

PENGARUH BEBAN ORGANIK TERHADAP EFISIENSI ANAEROBIC FIXED BED REACTOR DENGAN SISTEM ALIRAN CATU UP-FLOW

Djoko Padmono

Peneliti di Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi

Abstract

Anaerobic fixed bed reactor is a fermentation anaerobic reactor used microorganism attached growth system, where degradation of organic material done by microorganism that growth in support material as fixed film. This system mostly used for organic wastewater treatment now. The assessment is carried out for the Slaughterhouse wastewater treatment where the support material for microorganism growth is a fabricated media. Plant is a demonstration scale by digester volume of 600 m³. Wastewater is feeding to the digester by up flow system. The wastewater pumped from the bottom of the digester, flow through the support material, contact with the microorganism fixed on the media. Degradation of the organic waste process is take place along wastewater contact with the fixed film. Observation is on the performance of the reactor by the influence of organic loading to the pollution degradation of slaughterhouse wastewater called reactor efficiency. Fixed Bed Reactor performance still reached until 3 days hydraulic retention on organic loading rate about 3.05 kg COD/m³ hr, and efficiency 75 %.

Kata kunci : Kinerja Upflow anaerobic fixed bed digester limbah Rumah Potong Hewan

1. PENDAHULUAN.

Pelaksanaan pengamatan kinerja *Anaerobic Fixed Bed Reactor* dilaksanakan di Rumah Potong Hewan (RPH) Cakung Jakarta Timur, yang dalam kegiatannya menghasilkan limbah cair dalam jumlah besar dengan konsentrasi pencemaran tinggi. Limbah ini bila dibuang langsung ke badan air penerima (BAP) tanpa dilakukan pengolahan terlebih dahulu, maka kandungan bahan pencemarnya akan menyebabkan menurunnya kualitas badan air tersebut, sehingga badan air tidak memenuhi syarat untuk kehidupan akuatik dan akhirnya tidak dapat dipergunakan lagi sesuai peruntukannya. Pengelola RPH Cakung dalam rangka mengantisipasi kemungkinan kerusakan lingkungan perairan telah mengupayakan penerapan sistem pengolah limbah tepat guna.

Anaerobic Fixed Bed Reactor adalah salah satu sistem yang digunakan untuk mengolah limbah cair organik dan teknologi ini diterapkan dalam penanganan limbah cair RPH Cakung. Reaktor ini merupakan sistem pengolah limbah cair secara biologis dan berlangsung dalam suasana tidak

beroksigen (anaerobik), ini berarti bahwa proses penguraian zat karbon oleh bakteri berlangsung tanpa adanya oksigen. Selain itu, didalam reaktor dipilih sistem pertumbuhan mikroorganisme melekat pada media tumbuh dengan harapan distribusi mikroorganisme tersebar merata diseluruh reaktor tanpa bantuan energi.

Pengamatan ini dilakukan untuk mengetahui proses degradasi bahan karbon organik yang berlangsung dalam reaktor dalam hal pengaruh pembebanan organik terhadap kinerja reaktor untuk menentukan nilai optimal kemampuan reaktor. Sistem aliran bahan baku dipilih "Up-flow" yaitu memasukan bahan yang akan diproses dari dasar reaktor, mengalir vertikal melalui media tumbuh mikroorganisme dan keluar secara gravitasional di bagian atas reaktor.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengolahan limbah secara biologis

Pengolahan limbah cair dilaksanakan dengan tujuan utama mendegradasi bahan pencemar, sehingga dengan demikian buangan dari suatu proses produksi memiliki

kualitas yang memenuhi persyaratan tertentu agar dapat diterima oleh badan air penerima sesuai ketentuan yang berlaku. Penerapan teknologi pengolahan limbah cair perlu terus dikembangkan agar kualitas badan air tidak semakin memburuk dan akan mempengaruhi kondisi lingkungan hidup manusia.

