

BIOGAS DARI RUMPUT

Nadiem Anwar*

Biogas adalah hasil perombakan bahan organik oleh berbagai jenis mikroorganisme pada kondisi anaerobik. Biogas dapat dihasilkan dari berbagai bahan baku, salah satunya adalah rumput yang sangat mudah tumbuh di lingkungan yang sangat bervariasi. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pembuatan biogas dari rumput dalam dijester alir kontinyu menyerupai PFR dengan volume cairan 25 L. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rumput dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan biogas. Waktu aklimatisasi untuk pembuatan biogas dari rumput, kurang dari 74 hari dengan waktu tinggal hidrolis 100 hari. Komposisi biogas yang dihasilkan telah memenuhi komposisi minimal gas metana untuk dapat dibakar, yaitu: 40,7 % V 54,8 % V. Untuk waktu tinggal hidrolis 100 hari dengan umpan 160 g rumput per liter umpan, diperoleh 3 L biogas per hari per 25 L volume cairan dengan tekanan gas 1 atm.

Kata kunci: anaerobik, biogas, dijester, rumput

Pendahuluan

Penurunan persediaan bahan bakar minyak serta harganya yang cukup tinggi memaksa kita untuk mencari alternatif sumber bahan bakar yang lain. Salah satu bahan bakar yang potensial adalah biogas karena dapat diperbaharui serta ramah lingkungan. Komponen utama biogas adalah metana 50-60 % V dengan kandungan energi sekitar 6,1 kalori/L (600 Btu per ft³), lebih rendah dari metana murni dengan kandungan energi 995 Btu/ft³ dan gas alam 1.000 Btu/ft³ (Mattocks, 1984). Meskipun demikian, biogas dapat menjadi sumber bahan bakar yang penting karena dapat dihasilkan pada kondisi yang terkendali dan bahan bakunya dapat diperbaharui.

Biogas adalah hasil perombakan bahan organik oleh mikroorganisme pada kondisi tanpa udara (anaerob) yang dihasilkan secara alamiah dari perombakan sisa tanaman di tempat-tempat yang kondisinya mirip sawah, kolam atau rawa. Biogas dapat dihasilkan dari limbah organik seperti sisa-sisa tanaman, biji-bijian dan limbah hewan maupun manusia.

Masyarakat Cina kuno telah memanfaatkan biogas yang berasal dari campuran sisa-sisa sayuran dengan kotoran ternak yang dibiarkan dalam sebuah ruangan tertutup. Masyarakat di Inggris dan Bombay mengumpulkan limbah organik dalam wadah tertutup dan menggunakan gas yang dihasilkannya untuk memasak dan penerangan. Instalasi biogas telah dibangun di Jerman, Amerika, Australia, Aljazair, Perancis dan negara-negara lain

sebagai tambahan pasokan energi karena krisis energi selama perang dunia kedua. Para peternak sapi perah di beberapa tempat di Jawa Barat, telah memulai memanfaatkan rabuk sapi sebagai bahan baku biogas.

Proses perombakan anaerobik, menghasilkan dua produk yaitu biogas dan kompos berbentuk lumpur yang merupakan pupuk berkualitas tinggi. Nitrogen dalam bahan organik yang dirombak menjadi amonium pada proses anaerobik, lebih stabil dan terikat dalam tanah sehingga mudah diabsorpsi oleh tanaman.

