

ANALISIS PRODUKTIVITAS BIOGAS PADA BIOREAKTOR TIPE *FIXED DOME* SNV MENGGUNAKAN MODEL MATEMATIS *MONOD TYPE KINETIC*

Aminatus Sa'diyah¹⁾, Ridho Hantoro²⁾, Sri Mulato³⁾

Jurusan Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Aminatus12@mhs.ep.its.ac.id

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara berkembang yang berpotensi terhadap perkembangan energi terbarukan, salah satunya adalah bioenergi. Bioenergi yang banyak dikembangkan di Indonesia adalah biogas melalui program Indonesia Domestic Biogas Programme (IDBP) terutama di Jawa Timur. Teknologi bioreaktor yang dikembangkan oleh IDBP melalui BIRU dan SNV adalah tipe *fixed dome*. Analisis mengenai produktivitas biogas pada bioreaktor dilakukan di wilayah Peternakan Sapi Perah Setia Kawan Nongkojajar Pasuruan yang bekerja sama dengan BIRU. Metode yang digunakan berupa pengambilan data sampling setiap 7 hari sekali selama dua bulan untuk mengetahui HRT [hr], volume gas yang dihasilkan [m³], efektifitas, serta kandungan biogas yaitu CH₄ [%], CO₂ [%]. Data tersebut digunakan untuk mengetahui produktivitas dan efektifitas bioreaktor dan simulasi model matematis *monod type kinetic* untuk mengetahui laju pertumbuhan mikroba dan jumlah mikroba menggunakan iDynoMiCS v.1.2. Sehingga diketahui keadaan optimum bioreaktor tercapai jika nilai TS 16,9 kg/m³, HRT pada hari ke 15, temperatur bioreaktor 23 oC, volume biogas 3,6 m³, masing-masing 67,6% CH₄ dan 29,4% CO₂ dengan efektifitas bioreaktor 0,8.

Kata kunci : produktivitas biogas, HRT, *monod type kinetic*, laju pertumbuhan mikroba

ABSTRACT

Indonesia is a developing country endowed by various potential renewable energy resources. Among them is biogas which basically can be produced from the decomposition of biomass by the biochemical processes. Since a long time ago, biogas production has been widely studied in many places in Java that is the most densely populated island in Indonesia and consumes almost 67% of the national energy supply. However, biogas technology has not been applied in practices due to many reasons. A recent project has therefore been re-conducted by a new approach which involves biogas producer and user participation. This study was carried out under supervision of government and founded by IDBP (Indonesia Domestic Biogas Programme) for developing sustainable rural renewable energy supply. Many in-ground type of *fixed dome* biogas reactors have been built in the dairy production field owned by the Cooperative (KPSP) Setia Kawan Nongkojajar, Pasuruan East Java. An individual household of cooperative member was provided by a reactor of 8 m³ of substrate. Every reactor was built by financial sharing mechanism between a farmer and a financial body. The main objective of the study was to determine the effectiveness of the bioreactor in biogas production using mathematical model of *Monod-type Kinetics*. A batch feeding mechanism was applied using a feedstock composed proportionally from cow dung and water. The reactor was optimized in order to produce sufficient biogas production in terms of its quality [methane purity] and quantity [daily volume] to meet the energy requirement in the surrounding rural area. The result shows that the optimum productivity of biogas reached if the value of TS 16,9 kg/m³, HRT in 15 day, bioreactor temperature 23 °C, volume of biogas 3,6 m³, 67,6% CH₄ and 29,4% CO₂ with 0,8 of bioreactor effectivity.

Keywords : biogas productivity, HRT, *monod type kinetic*, bioreactor effectivity, microbial growth

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara berkembang yang kaya dengan sumber energi terbarukan, salah satunya adalah biogas [6]. Biogas termasuk sumber energi hasil dekomposisi biomassa secara biokimiawi oleh mikroorganisme dalam reaktor anaerobik [2].

Teknologi biogas telah banyak diteliti dan dikaji sejak lama, namun aplikasinya sebagai sumber energi alternatif belum dilakukan dalam skala praktek secara luas. Beberapa kendala penyebabnya adalah biaya konstruksi reaktor biogas yang mahal, desain yang tidak tepat guna bagi pengguna dan minimnya tenaga supervisi [pendamping] di lapangan paska pembangunan [20]. Untuk itu, Indonesia menempuh

pendekatan baru dalam mengembangkan dan mensosialisasikan teknologi biogas di pedesaan, melalui program IDBP (*Indonesia Domestic Biogas Programme*).