Pengolahan limbah cair secara biologis pada dasarnya adalah penggunaan kemampuan mikroorganisme untuk menguraikan atau mendegradasi zat organik dan anorganik yang terkandung dalam air buangan tersebut dengan cara mengkonversikannya menjadi gas dan partikel yang stabil. Jenis pengolahan ini dapat dikelompokkan dengan didasarkan pada beberapa hal yaitu:

A. Kebutuhan akan oksigen⁽⁴⁾.

Dalam hal ini terdapat dua proses utama yaitu aerobik dan anaerobik. Proses biologis secara aerobik berlangsung dimana oksigen diperlukan oleh mikroorganisme dalam mendegradasi bahan pencemar, sedangkan proses anaerobik berlangsung tanpa kehadiran oksigen.

B. Sistem pertumbuhan mikroorganismen⁽⁴⁾.

Sistem ini juga dibagi dalam dua bagian utama meliputi :

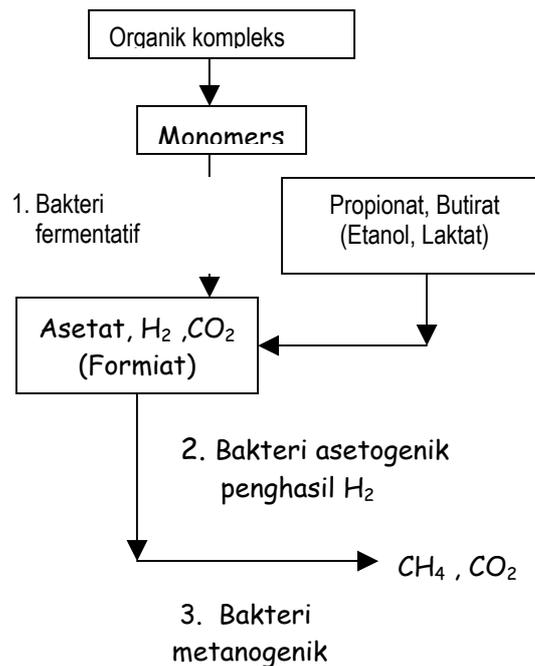
- Sistem pertumbuhan tersuspensi (*suspended growth system*), termasuk dalam sistem ini adalah *Totally Mixed Reactor*, *Activated sludge*.
- Sistem pertumbuhan melekat (*attachment growth system*), termasuk dalam sistem ini adalah *Fixed Bed Reactor (FBR)*, *Rotating Biological Contactor (RBC)* dan *Trickling Filter*.

2.2. Proses biologis Fixed Bed Reactor (FBR)

Fixed Bed Reactor adalah salah satu cara pengolahan limbah yang menerapkan proses biologis secara anaerob dengan menggunakan sistem pertumbuhan mikroorganisme melekat. Mikroorganisme tumbuh dan berkembang dengan menempel pada suatu media. Media tempat tumbuh mikroorganisme dapat berupa batu apung, plastik, *glass*

ring, *expanded clay*, porselin bahkan bambu atau bahan lain yang inert ke dalam reaktor sebagai bahan penunjang pertumbuhan mikroorganisme yang memiliki porositas sebesar mungkin dan luas permukaan spesifik seluas mungkin, sebagaimana terlihat dalam Gambar 1.

Limbah cair dipompakan ke dalam reaktor FBR melalui bagian bawah rektor dengan pipa yang terdistribusi merata didasar reaktor mengalir keatas melalui media tumbuh mikroorganisme sesuai tahapan proses, sehingga terjadi kontak antara bahan organik yang akan didegradasi dengan mikroorganisme (*fixed film*) yang melekat pada media tersebut. Dengan adanya kontak tersebut terjadilah proses degradasi oleh mikroorganisme anaerobik yang melekat. Proses anaerobik yang terjadi secara umum dibagi menjadi 3 tahap, yaitu tahap hidrolasi dan fermentasi, tahap pembentukan asam asetat dan tahap pembentukan metana seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Tiga tahap proses anaerobik⁽⁵⁾.