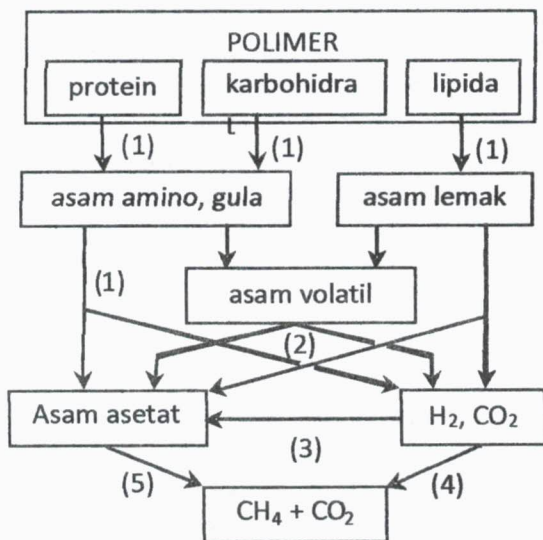
Biogas juga dapat dibuat dari limbah pertanian yang bersumber di pedesaan, sehingga masyarakat pedesaan dapat mengatasi sendiri kelangkaan bahan bakar minyak. Indonesia sebagai negara yang memiliki lahan pertanian yang sangat luas memiliki potensi yang sangat besar untuk mengembangkan biogas.

Perombakan Bahan Organik Secara Anaerobik

Pembuatan biogas adalah proses perombakan bahan organik kompleks oleh bakteri-bakteri anaerobik. Biogas biasanya terdiri dari 50-60 % metana dan 40-50 % CO₂, uap air, sedikit nitrogen, sulphur serta senyawa lainnya. Metana dalam biogas dari limbah cair industri tahu dapat mencapai 73-83 % (Anwar, 2005).

Kelompok bakteri yang berperan dalam perombakan bahan organik secara anaerobik:

- (1) Bakteri fermentai (hidrolitik, non-hidrolitik)
- (2) Bakteri asetogenik
- (3) Bakteri asetogenik perombak hidrogen
- (4) Bakteri pereduksi CO₂
- (5) Bakteri asetoklastik metanogen



Gambar 1. Skema proses perombakan anaerobik

Faktor yang berpengaruh terhadap unjuk kerja Dijester

Bakteri pembentuk metana sulit beradaptasi terhadap perubahan lingkungan. Bakteri tersebut sensitif terhadap perubahan makanan (substrat), kehadiran bahan beracun, tekanan gas, suhu, waktu tinggal, keseimbangan asam basa, konsentrasi padatan, pengadukan, pengolahan awal, rasio karbon-nitrogen dan cuaca (Mattocks-1984, McCarty, 4-1964)

Konsentrasi Substrat

Perombakan bahan organik oleh mikroorganisma mencakup difusi substrat ke permukaan sel kemudian menerobos dinding sel dan reaksi biokimiawi dalam sel. Gradien konsentrasi substrat merupakan gaya penggerak pada proses perpindahan massa dan sebagai pembatas pada reaksi biokimiawi.

Cairan dalam dijester biasanya mengandung 515 % total padatan. Limbah yang akan dirombak biasanya dicampur, 1 bagian limbah padat dengan 2,5 bagian air. Tanaman yang layu atau agak kering memerlukan penambahan air lebih besar. Potongan tanaman yang masih muda memerlukan

memerlukan air lebih sedikit dibandingkan dengan tanaman yang lebih tua. Prosentase air dalam sayuran dan limbah tanaman bervariasi dari 40 sampai 95 %.

Suhu Operasi

Proses anaerobik melibatkan berbagai jenis bakteri. Sebuah dijester dapat dioperasikan dalam tiga rentang suhu, yaitu: suhu rendah (psikropilik) lebih rendah dari 30 °C, suhu sedang (mesophilik), 30-38 °C dan suhu tinggi (termophilik) 50-70 °C (Mattock, 1984). Pembentukan biogas lebih cepat pada suhu lebih tinggi. Stabilisasi suhu sangat penting, variasi plus-minus 1 °C setiap hari dapat mengakibatkan mikroorganisme pembentuk metana tidak aktif. Jika asam tidak terombak, pH akan turun dan menurunkan aktivitas seluruh sistem (Grady and Lim, 1980, Mattocks 1984). Salah satu cara yang dapat ditempuh untuk mengatasi rendahnya suhu adalah dengan menyiram umpan dengan air yang dipanaskan menggunakan sinar matahari (Mattocks, 1984).