Biogas memiliki peran yang penting dalam perkembangan ekonomi masyarakat skala rumah tangga sebagai salah satu sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan [6,9,20].

Biogas berasal dari hasil fermentasi anaerobik pada substrat berupa kotoran hewan (sapi) oleh mikroba dalam ruane bioreaktor. Proses pembentukan

¹ adalah mahasiswa Prodi S2 Teknik Fisika FTI ITS.
^{2,3} adalah Dosen Jurusan Teknik Fisika FTI ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, 60111

Komponen utama biogas adalah gas metana (CH₄) [12].

Methanogenesis merupakan fase akhir dari pembentukan biogas. Reaksi pada tahap ini melibatkan mikroba methanogen yang sensitif terhadap oksigen. Bakteri methanogen dalam proses methanogenesis terdiri dari tiga jenis yaitu hidrogenotrofik, metilotrofik dan asetotrofik [17]. Dalam reaksi pembentukan metan, sekitar 70% metan dihasilkan oleh mikroba asetotrofik, sedangkan sisanya sebanyak 30% diproduksi oleh mikroba hidrogenotrofik [12]. Kadar gas metan yang dihasilkan oleh bioreaktor dipengaruhi oleh pertumbuhan mikroba sebagai agen produksi biogas. Pada negara tropis, HRT bervariasi antara 30-50 hari tergantung pada kondisi cuaca [16].

Secara umum, kandungan biogas yang dihasilkan oleh bioreaktor pada daerah tropis sesuai dengan data SNV terdiri dari 60-70% metan dan 30-40% karbondioksida [4]. Sedangkan berdasarkan laporan IDBP, kadar biogas skala rumah tangga yang telah diinstal di berbagai wilayah Indonesia terdiri dari 60-70% metan dan 30-40% karbondioksida [3].

Rancangan reaktor yang dipasang pada proyek ini adalah jenis kubah tetap (*fixed dome*) yang terpendam dalam tanah [8]. Volume reaktor mendekati 8 m³ yang terisi oleh substrat berupa campuran air dan kotoran sapi yang dihasilkan dari peternakan. Produksi gas yang bersifat fluktuatif serta kurangnya teknisi pendamping menjadi permasalahan yang perlu ditindaklanjuti. Melalui penelitian ini, akan dilakukan analisis produktivitas biogas berikut efektifitas reaktor dengan metode eksperimen dan simulasi untuk mengetahui perkembangan mikroba aktif penghasil metan yang sangat berpengaruh pada produksi biogas. Sehingga satu unit reaktor diharapkan mampu menghasilkan biogas (3,1 m³) yang bisa dipakai sebagai sumber energi (memasak dan penerangan) bagi satu keluarga peternak selama satu hari atau sekitar 1,6 m³ [3].

II. METODA

Penelitian dilakukan di Kawasan Koperasi Peternakan Sapi Perah (KPSP) Setia Kawan merupakan sebuah lembaga yang berperan sebagai mitra usaha bagi masyarakat Nongkojajar di bidang peternakan khususnya sapi perah. Kawasan ini

terletak di Kecamatan Tukur Nongkojajar, daerah lereng barat pegunungan Tengger yang memiliki ketinggian antara 400-2000 m diatas permukaan laut dengan luas wilayah 94 km, curah hujan 3.650 mm/tahun, dan suhu berkisar antara 16-25°C. Sedangkan mata pencaharian penduduk sebagian besar adalah petani dan peternak sekitar 95%, selebihnya adalah pedagang dan pegawai [3].