2.2.1. Hidrolisis dan Fermentasi. (Asidogenik)

Hidrolisis dan fermentasi adalah pengubahan senyawa organik yang bersifat kompleks menjadi bentuk sederhana dan bersifat organik terlarut.

Pengubahan senyawa ini dilakukan oleh bakteri fermentatif dengan menggunakan enzim yang diproduksinya. Senyawa organik yang bersifat kompleks, seperti polisakarida dihidrolisa menjadi monosakarida, protein menjadi asam amino dan lemak (lipid) menjadi gliserol dan asam lemak.

2.2.2. Asetogenik (Pembentukan asam Asetat)

Dalam proses hidrolisis dan asidogenik, selain dihasilkan asam lemak juga terbentuk senyawa-senyawa lain seperti senyawa alkohol, asam organik rantai panjang lain, senyawa unikarbon (HCOOH), dan senyawa multi karbon. Senyawa-senyawa ini dalam fasa ini diubah menjadi asam asetat oleh bakteri asetogenik sebelum memasuki tahap pembentukan metana.

2.2.3. Metanogenik (Pembentukan Gas Metana).

Dalam tahapan pembentukan asetat diatas juga dihasilkan hidrogen. Kedua macam senyawa tersebut merupakan bahan utama pembentuk gas metana. Pembentukan gas metana ini dilakukan oleh bakteri metanogen.

Tahap pembentukan metana ini merupakan tahap yang paling menentukan karena pertumbuhan bakteri metanogen relatif paling lambat dibandingkan dengan seluruh pertumbuhan bakteri yang terlibat dalam proses anaerobik. Menurut George Tchobanoglous⁴⁾, waktu yang dibutuhkan oleh bakteri metanogen untuk membelah diri (duplikasi) adalah 0.5 hingga 5 hari. Sedangkan bakteri sebelumnya dapat duplikasi dalam orde jam.

Seperti terlihat dalam Gambar 2. disetiap tahap penguraian zat karbon akan terbentuk beberapa jenis gas sesuai dengan reaksi yang terjadi. Untuk itu gas yang dihasilkan oleh proses penguraian zat karbon ini akan selalu berupa campuran gas-gas tersebut. Prosentase ideal gas CH₄ yang diamati oleh David A. Stafford⁽²⁾, yang dihasilkan dalam proses biologis anaerobik adalah sekitar 70 %, sedangkan menurut George Tchobanoglous dan M.N Rao⁽⁴⁾,

dihasilkan gas CH₄ dalam setiap kg COD yang teroleh mencapai 0.350 m³.

2.2.4. Pengaruh pembebanan terhadap kinerja reaktor.

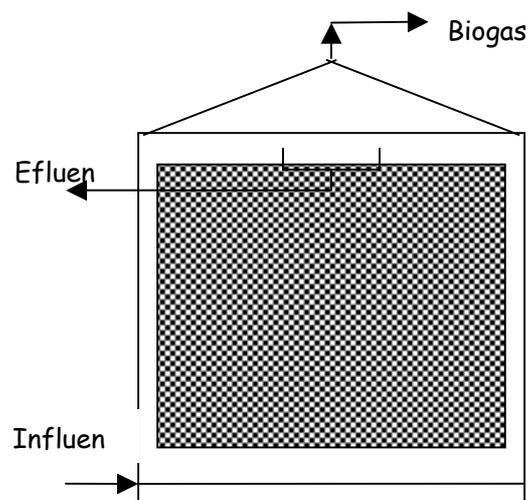
Kelangsungan proses anaerobik Fixed Bed Reactor dipegaruhi oleh beberapa faktor. Dalam pengkajian proses disini ditinjau pengaruh dari salah satu faktor tersebut yaitu besar pembebanan. Pada umumnya besar pembebanan yang diumpankan ke dalam reaktor didasarkan pada nilai waktu tinggal hidraulik (Hidaulic Retention Time/HRT) didefinisikan sebagai berapa lama limbah cair tinggal didalam reaktor.