Keseimbangan Asam-Basa

Bakteri penghasil metana hidup bersama saling menguntungkan dengan bakteri lain yang mengkonsumsi umpan, menghasilkan asam-asam sederhana. Jika asam yang dihasilkan lebih banyak dari yang dapat dirombak oleh bakteri pembentuk metana, maka pH turun dan mengakibatkan penurunan aktivitas mikroorganisme pembentuk metana. Produksi metana terhambat total pada pH di bawah 6,2 (McCarty, 2-1964, Grady dan Lim, 1980). Oleh karena itu populasi bakteri pembentuk asam harus seimbang dengan populasi bakteri pembentuk metana. Keseimbangan ini biasanya dicapai dalam waktu 2540 hari (Mattocks, 1984), ditandai dengan pH dalam dijester yang stabil sekitar 7 (McCarty, 4-1964). Penurunan pH dapat diatasi dengan menambahkan kapur atau senyawa *buffer* lain ke dalam dijester (Mattocks, 1984).

Kehadiran Bahan Beracun

Bahan-bahan tertentu yang terdapat dalam limbah, pada konsentrasi tertentu dapat memperbesar aktivitas bakteri, tetapi pada konsentrasi lebih tinggi dapat menghambat aktivitas bakteri anaerobik. Aktivitas bakteri anaerobik diperbesar dengan kehadiran kation-

kation logam ringan 100200 ppm kation Na, 200400 ppm K, 100200 ppm Ca dan 75150 ppm Mg, yang jika diperbesar lagi berubah menjadi inhibitor. Bakteri pembentuk metana terhambat oleh asam-asam volatil dan amonium metanol di atas 1.000 ppm, amoniak 150 ppm dan, sulfida 100 ppm, Fe^{2+} 110 ppm, Zn^{2+} , Cd^{2+} , Cu^+ Cu^{2+} pada konsentrasi di bawah 10^{-4} ppm (McCarty, 3-1964, Grady dan Lim, 1980). Beberapa macam obat-obatan (antibiotik yang digunakan di peternakan), makanan tambahan, pestisida dan herbisida dapat memberikan pengaruh negatif terhadap mikroba, khususnya bakteri metanogenesis (Mattocks, 1984).

Pengolahan Awal Umpan

Bahan baku seringkali memerlukan pengolahan awal untuk meningkatkan perolehan metana. Pengolahan menggunakan alkali ataupun asam dapat memecahkan rantai organik kompleks menjadi molekul lebih sederhana sehingga perombakannya lebih mudah. Substrat-substrat yang tidak mengandung asam volatil siap rombak, seperti serbuk gergaji ataupun kulit padi, perlu dilakukan pengolahan awal terlebih dahulu.

Limbah-limbah yang banyak mengandung serat memerlukan penanganan khusus. Limbah dengan serat-serat panjang seperti jerami harus dipotong-potong terlebih dahulu atau ditumbuk. Semua jenis limbah akan dirombak lebih cepat jika telah dipotong dan dipecah sampai ukuran yang kecil. Efisiensi perombakan dapat ditingkatkan menggunakan sedikit sekali nikel, kobalt dan besi.

Pengadukan

Pengadukan diperlukan untuk mengatasi gradien konsentrasi atau memindahkan mikroba dari substrat yang telah dirombak ke substrat yang belum dirombak, karena perombakan anaerobik dikontrol oleh difusi massa ke permukaan sel. Pengadukan juga membantu meminimalkan pengumpulan padatan di bagian atas cairan. Kegagalan untuk memecahkan tumpukan serat atau buih dapat mengakibatkan terbawanya substrat oleh aliran gas sehingga menyumbat aliran gas.

Rasio Karbon-Nitrogen

Jika rasio karbon terhadap nitrogen terlalu rendah ataupun terlalu tinggi atau berfluktuasi, laju perombakan dapat menurun atau bahkan berhenti.