Gambar 1. (a). Peta Wilayah Kecamatan Tukur Nongkojajar, Pasuruan, (b). Desain Bioreaktor IDBP

Penelitian yang dilakukan meliputi penentuan efektifitas bioreaktor dalam menghasilkan biogas dengan bahan baku kotoran sapi menggunakan model matematis *monod type kinetic* berdasarkan data lapangan per satuan waktu tertentu [11,20] analisis jumlah mikroba dan laju pertumbuhan mikroba terhadap waktu yang berpengaruh pada jumlah dan kualitas biogas yang dihasilkan [9,10].

$$V_s = \frac{B_o \times S_o}{HRT} \cdot \left[1 - \frac{K}{(HRT \times \mu_m - 1 + K)} \right] \quad (1)$$

Dengan

V _s	Specific yield (kapasitas volumetrik produksi gas metana, m ³ /hari/m ³ reaktor)
B _o	Kapasitas produksi gas metana tertinggi, dalam m ³ gas metana/kg Volatile solid (VS) yang ditambahkan
S _o	Konsentrasi volatile solid (VS) didalam input material, kg/m ³
HRT	Hydraulic Retention Time, hari
K	Koefisien kinetik, []
μ _m	Laju pertumbuhan spesifik maksimum dari mikroorganisme, /hari

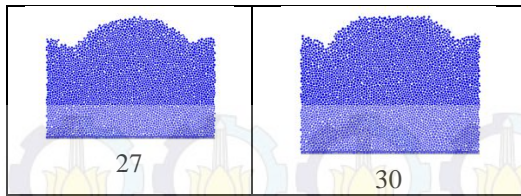
Untuk menentukan nilai efektifitas bioreaktor digunakan persamaan [9,11]

$$Eff(t) = \frac{1}{V_{reaktor}} \int_{V_{reaktor}} \frac{P_{CH_4}(t)}{P_{max}(t)} dx \quad (2)$$

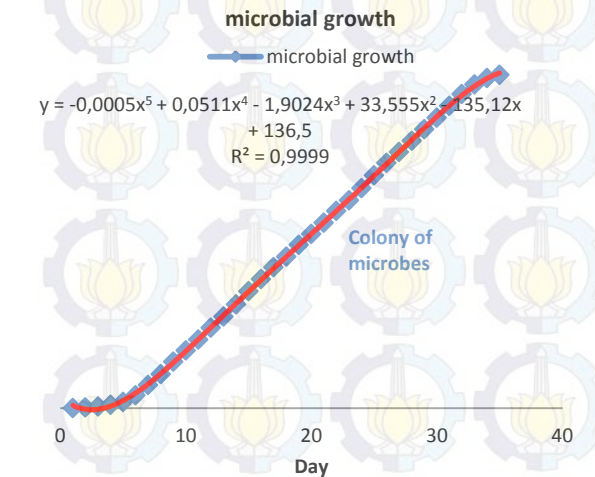
Dengan

Eff (t)	Efektifitas reaktor
V _{reaktor}	Volume reaktor, m ³
P _{CH₄}	Produksi metan, m ³
P _{max}	Produksi metan maksimum, m ³

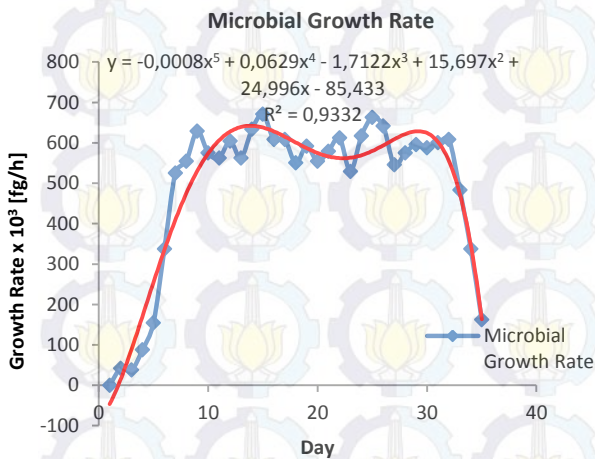
Pengambilan data dilakukan secara sampling selama 60 hari dengan data primer berupa kadar total solid (kg), volume gas yang dihasilkan (m³) dan suhu



Setiap unit dalam gambar (Tabel 2) mewakili jumlah (koloni) mikroba sebanyak 1×10^5 spesies. Dan setiap satu species memiliki massa 1 fg (femtogram), atau sama dengan 1×10^{-15} gr. Unit berwarna biru merupakan koloni mikroba aktif yang mampu mendegradasi substrat dan mengubahnya menjadi gas metan.