Dengan pembebanan yang diberlakukan berdasarkan HRT yang telah ditetapkan tersebut didapat Laju Pembebanan Organik (Organic Loading Rate/OLR) yang didefinisikan sebagai hasil kali konsentrasi influen dengan debit air limbah yang dimasukan dibagi volume kerja reaktor. Robert A. Cubitt¹⁾ mengamati bahwa nilai pembebanan ideal pada FBR adalah 1 – 10 kg COD/m³, dengan kinerja yang diperoleh mencapai efisiensi 80 – 95 % degradasi bahan organik (COD).

3. METODOLOGI

3.1. Jenis Reaktor.

Pengamatan proses degradasi zat karbon organik limbah RPH Cakung dilakukan dengan menggunakan sistem Anaerobic Fixed Bed Reactor dengan skala demonstrasi. (lihat Gambar 3.)



Gambar 3. Jenis Anaerobik Fixed Bed Reactor – Up flow System

Volume reaktor secara keseluruhan adalah 600 m^3 dengan volume kerja (aktif) adalah 400 m^3 . Media pertumbuhan mikroorganisme yang digunakan adalah *fabricated material* seperti terlihat dalam Gambar 4. dengan luas permukaan spesifik media tumbuh per volume reaktor mencapai $100 \text{ m}^2/\text{m}^3$ dengan porositas 80%. Sistem pencatuan air limbah adalah *Up-flow system*, dan limbah keluar dari reaktor secara gravitasi.



Gambar 5. Media tumbuh Mikroorganisme

3.2. Pertumbuhan awal (*Start Up*).

Start up adalah pengoperasian awal dari anaerobik FBR dengan tujuan untuk membentuk dan menumbuhkan lapisan biofilm yang menempel pada permukaan media. Biofilm ini merupakan kumpulan mikroorganisme pengurai bahan pencemar limbah RPH Cakung.

Periode *start up* dilakukan dengan cara pembenihan dengan memasukkan cairan kotoran sapi kedalam reaktor dan dibiarkan selama 2 minggu. Setelah itu limbah cair dimasukan kedalam reaktor secara perlahan-lahan, hingga dicapai pembebanan dengan HRT 3 hari pada

kondisi proses relatif konstan. Kondisi ini tercapai dalam 15 hari.

3.3. Laju Pembebanan.

Seperti terlihat dalam Gambar 1. bahwa limbah cair yang dihasilkan dari kegiatan di RPH Cakung dialirkan melalui suatu saluran utama untuk kemudian dilakukan penyaringan bertahap agar limbah cair yang akan dimasukkan kedalam reaktor terbebas dari partikel dengan ukuran $> 1 \text{ mm}$.

Limbah cair RPH Cakung ditampung terlebih dahulu dalam tangki ekualisasi, karena proses utama kegiatan pemotongan hewan dilakukan pada malam hari sehingga diperlukan penampung utama. Setelah melalui proses pre-sedimentasi untuk menghilangkan partikel $> 1 \text{ mm}$, limbah cair ditampung dalam bak umpan untuk kemudian dipompakan secara semi kontinu kedalam reaktor.

Besarnya pembebanan ditentukan melalui pengatur waktu yang menentukan kapan dan berapa lama pompa beroperasi agar didapatkan debit air limbah yang diinginkan. Pembebanan ditentukan berdasarkan nilai HRT yang telah ditetapkan dalam perencanaan awal. Dalam pengkajian ini nilai besaran HRT diturunkan secara bertahap, sambil diamati pengaruhnya terhadap kinerja reaktor agar tetap stabil. Besar HRT dan kinerja reaktor dalam efisiensi yang didapatkan ditetapkan sebagai besaran optimal dari kinerja reaktor yang merupakan kriteria perencanaan pengoperasian anaerobik *Fixed Bed Reactor* ini.