Perbandingan karbon terhadap nitrogen yang baik adalah 2030 bagian karbon dan 1 bagian nitrogen (Mattocks, 1984), dengan bagian karbon siap dirombak cukup besar dan yang lebih penting adalah menjaga kuantitas dan karakteristik umpan yang tetap.

Beberapa rantai karbon ada yang sangat sulit dipecah, misalnya lignin. Kandungan lignin meningkat dengan bertambahnya umur tanaman. Rumput yang tua mengandung lebih banyak lignin. Jadi setiap substrat yang berasal dari tanaman tua, mungkin kurang baik sebagai bahan baku biogas, karena banyak mengandung lignin yang sulit dicerna.

Faktor yang Mempengaruhi Ukuran Dijester

Perancangan dijester bergantung kepada jenis dan ketersediaan limbah. Dijester yang besar dirancang setelah diyakini melalui serangkaian pengujian kondisi operasi dan melalui analisis. Dijester kecil biasanya dirancang hanya berdasarkan pengalaman. Keuntungan dijester kecil dibandingkan dengan yang besar adalah hampir tidak diperlukan pengadukan untuk meminimalkan *scum*, sehingga laju produksi biogas persatuan volume dijester bisa lebih besar. Kelemahan dijester kecil adalah sangat dipengaruhi oleh fluktuasi suhu lingkungan.

Jenis dan Ketersediaan Bahan Baku

Jumlah rabuk yang dihasilkan hewan ternak tiap hari berfluktuasi. Misalnya dipeternakan ayam potong setiap hari dapat dihasilkan rabuk 610 kg per 1000 kg ayam, 4 kg rabuk per 100 kg berat kambing, 80 kg rabuk per 1000 kg berat sapi perah, 60 kg rabuk per 1000 kg sapi pedaging, 10 kg rabuk per 200 kg berat babi, 45 kg rabuk per 1000 kg berat kuda, 0,2 kg rabuk per 4 kg berat ayam. Rabuk dari dua ekor anak sapi biasanya menghasilkan gas yang cukup untuk memasak bagi keluarga beranggota empat orang dan rabuk hewan lainnya tidak jauh berbeda (Mattocks, 1984).

Jika kita akan menggunakan limbah pertanian sebagai bahan baku biogas, kita perlu mengetahui jumlah maksimum yang tersedia. Bunga bakung dapat tersedia sepanjang tahun sedangkan jerami hanya tersedia pada musim panen.

Laju Pembebanan Organik

Laju pembebanan organik adalah banyaknya bahan organik dapat dirombak yang diumpangkan tiap hari per satuan volume digester. Padatan tetap dan sebagian padatan volatil merupakan bahan tidak terombak. Pada laju pembebanan yang tinggi, pengumpulan dilakukan mendekati kontinyu atau tiap satu jam, sedangkan pada laju pembebanan rendah, umpan dapat dimasukkan satu kali per hari.

Laju pembebanan bergantung kepada jenis limbah yang akan diumpangkan ke digester. Digester biasanya dirancang dengan laju pembebanan 3 kg padatan tiap m³ volume digester (Mattocks, 1984). Perlu diperhatikan bahwa digester harus dirancang berdasarkan jumlah limbah yang dapat dikumpulkan dan diumpangkan ke digester, bukan berdasarkan jumlah limbah yang diproduksi.

Waktu Tinggal Hidrolik

Waktu tinggal hidrolik (hydraulic Retention time, HRT) adalah waktu rata-rata padatan tinggal di dalam digester atau volume bahan yang selalu ada dalam digester dibagi dengan rata-rata jumlah umpan perhari. HRT dapat bervariasi dari 10 sampai 60 hari (Mattocks, 1984) dan merupakan parameter penting karena berpengaruh terhadap efisiensi digester.

