertumbuhan adalah antara 6,5 dan 7,5. Kebanyakan bakteri adalah kemoheterotrofik yaitu menggunakan bahan organik sebagai sumber energi dan karbon. Beberapa spesies mengoksidasi senyawa-senyawa anorganik seperti NH₃ untuk energi dan CO₂ sebagai sumber karbon. Bakteri ini disebut kemoautotrof. Sebagian bakteri bersifat fotosintetik dan menggunakan sinar sebagai sumber energi dan CO₂ sebagai sumber karbon. Bakteri kemoheterotrofik merupakan bakteri terpenting dalam penanganan biogas karena bakteri-bakteri ini akan memecah bahan-bahan organik.

Secara umum proses anaerobik akan menghasilkan gas *Methana* (Biogas). Biogas (gas bio) adalah gas yang dihasilkan dari pembusukan bahan-bahan organik oleh bakteri pada kondisi anaerob (tanpa ada oksigen bebas). Biogas tersebut merupakan campuran dari berbagai macam gas antara lain CH₄ (54%-70%), CO₂ (27%-45%), O₂ (1%-4%), N₂ (0,5%-3%), CO (1%), dan H₂ (KLH, 2006). Sifat penting dari gas metan ini adalah tidak berbau, tidak berwarna, beracun dan mudah terbakar. Karena sifat gas tersebut, maka gas metan ini termasuk membahayakan bagi keselamatan manusia (Sugiharto, 2005). Penggunaan biogas ini merupakan salah satu cara untuk mengurangi pencemaran lingkungan, karena dengan fermentasi bakteri anaerob (bakteri metan) maka tingkat pengurangan pencemaran lingkungan dengan parameter BOD, COD akan berkurang sampai 90%. Sistem ini banyak dipakai dengan pertimbangan ada manfaat yang bisa diambil yaitu pemanfaatan biogas yang sangat memungkinkan digunakan sebagai bahan sumber energi karena gas metan sama dengan gas elpiji (liquid petroleum gas/LPG), perbedaannya adalah gas metan mempunyai satu atom C, sedangkan elpiji lebih banyak.

PEMBAHASAN

Proses anaerobik pada hakikatnya adalah proses yang terjadi karena aktivitas mikroba yang

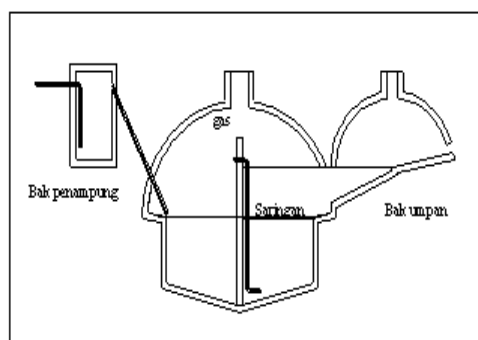
dilakukan pada saat tidak terdapat oksigen bebas. Proses anaerobik dapat digunakan untuk mengolah berbagai jenis limbah yang bersifat biodegradable, proses ini dilakukan didalam tabung reaktor. Perencanaan tabung reaktor untuk biogas ditentukan oleh beberapa faktor yaitu kuantitas kotoran, lokasi reaktor gas dan konstruksi reaktor.

Pengembangan teknologi biogas memiliki banyak kendala yaitu kekurangan *technical expertise*, reaktor yang tidak berfungsi akibat kesalahan konstruksi, desain yang tidak bersahabat sehingga membutuhkan penanganan secara manual baik sistem pengumpan maupun sistem pengeluaran lumpur dari reaktor serta biaya konstruksi yang mahal. Dalam menentukan tipe reaktor yang akan di kembangkan sebaiknya mempertimbangkan aspek teknis, ekonomis, bahan biogas dan lokasi.

Ada beberapa alat pembangkit biogas atau digester (LIPI, 2006), yaitu Tipe Terapung (*Floating Type*). Tipe terapung ini banyak dikembangkan di India yang terdiri atas sumur pencerna dan diatasnya ditaruh drum terapung dari besi terbalik yang berfungsi untuk menampung gas yang dihasilkan oleh digester. Sumur dibangun dengan menggunakan bahan-bahan yang biasa digunakan untuk membuat fondasi rumah, seperti pasir, batu bata, dan semen. Karena banyak dikembangkan di India, maka digester ini disebut juga dengan tipe India.