3.4. Parameter yang diamati.

Pada setiap pengamatan HRT, dilakukan pengukuran terhadap parameter-parameter seperti diuraikan dibawah ini:

3.4.1. Chemical Oxygen Demand (COD)

Pengukuran COD dilakukan dalam pengamatan ini adalah solubel COD. Dengan COD solubel hanya ditinjau bahan yang bersifat terlarut dan merupakan bahan yang mudah didegradasi secara biologis. Pengukuran COD ini digunakan dalam menentukan kinerja reaktor dalam bentuk efisiensinya.

3.4.2. Biogas

Pengukuran biogas yang dihasilkan oleh anaerobik FBR ini dilakukan dengan pembacaan langsung pada alat pengukur jumlah produksi gas pada pipa aliran gas dari reaktor menuju penampung gas. Data yang diperoleh dikonversikan ke dalam bentuk normal (suhu kamar).

3.4.3. Kandungan metana dalam Biogas.

Pengukuran kandungan metana dilakukan dengan alat ukur gas metana. Biogas yang terbentuk ditampung dalam suatu penampung gas aluminium (volume 10 lt). Gas dialirkan dalam metana test-meter dan langsung dapat terbaca berapa prosentase kandungan metana dalam biogas.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Laju pembebanan organik (OLR) terhadap Kinerja reaktor.

Hasil pengamatan pembebanan yang diperhitungkan berdasarkan waktu tinggal hidraulik (HRT) dibandingkan dengan kinerja reaktor terlihat dalam Tabel 1. dibawah ini.

Berdasarkan hasil pengamatan diatas bahwa nilai pembebanan organik untuk HRT yang diujikan berada pada kriteria perencanaan FBR yaitu 1 – 10 kg COD/m³.hari¹⁾. Hal ini berarti bahwa pembebanan masih dapat dilakukan lebih tinggi lagi karena sampai pada HRT 3 hari dengan OLR 3 kg COD/m³.hr (belum mencapai 10 kg COD/m³.hr), efisiensi masih mencapai diatas 75 %.

Tabel 1. Nilai rata-rata HRT terhadap efisiensi Reaktor FBR

| HRT | Debit | OLR | Efisiensi |
|------|---------------------|---------------------------|-----------|
| Hari | m ³ /day | Kg COD/m ³ .hr | % |
| 7.27 | 63 | 1.17 | 65.1 |
| 5.88 | 68 | 1.48 | 75.3 |
| 4.34 | 92 | 2.02 | 73.2 |
| 3.36 | 119 | 2.52 | 74.8 |
| 2.87 | 139 | 3.05 | 78.7 |

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa kemampuan reaktor pada HRT 3 hari dapat mencapai efisiensi 78.7 %. Walaupun secara keseluruhan anaerobik FBR penanganan limbah RPH Cakung dengan skala demonstrasi lebih rendah dibandingkan dengan referensi¹⁾ yang menyatakan pencapaian efisiensi hingga 80 – 90 %. Kondisi ini dapat disebabkan oleh faktor geometri dimana referensi melakukan pada skala laboratorium dengan distribusi yang mendekati sempurna sedangkan penanganan limbah RPH Cakung berskala demonstrasi yang jauh lebih besar.

4.2. Hidraulic Retention Time (HRT) terhadap produksi biogas, prosentase kandungan metana dan produksi metana.

Hasil rata-rata pengamatan produksi biogas dan metana terhadap perlakuan pembebanan HRT tersaji dalam Tabel 2. berikut.