Digester yang terkendali memerlukan waktu tinggal padatan 20-25 hari. Waktu tinggal yang lebih singkat lagi beresiko mengakibatkan *wash out*, yaitu kondisi saat bakteri pembentuk biogas yang terbawa aliran keluar lebih besar dari yang dihasilkan dalam digester sehingga mengakibatkan populasi bakteri berkurang terus sampai habis.

Jenis Digester

Digester dapat dioperasikan secara *batch* maupun kontinyu. Digester kontinyu dikelompokkan menjadi empat, yaitu tipe India, Cina, Pengolah Limbah Kota dan Gabungan (Gambar 2). Digester jenis India atau Khadi (Gambar 2a) didasarkan pada prinsip bahwa gas yang dihasilkan akan naik ke kubah yang ada di bagian atas digester. Substrat diumpangkan di salah satu sisi dan aliran keluar di sisi lain. Gas yang dihasilkan dan terkumpul di bagian bawah kubah akan menekan kubah ke atas dan kubah akan turun jika gas dialirkan keluar. Ruang penampung gas pada digester jenis Cina berupa kubah tetap (Gambar 2b). Substrat diumpangkan pada salah satu sisi dan aliran keluar

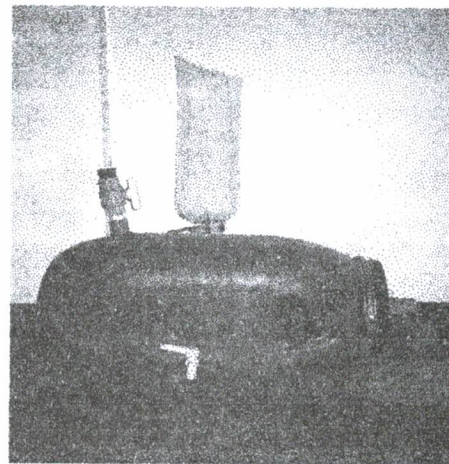
pada sisi lain. Gas yang dihasilkan terkumpul di bawah kubah dan di atas isi tangki. Kenaikan volume gas akan mendesak isi digester mengalir keluar.

Digester jenis pengolah limbah kota memiliki prinsip dasar yang sama dengan jenis India maupun Cina, tapi lebih kompleks dan lebih efisien. Isi digester diaduk menggunakan pedal atau oleh sirkulasi gas. Suhu digester dikendalikan dengan ketat dan keluaran digester dipisahkan terlebih dahulu. Digester jenis pengolah limbah kota secara prinsip dapat dibuat dengan skala lebih kecil dengan teknologi yang lebih sederhana.

Digester jenis gabungan (Gambar 2c) pada prinsipnya sama dengan yang lain tetapi bahan konstruksinya mudah didapat atau menggunakan bahan-bahan bekas, kantong plastik atau drum 200 liter. Pembuatan digester gabungan tidak hanya mempertimbangkan keekonomisan konstruksi, tapi harus juga memikirkan efisiensi dan produktivitas.

Pelaksanaan Penelitian

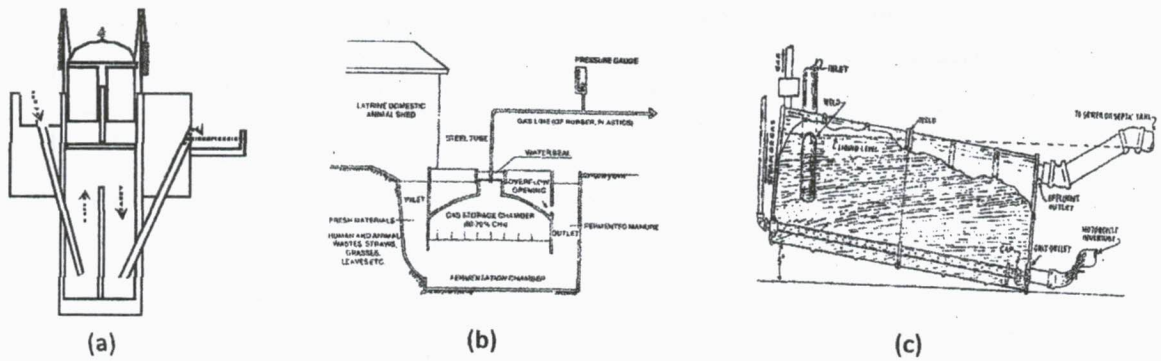
Digester yang digunakan terbuat dari drum plastik 50 L seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3. Drum plastik dipilih karena materialnya dianggap tidak larut sehingga kemungkinan muncul bahan beracun sangat kecil. Drum plastik juga tidak terkorosi oleh biogas yang dihasilkan.