Tipe Kubah (*Fixed Dome Digester*). Tipe ini merupakan tipe yang paling banyak dipakai di Indonesia. Tipe kubah adalah berupa digester yang dibangun dengan menggali tanah kemudian dibuat dengan bata, pasir, dan semen yang berbentuk seperti rongga yang kedap udara dan berstruktur seperti kubah (bulatan setengah bola). Tipe ini dikembangkan di Cina sehingga disebut juga tipe kubah atau tipe Cina. Dengan sistem anaerobik-biogas, gas yang dihasilkan tergantung pada kandungan protein, lemak dan karbohidrat yang terkandung dalam limbah, lamanya waktu pembusukan minimal 30 hari karena semakin lama pembusukan semakin sempurna prosesnya, suhu di dalam digester yaitu 15^oC-35^oC, kapasitas kedelai minimal untuk dapat menghasilkan biogas adalah ± 400 kg, untuk produksi tahu dengan kapasitas kedelai 700 kg/hari dihasilkan tidak kurang dari 10.500 liter gas bio per hari, kebutuhan satu rumah tangga dengan 4-5 orang anggota ± 1.200-2.000 liter gas bio per hari (KLH, 2006).

Adapun sistem pengolahan biogas meliputi inlet (masuknya biogas), bak equalisasi, bak pengendapan, bak *Anaerobik Filter*, bak peluapan, bak pengurusan, dan outlet (keluarnya biogas yang telah diolah) (KLH, 2006). Bentuk dasar peralatan proses biogas tipe kubah (*fixed dome digester*) adalah sebagai berikut:

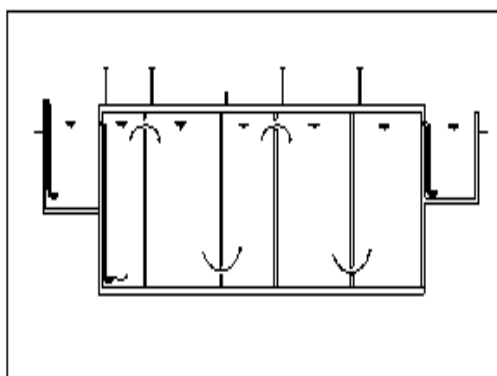


Gambar 2. Sketsa gambar tipe *Fixed Dome Digester*

Anaerobik baffled reaktor merupakan salah satu sistem proses pengolahan biogas anaerobik dengan mengatur aliran dari bawah ke atas menggunakan sekat-sekat. Seperti pada sebagian besar sistem anaerobik, sistem ini sangat membutuhkan pengaturan distribusi aliran, sehingga lumpur aktif bisa kontak dengan biogas secara merata.

Reaktor ini berbentuk tangki persegi panjang, dibagi empat kompartemen berukuran sama. Masing-masing kompartemen dipisahkan dinding dari arah atas dan dasar tangki. Campuran kotoran sapi dan air r dialirkan menuju ke atas lalu kebawah antar dinding dan menuju ke atas lagi melalui sludge anaerobik blanket hingga melalui kompartemen ke empat. Dalam reaktor ini terjadi kontak antara biogas dengan biomassa aktif, dimana dengan reaktor ini biomassa akan tertahan sebanyak mungkin.

Pengolahan air limbah industri tahu yang dilakukan menggunakan proses anaerobik dengan bentuk reaktor bersekat (*anaerobic baffled reactor*), mempunyai keuntungan karena cocok untuk daerah tropis (mikroorganisme mesofilik), sedangkan bentuk reaktor memberikan keuntungan karena memberi kontak yang lebih baik antara lumpur aktif yang ada dengan biogas (*up flow* dan *down flow*). Skema proses pengolahan limbah dengan sistem anaerobik baffled reaktor adalah sebagai berikut:



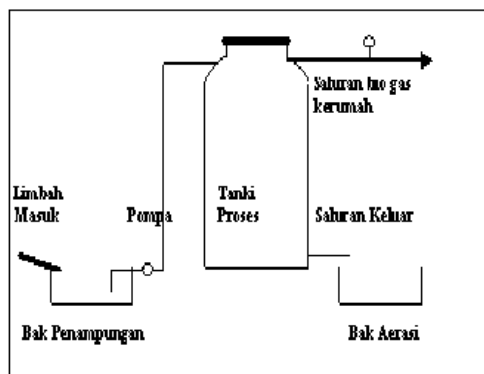
Gambar 3. Skema Anaerobik Baffled Reaktor