(a)

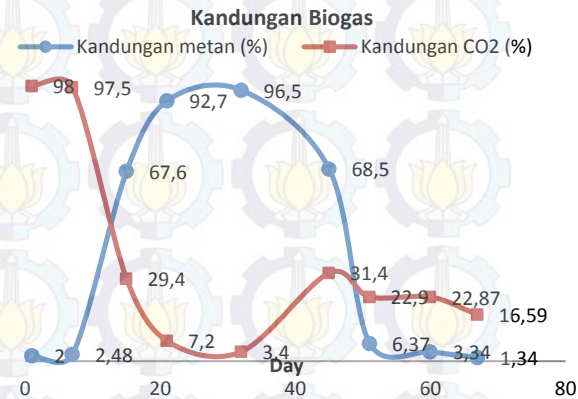


(b)

Gambar 4. (a). Jumlah Koloni Mikroba dalam Ruang Reaktor, (b) Laju Pertumbuhan Mikroba

Pertumbuhan mikroba aktif penghasil metan pada Gambar 4.(a). mengikuti persamaan polinomial (pangkat 5), hal ini sesuai dengan pernyataan Angelidaki mengenai pertumbuhan bakteri methanogen [1]. Selang waktu hari ke-10 sampai 32 pertumbuhan mikroba cenderung fluktuatif (gambar 4b) dan mencapai titik maksimum pada kecepatan

670,8 fg/h pada hari ke 32, hal ini terjadi karena mikroba dalam reaktor juga mengalami perkembangan yang sangat pesat akibat dari cukupnya makanan berupa substrat dalam reaktor yang telah siap digradasi menjadi metan, sehingga produksi biogas-pun meningkat dengan rata-rata $2,6 \text{ m}^3$ per hari.



Gambar 5. Kandungan Biogas (Metan dan Karbondioksida dalam Bioreaktor)

Pada hari ke-32 (sesuai Gambar 5) jumlah methan berada pada titik tertinggi yaitu 96,5% atau setara dengan 965.000 ppm (standard pengukuran dengan GC) dengan kadar karbon dioksida berada pada titik terendah 3,4 % atau sekitar 34.000 ppm.



IV. KESIMPULAN

Produktivitas bioreaktor SNV yang terinstal di kawasan Koperasi Peternakan Sapi Perah (KPSP) Setia Kawan Nongkojajar adalah tipe fixed dome dengan nilai optimum sebagai berikut ; suhu optimum dalam bioreaktor sebesar $23 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan total solid sebesar $16,9 \text{ kg/m}^3$ volume reaktor, produksi maksimum biogas adalah $3,6 \text{ m}^3$ dengan tingkat efektifitas bioreaktor sebesar 0,8. Sedangkan kadar metan dalam biogas mencapai nilai optimum pada hari ke-5 [diukur setelah HRT tercapai pada hari ke-15] sebesar 67,6% CH_4 , 29,4% CO_2 . Keadaan optimum harus dipenuhi agar produktifitas dan efektifitas bioreaktor tetap baik dan mampu menghasilkan biogas dalam jumlah yang sesuai dengan kebutuhan masyarakat per harinya yaitu $1,6 \text{ m}^3$. Sedangkan suhu luar [lingkungan] tidak mempengaruhi suhu didalam bioreaktor, karena

model fixed dome bersifat stabil dan didesain untuk dapat diimplementasikan pada daerah dengan kondisi geografis [tropis dan sub-tropis] yang memiliki suhu sesuai karakter mikroba jenis mesofilik.

Faktor penghambat produksi biogas seperti berkurangnya total solid dan adanya endapan dalam bioreaktor menyebabkan volume biogas semakin menurun. Faktor penghambat ini dapat dikurangi dengan jalan membersihkan bioreaktor untuk menghilangkan endapan substrat anorganik di dasar bioreaktor [bisa dilakukan setahun sekali], atau mengaduk substrat dalam bioreaktor setiap waktu tertentu [seminggu sekali].