Keterangan gambar:

1. tangki digester
2. tempat pemasukan umpan
3. penampung gas
4. tempat pengeluaran

Gambar 3. Digester yang digunakan



Gambar 2. Contoh jenis dijester, (a) jenis India, (b) jenis China, (c) jenis gabungan

Rumen sapi dicampur dengan rumput 1 : 1, kemudian campuran tersebut dicampur dengan air (1 bagian padatan 2 bagian air) dengan volume total kurang lebih 25 L (50 % volume total). Dijester dibiarkan selama satu minggu untuk mengaktifkan mikroorganisme di dalamnya. pH campuran dalam dijester dipantau setiap hari, jika pH turun ditambahkan air kapur kurang lebih 25 mL.

Rumput yang diumpangkan diperoleh dari halaman sekitar UNJANI. Rumput dipotong kurang lebih 1 cm kemudian ditumbuk untuk memecahkan lignin, karena lignin merupakan bagian yang sulit dicerna oleh mikroorganisme. Rumput yang telah ditumbuk ditimbang sebanyak 80 g kemudian dicampur dengan air sampai volume 500 mL sehingga menghasilkan perbandingan padatan terhadap air 1: 4.

Aklimatisasi dilakukan selama 70 hari dipilih lebih besar dari yang dinyatakan oleh Mattokcs (1984) agar aklimatisasi betul-betul telah tercapai. Selama aklimatisasi umpan dimasukkan satu kali tiap 2 hari sebanyak 500 mL umpan sehingga menghasilkan waktu tinggal hidrolis 100 hari. Pemberian umpan dilakukan tiap 2 hari untuk meminimalkan perubahan kondisi dalam dijester. Jika $pH < 7$, setiap hari ditambahkan air kapur ke dalam umpan sampai $pH = 7$. pH diukur menggunakan kertas pH universal.

Setelah 70 hari dengan pH yang relatif konstan, gas yang dihasilkan mulai diukur laju produksinya dengan cara mengganti penampung gas setiap volume penampung tampak penuh (6 L). Komposisi biogas diukur menggunakan kromatografi gas.

Hasil dan Pembahasan

Hasil percobaan disajikan pada Tabel 1, yaitu berupa hasil pengukuran pH, gas yang dihasilkan

dan komposisi biogas.

Tabel 1 menunjukkan terjadi lonjakan komposisi metana antara hari ke 74 dengan hari ke 78 dari 9,3 % menjadi 43,4 % (penambahan 34,1 %), dan penurunan drastis CO_2 dari 79,5 % menjadi 33,3 % (penurunan 46 %). Hal ini menunjukkan bahwa aktivitas bakteri pereduksi CO_2 (kelompok 4), pembentuk asam asetat (kelompok 3) dan pengurai asam asetat (kelompok 5) telah aktif.