Bentuk reaktor berikut didesain berdasarkan kendala lokasi yang ada di lapangan yaitu reaktor ini

dirancang untuk daerah dataran rendah (rawa-rawa) buat dengan desain sederhana, bentuk dari bak ini adalah menggunakan tangki fiber glass dan tutup. Jenis reaktor ini memiliki volume tetap sehingga produksi gas akan meningkatkan tekanan di dalam reaktor. Teknologi biogas pada umumnya memanfaatkan proses pencernaan yang dilakukan oleh bakteri metanogen yang produknya berupa gas metana (CH_4). Gas metana hasil pencernaan tersebut bisa mencapai 60% dari keseluruhan gas hasil reaktor biogas, sedangkan sisanya didominasi oleh CO_2 . Bakteri ini bekerja pada lingkungan yang hampa udara (*anaerob*), sehingga proses ini disebut juga dengan pencernaan anaerob (*anaerob digestion*).

Dalam digester permanen, gas ditampung pada bagian atas tangki digester. Proses produksi biogas dimulai dalam waktu 3-5 hari. Menurut Garcelon, dkk, keberhasilan proses pencernaan bergantung pada kelangsungan hidup bakteri metanogen dalam reaktor, sehingga beberapa kondisi yang mendukung berkembangbiaknya bakteri ini di dalam reaktor perlu diperhatikan, misalnya temperatur, keasaman, dan jumlah materi organik yang hendak dicerna. Di dalam reaktor biogas, terdapat dua jenis bakteri yang sangat berperan, yakni bakteri asam dan bakteri metan. Kedua jenis bakteri ini perlu eksis dalam jumlah yang berimbang. Kegagalan reaktor biogas bisa dikarenakan tidak seimbangnya populasi bakteri metan terhadap bakteri asam yang menyebabkan lingkungan menjadi sangat asam (pH kurang dari 7) yang selanjutnya menghambat kelangsungan hidup bakteri metan. Keasaman substrat/media biogas dianjurkan untuk berada pada rentang pH 6,5 s/d 8. Bakteri metan ini cukup sensitif terhadap temperatur.

Temperatur 35°C diyakini sebagai temperatur optimum untuk perkembangbiakan bakteri metan (Garcelon, dkk). Bahan yang sudah diolah di dalam digester kemudian akan mengalir keluar dari digester menuju ke bak pelimpahan (*expansion chamber*). Bak pelimpahan ini mempunyai volume $2,4 \text{ m}^3$ dan waktu tinggal 11,5 jam. Untuk memanfaatkan biogas tersebut pada saluran bagian atas bak penampungan tersebut diberi saluran gas menuju dapur. Saluran ini diberi katup untuk buka dan tutup. saluran pipa dihubungkan dengan selang plastik yang lebih kecil, selang ini dihubungkan pada alat yang akan digunakan seperti kompor gas.



Gambar 1. Desain reaktor untuk dataran rendah

Ukuran reaktor dirancang untuk memaksimalkan produksi gas per unit volume reaktor agar biaya konstruksi dapat diminimalisir. Hal ini berkaitan dengan pencernaan secara anaerob yang tergantung pada aktivitas biologis dari bakteri methanogen yang berkembang lambat, maka ukuran reaktor harus memenuhi kinerja yang diharapkan dan cukup besar ukurannya untuk menghindari terucinya bakteri tersebut keluar dari reaktor (washed out). Pada daerah tropis yang pada umumnya suhu didalam reaktor sekitar 25-30° C, *retention time* berkisar antara 40-50 hari (Gunnerson and Stuckey,1986; Anonim¹,1980; Anonim², 1984).

Untuk menentukan ukuran desain volume reaktor biogas, terlebih dahulu mencari kapasitas volume metrik produksi gas metana (*specific yield*), volume ini ditentukan dari persamaan berikut (Gunnerson and Stuckey,1986) yaitu:

$$V_s = \frac{Bo \times So}{HRT} \cdot \left[1 - \frac{K}{(HRT \times \mu_m - 1 + K)} \right] \dots\dots\dots(1)$$

dimana :

- V_s = Kapasitas volume metrik gas metana (specific yield) m³/Hari
- K = Koefisien kinetik
- Bo = Kapasitas produksi gas metana tertinggi m³/kg
- So = Konsentrasi *volatile solid* didalam input material kg/m³
- HRT = *Hydraulic Retention Time* (Hari)
- μ_m = Laju pertumbuhan spesifik maksimum organisme per hari