Tabel 2. Nilai rata-rata produksi Biogas, Metana pada berbagai HRT.

| HRT | Inflow | Prod Gas | CH4 | |
|------|---------------------|---------------------|-----|---------------------|
| Hari | m ³ /day | m ³ /day | % | m ³ /day |
| 7.27 | 63 | 58 | 81 | 47.0 |
| 5.88 | 68 | 69 | 82 | 56.6 |
| 4.34 | 92 | 60 | 80 | 48.0 |
| 3.36 | 119 | 65 | 83 | 54.0 |
| 2.87 | 139 | 103 | 82 | 84.5 |

Dari tabel diatas terlihat bahwa produksi biogas dan metana meningkat seiring dengan peningkatan pembebanan. Hal ini berarti bahwa anaerobik Fixed Bed Reactor mampu mengkonversikan penambahan limbah cair RPH Cakung menjadi biogas dan gas metana dalam jumlah besar. Nilai prosentase gas metana terjaga pada angka diatas 80 %. Ini berarti bahwa kinerja anaerobik FBR masih dalam kondisi baik walapun dilakukan peningkatan pembebanan. Keterbatasan limbah cair mengakibatkan pembebanan tidak dapat ditingkatkan lagi, sehingga pada skala demonstrasi ini belum dapat dilihat kondisi penurunan kinerja reaktor yang berarti bahwa proses dalam keadaan teracuni.

Secara umum nilai prosentase gas metana pada setiap kondisi pengamatan masih lebih besar bila dibandingkan dengan

referensi yang hanya mampu mencapai 70 % CH₄. dengan jumlah prosentase metana yang tinggi, berarti produksi metana yang mempunyai nilai kalor baik, tentunya gas ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi.

5. KESIMPULAN

Hasil pengkajian penanganan limbah cair RPH Cakung dengan menggunakan anaerobik Fixed Bed Reactor dapat disimpulkan sebagai berikut:

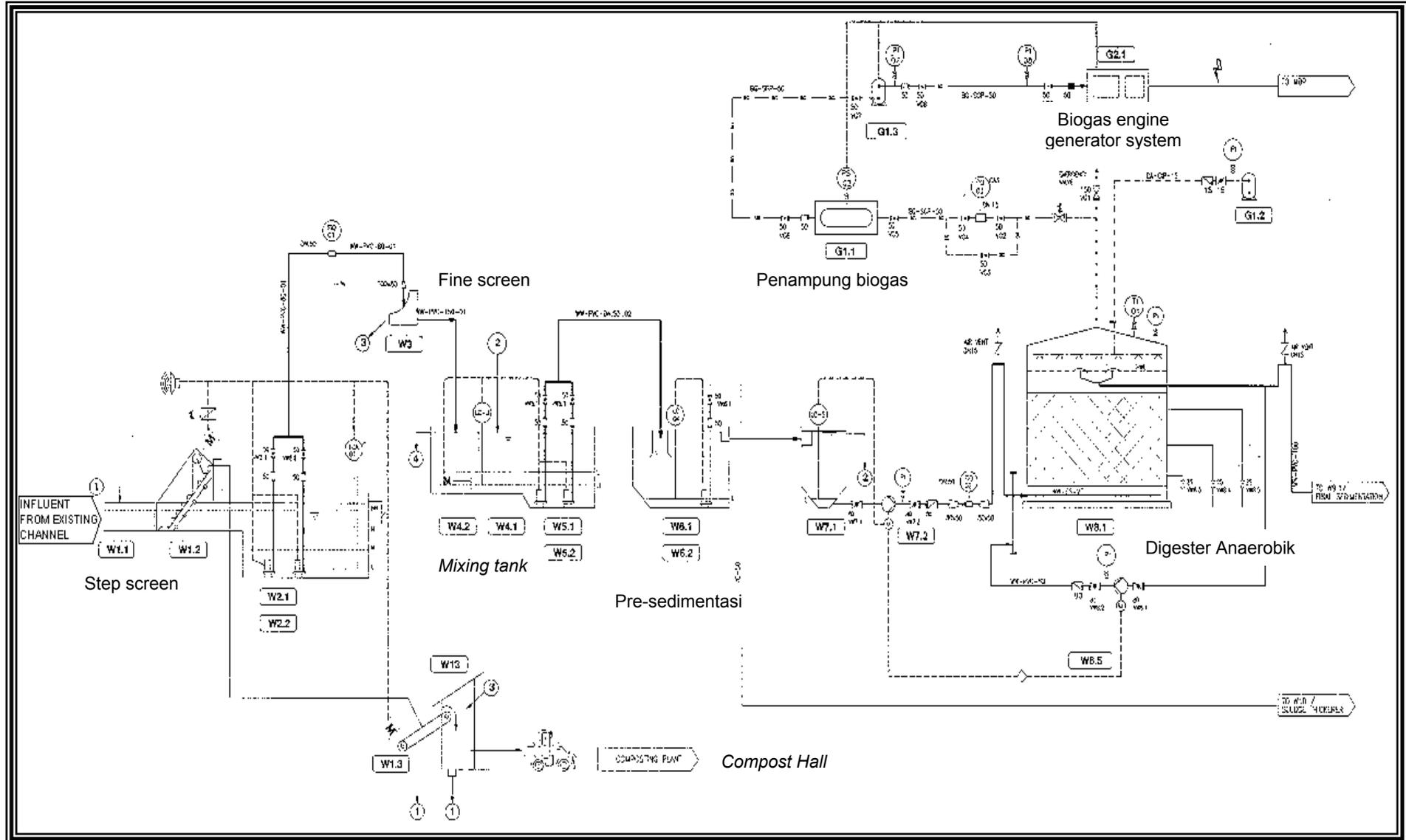
1. Kemampuan optimal anaerobik FBR dapat mencapai 3 hari dengan tingkat pembebanan organik 3.05 kg COD/m³.hari dan efisiensi mencapai 78 % pada prosentase gas metana 82 %.
2. Analisis terhadap produksi biogas dan gas metana menunjukkan bahwa semakin kecil HRT, semakin besar produksi kedua gas tersebut. Ini menunjukkan batas kemampuan reaktor masih dalam kriteria mampu untuk lebih ditingkatkan baik melalui debit atau kandungan pencemaran (COD) air limbah.
3. Kualitas hasil pengolahan anaerobik (efluen anaerobik FBR) masih di atas baku mutu limbah cair yang diijinkan oleh peraturan perundang-an. Oleh karena itu masih diperlukan pengolahan aerobik lanjutan agar kandungan bahan pencemar air limbah memenuhi baku mutu dan dapat langsung diterima oleh badan air penerima