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Angelidaki, Rena. 2008. *Know The Bacteria in Your Biogas Reactor*. Bioenergy Research No. 25. Department of Environmental Engineering, DTU. Denmark.
- [2] Bond, Tom. 2012. *History and future of Domestic Biogas Plants in Developing World, Energy for Sustainable Development* 2011 ; 15 : 347-354.
- [3] BIRU (Biogas Rumah), 2010. *Pedoman Pengguna Biogas*. Jakarta : Tim Biogas Rumah.
- [4] Ghimire, Prakash. 2012. *SNV Supported Domestic Biogas Programmes in Asia and Africa, Renewable Energy* 2013 ; 49 : 90-94.
- [5] Gholamifard, S. 2008. *Modeling anaerobic bioreactor landfills in methanogenic phase: Long term and short term behaviors*. Water research 42, 2008 : 5061–5071.
- [6] Hasan, 2012. A Review on Energy Scenario and Sustainable Energy in Indonesia, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2012 ; 6 : 2316-2328. Hu, 2013. Hu, D. *Mathematical modeling, design and optimization of conceptual configuration of soil-like substrate bioreactor based on system dynamics and digital simulation*. Ecological Engineering 51, 2013 : 45– 58
- [7] Karellas, 2010. *Development of an investment decision tool for biogas production from agricultural waste*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 14, 2010 : 1273–1282
- [8] Karki, Amrit. 2005. *Biogas As Renewable Source of Energy in Nepal Theory and Development*. BSP Nepal. Kathmandu. ISBN : 99946-34-76-3.
- [9] Krishania, M. 2013. *Analysis of different techniques used for improvement of biomethanation process : A review*. Fuel 106, 2013 : 1–9
- [10] Lardon LA, (2011). *iDynoMiCS: next-generation individual-based modelling of biofilms*. Environmental Microbiology 13: 2416-2434.
- [11] Muha, I. 2012. *Mathematical modeling of process liquid flow and acetoclastic methanogenesis under mesophilic conditions in a two-phase biogas reactor*. Bioresource Technology 106, 2012 : 1–9.
- [12] Mulato, S. 2013. *Biogas*. Lecture handout : Technology of Renewable Energy. Institute of Sepuluh Nopember Surabaya, Surabaya.
- [13] Natsir, A. 2009. *Capacity Development and Strengthening for Energy Formulation and Implementation of Sustainable Projects in Indonesia*. CASINDO , No. 27.
- [14] Purwandari, FA. 2013. *Pretreatment of oil palm empty fruit bunch (OPEFB) by N-methylmorpholine- N -oxide (NMMO) for biogas production: Structural changes and digestion improvement*. Bioresource Technology 128, 2013 : 461–466
- [15] Riliandi, DF. 2010. *Studi Pemanfaatan Kotoran Sapi Untuk Genset Listrik Biogas, Penerangan Dan Memasak Menuju Desa Nongkojajar (Kecamatan Tutur) Mandiri Energi*. ITS Surabaya.
- [16] Singh, H. 1995. Maheshwari RC. *Indian advances in biogas technology – review of work done under aicrp on res*. Biogas, Forum 1995 ; 60 (I) :4–16.
- [17] Strevett, Keith A. 1995. *Chemo-autotrophic biogas purification for methane enrichment: mechanism and kinetics*. The Chemical Engineering Journal, 1995 ; 58 : 71-79
- [18] Urmila, B. 2008. *Biogas Production in Climates with Long Cold Winter*. Wageningen University, the Netherland.
- [19] Weiland, 2010. *Biogas From Energy Crop Digestion*. IEA Bioenergy. Impressum
- [20] Widodo, T.W. *Design and Development of Biogas Reactor for Farmer Group Scale, Indonesian Journal of Agriculture* 2009 ; (2) 2 : 121-128.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih penulis sampaikan kepada pengurus Koperasi Peternakan Sapi Perah (KPSP) Setia Kawan Nongkojajar Pasuruan serta masyarakat pengguna biogas yang telah memberikan kepercayaan dan fasilitas selama penelitian. Teknisi bioreaktor BIRU, Hivos, dan SNV atas bantuan dan dukungan selama proses pengambilan data dan analisis. Dr. Kreft dan Dr. Lardon dalam proses penyelesaian simulasi menggunakan iDynoMiCS. Serta LPDP yang mendanai penelitian ini dan semua pihak yang membantu proses penelitian. Harapan penulis, semoga hasil dari penelitian dapat bermanfaat bagi pengguna biogas khususnya didaerah Nongkojajar dan masyarakat pada umumnya.