Sedangkan harga koefisien kinetik ditentukan dengan persamaan: (Gunnerson and Stuckey,1986)

$$K = 0,8 + 0,0016 \times e^{0,06 \times S} \dots\dots\dots(2)$$

Laju pertumbuhan spesifik maksimum organisme dapat ditentukan dengan persamaan berikut: (Gunnerson and Stuckey,1986)

$$\mu_m = 0,013 \times T - 0,129 \dots\dots\dots(3)$$

Untuk menentukan volume reaktor ditentukan dengan persamaan: (Gunnerson and Stuckey,1986)

$$V_{reaktor} = \frac{\pi}{2R^3} + \frac{\pi}{3R^2t} \dots\dots\dots(4)$$

dimana:

- R = Jari-jari Kubah
- T = Tinggi krucut bagian lantai reaktor

Untuk menentukan volume penampung lumpur keluar dari reaktor dipergunakan persamaan: (Gunnerson and Stuckey,1986)

$$V_{pl} = \frac{\pi}{2R^3} \dots\dots\dots(5)$$

dimana:

- Bo = 0,2 m³ gas metana / kg *Volatile solid* yang ditambahkan
- So = 100 kg/m³
- HRT = 45 Hari

Dari pendesainan reaktor ini dengan mengetahui volume metrik gas metana (V_s) dan volume reaktor maka kualitas biogas yang dihasilkan dapat dihitung jumlahnya.

KESIMPULAN

Tipe Rancangan reaktor harus memperhatikan lokasi reaktor, kapasitas *Volatile solid* (*bahan untuk biogas*), sumber air, lokasi rumah penduduk. Volume dan volume metrik gas metana (V_s) dan volume reaktor sehingga kualitas biogas yang dihasilkan dapat dihitung jumlahnya dengan persamaan yang ada. Dalam rancangan reaktor harus mempertimbangkan pergerakan cairan bergerak secara grafitasi sehingga dapat mengurangi pemakaian energi lain.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim. 1980. *Guidebook on Biogas Development*. Energy Resources Development Series No. 21, United Nations: Economic and Social Commission for Asia and The Pacific. Bangkok. Thailand.

_____. 1984. *Updated Guidebook on Biogas Development - Energy Resources Development Series No.27*, United Nations, New York, USA.

_____. 1989. *The Biogas Technology in China*. Chengdu iogas Research Institute, Chengdu, China.

_____. 1997. *Biogas Utilization*. GTZ. <http://ww5.gtz.de/gate/techinfo/biogas/app>

- ldev/operation/utilizat.html. diakses 10 Mei 2010
- _____. 2003. Laporan Tahunan Dinas Peternakan Provinsi Jawa Barat, Dinas Peternakan Provinsi Jawa Barat.
- _____. 2003. *Perlu 500 ha, Terkendala Harga. Siswono Tertarik Buka Peternakan di Kaltim.* KaltimPos: Jumat, 26 September 2003, <http://www.kaltimpost.web.id/berita/> diakses 10 Mei 2010
- Gunnerson, C.G. and Stuckey, D.C. 1986. *Anaerobic Digestion: Principles and Practices for Biogas System*, Washington D.C.(USA): The World Bank.
- Jan Lam. 2005. Evaluation Study for Biogas Plant Designs, *Final Report of SNV* (Netherlands Development Organization), Cambodia.
- Marchaim, U. 1992. *Biogas Processes for Sustainable Development.* Food and Agriculture Organization of the United Nations, Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italy.
- Schmidt, A., Treatment of Sludge from Domestic on Site Sanitation Systems Septic Tanks and Latrines, *Conference Proceeding: International Seminar on Biogas Technology for poverty Reduction and Sustainable Development*, Beijing, October 17-20, pp. 199-207, 2005.
- Syamsuddin, T.R., dan Iskandar, H.H., Bahan Bakar Alternatif Asal Ternak, *Sinar Tani*, Edisi 21-27 Desember 2005, No.3129 Tahun XXXVI, 2005.
- Widodo, T.W. dan Nurhasanah, A., Kajian Teknis Teknologi Biogas dan Potensi Pengembangannya di Indonesia, *Prosiding Seminar Nasional Mekanisasi Pertanian*, Bogor, 5 Agustus 2004.
- Widodo, T.W. and Tokumoto, O., Suggestion on Utilization of Feces at Large Scale Cattle Farm and Improvement of Environment, at *Joint Workshop ICAERD-IPB-Japan on Biomass Energy Resource for Sustainable Agricultural Development and Environment Improvement*, Jakarta March 1st, 2005.
- Widodo, T.W., dan Hendriadi, A., Development of Biogas Processing for Small Scale Cattle Farm in Indonesia, *Conference Proceeding: International Seminar on Biogas Technology for poverty Reduction and Sustainable Development*, Beijing, October 17-20, pp. 255-261, 2005.