DAFTAR PUSTAKA

1. Curbitt, Robert A., 1990. "Standard Handbook of Environmental Engineering," McGraw-Hill, Inc., New York.
2. Stuckey, David C., 1982. "Anaerobic Treatment of Industrial in The Developing Nations," Management of Industrial Wastewater in Developing Nations, Editor : D Stuckey and A. Hamza, Pergamon Press, Oxford.
3. Stafford, Dafid A., et.all., 1981. "Methane Production from Waste Organic Matter," CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.
4. Tchobanoglous, George and Schroeder, Edward D., 1987. "Water

Quality – Characteristic, Modelling, Modification", Addison – Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts.

5. Weiland P. 1987. "Development of Anaerobic Filter for Treatment of High Strength Agro – Industrial Wastewater Bioprocess Engineering." 237.47.
6. Curbitt, Robert A., 1990. "Standard Handbook of Environmental Engineering," McGraw-Hill, Inc., New York.
7. Stuckey, David C., 1982. "Anaerobic Treatment of Industrial in The Developing Nations," Management of Industrial Wastewater in Developing Nations, Editor : D Stuckey and A. Hamza, Pergamon Press, Oxford.
8. Stafford, Dafid A., et.all., 1981. "Methane Production from Waste Organic Matter," CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.
9. Tchobanoglous, George and Schroeder, Edward D., 1987. "Water Quality – Characteristic, Modelling, Modification", Addison – Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts.
10. Weiland P. 1987. "Development of Anaerobic Filter for Treatment of High Strength Agro – Industrial Wastewater Bioprocess Engineering." 237.



Gambar 1. System Pengolahan limbah cair RPH Cakung.