Komposisi biogas tercatat turun cukup besar pada hari ke 86 yaitu dari 46,00 % menjadi 32,91 % kemudian naik lagi sampai 42,50 %. Hal ini dimungkinkan karena adanya udara masuk melalui saluran keluaran pada saat pengeluaran cairan. Kesalahan ini dapat dilihat juga dari sangat tingginya komposisi nitrogen, dengan perbandingan nitrogen terhadap oksigen mendekati 4, yaitu perbandingan nitrogen dan oksigen dalam udara., sehingga rentang komposisi gas dapat dianggap 40,7 54,8%.

Di dalam dijester masih terdapat oksigen dan nitrogen. Nitrogen dan oksigen berasal dari udara awal atau udara yang terbawa oleh aliran umpan, atau pada saat pengeluaran cairan karena dalam reaksi anaerobik tidak dihasilkan oksigen tapi masih mungkin dihasilkan nitrogen. Adanya nitrogen dan oksigen tersebut menurunkan komposisi metana sehingga dapat menyulitkan penggunaan biogas. Hal ini dapat diminimalkan dengan memperbaiki sistem pengumpanan dan sistem pengeluaran cairan.

Kesimpulan

1. Rumput potensial digunakan sebagai bahan baku biogas.
2. Waktu aklimatisasi untuk pembuatan biogas dari rumput, kurang dari 78 hari dengan waktu tinggal hidrolis 100 hari

Tabel 1 Komposisi biogas, pH dan volume gas terhadap waktu

Hari ke	pH	Vol gas (ml/2 hari)	Komposisi biogas (5 V/V)			
			CH ₄	CO ₂	N ₂	O ₂
70	7 - 8	± 6000	4.5	72.0	17.6	5.9
74	7 - 8	± 6000	9.3	79.5	7.6	3.7
78	7 - 8	± 6000	43.4	33.3	16.8	6.4
82	7 - 8	± 6000	46.0	34.9	13.6	5.7
86	7 - 8	± 6000	32.9	12.3	52.7	12.3
90	7 - 8	± 6000	42.5	6.9	41.2	9.4
94	7 - 8	± 6000	54.8	7.8	25.2	12.2
108	8	± 6000	40.7	13.0	30.2	16.2

3. Komposisi biogas dari rumput telah memenuhi komposisi minimal gas metana untuk dapat dibakar, yaitu: 40,7%V 54,8%V.
4. Untuk waktu tinggal hidrolis 100 hari dengan umpan 160 g rumput per liter, diperoleh 3 L biogas per hari per 25 L volume cairan dengan tekanan gas 1 atm.

Saran

1. Masih perlu dipelajari pengaruh beberapa variabel lain terhadap kualitas biogas terutama:
 - a. pengaruh waktu tinggal hidrolis
 - b. perbandingan padatan terhadap air
 - c. jenis rumput umpan
 - d. disain alat
2. Perlu di rancang ulang sistim pemasukan dan pengeluaran untuk menghindari masuknya udara ke dalam dijester.

Pustaka

1. Anwar, N., (2005), *Pengolahan limbah Cair Industri tahu Secara Anaerobik*, Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri, Jurusan Teknik Mesin - Teknik Kimia Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
2. Grady, Jr. C.P.L., Lim, H.C., 1980, *Biological Wastewater Treatment-Theory and Application*, Marcel Dekker Inc., New York, hal. 834 852.
3. Mattocks, R., *Understanding Biogas Generation*, ISBN: 0-86619-204-2, [C]1984, Volunteers in Technical Assistance

4. Mattocks, R., *Understanding Biogas Generation*, ISBN: 0-86619-204-2, [C]1984, Volunteers in Technical Assistance
5. McCarty, P.L., 1964, *Anaerobic Wastewater Treatment Fundamentals, II: Environmental Requirments and Control*, Public Work, October , p123 126.
6. McCarty, P.L., 1964, *Anaerobic Wastewater Treatment Fundamentals, III: Toxic Material and Their Control*, Public Work, November, p91 94.
7. McCarty, P.L., 1964, *Anaerobic Wastewater Treatment Fundamentals, IV: Process DEsign*, Public Work, December, p 107 112.