

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Program Masterplan Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia (MP3EI) yang dicanangkan oleh Pemerintah Republik Indonesia mengelompokkan beberapa kawasan Indonesia dalam beberapa koridor. **Propinsi Riau** termasuk dalam **koridor Sumatera** dengan fokus **Kelapa sawit** dengan mengembangkan **Klaster Industri Hilir Kelapa sawit** yang berlokasi di **Dumai dan Kuala Enok Propinsi Riau**. Pada saat ini, Indonesia merupakan penyumbang minyak sawit mentah terbesar yakni sebesar 48 %, sedangkan Malaysia berada pada urutan kedua yaitu sebesar 37,3 %. Produksi minyak sawit mentah Indonesia pada tahun 2010 dicapai sebesar 19,76 juta ton.

Propinsi Riau merupakan penyumbang ekspor minyak sawit mentah terbesar di Indonesia yakni 38 % yang dihasilkan dari 146 pabrik kelapa sawit (PKS) dengan total produksi sebesar 6,3 juta ton dengan lahan perkebunan sebesar 2,1 Juta Ha. Setiap ton minyak sawit mentah akan menghasilkan limbah cair sebesar 2,5 m³ sehingga limbah cair yang dihasilkan sebesar 15,75 juta m³ dengan kandungan organik antara 30.000-60.000 mgCOD/L. Limbah cair tersebut memiliki potensi sebagai bahan baku untuk dikonversi menjadi biogas. Salah satu proses biokonversi limbah cair tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan proses anaerob (Ahmad dkk., 2004). Proses anaerob mempunyai keuntungan ganda yaitu **penurunan konsentrasi COD dan menghasilkan gas metan sebagai sumber energi alternatif** yang dapat digunakan untuk energi listrik.

Pada saat ini, Indonesia mengalami krisis energi listrik terutama di Propinsi Riau. Propinsi Riau memiliki minyak di atas dan minyak di bawah yakni minyak sawit dan minyak bumi, namun ironisnya Propinsi Riau mengalami krisis energi listrik yang ditandai dengan pemadaman listrik yang bergilir di tengah-tengah masyarakat. Propinsi Riau hanya mampu menyediakan 57,7 % dari kebutuhan energi listrik yang dipasok dari sistem interkoneksi Sumbar-Riau. Kebutuhan energi listrik pada beban puncak sebesar 284,4 MW, sedangkan kemampuan sistem di Propinsi Riau sebesar 164 MW (Riau Pos, 11 Nopember 2011). Kekurangan energi listrik tersebut penting diantisipasi dengan melakukan terobosan baru untuk mencari sumber energi listrik alternatif berupa energi baru dan terbarukan yang berbasis limbah cair pabrik kelapa sawit.

Potensi biogas untuk dikonversi menjadi energi listrik mempunyai prospek yang menjanjikan karena setiap 1 m³ biogas dapat menghasilkan 3 KWh. Sementara itu, Ketua tim pengusul penelitian ini (Ahmad, 2010) telah menemukan bioreaktor hibrid anaerob yang mampu mengubah 2,5 m³ limbah cair pabrik kelapa sawit menjadi biogas sebesar 46 m³ dengan waktu retensi (*retention time*) 1 hari. Sistem ini telah memiliki **Hak Paten** dengan **No. P00201000841**. Penelitian yang diusulkan ini merupakan penerapan dan peningkatan skala (*scale-up*) teknologi pembangkit biogas yang telah dipatenkan tersebut sebagai wujud untuk memperkuat Sistem Inovasi Nasional (**SINas**). Oleh karena itu, pemanfaatan limbah cair pabrik kelapa sawit sebagai bahan baku untuk menghasilkan biogas dan selanjutnya biogas dikonversi menjadi energi listrik sangat penting dan menarik untuk diteliti dan dikembangkan sebagai salah satu sumber energi baru dan terbarukan serta dapat mengurangi krisis energi listrik di Indonesia, khususnya di Propinsi Riau. Limbah cair yang akan digunakan dalam penelitian ini berasal dari pabrik kelapa sawit **PTPN V. Sei Pagar** berlokasi di Kabupaten Kampar, Propinsi Riau dan menggunakan bioreaktor skala pabrik dengan volume kerja efektif 25 m³ yang diuji-coba dilokasi **Pabrik Kelapa sawit PTPN V Sei Pagar Riau**.

1.2 Tujuan dan Sasaran

Tujuan khusus dari penelitian ini untuk:

1. Penerapan Teknologi Pembangkit Biogas dari limbah cair pabrik kelapa sawit yang telah mendapat **Hak Paten (Tahun 1)**.
2. **Scale-up** sistem bioreaktor hibrid anaerob dari 2,5 m³ menjadi 25 m³ dengan *scale-up factor* adalah 10 dan pengoperasian pada waktu retensi 1 hari (**Tahun 1**).
3. Uji coba dan Pemanfaatan biogas menjadi energi listrik pada skala model panel (**Tahun 2**).
4. Uji coba dan Pemanfaatan biogas menjadi energi listrik pada pemukiman petani sawit disekitar pabrik kelapa sawit (**Tahun 3**).
5. Membentuk jejaring kerja antara industri minyak kelapa sawit dengan lembaga penelitian Universitas Riau dengan memanfaatkan teknologi pembangkit energi listrik untuk masyarakat sekitar pabrik kelapa sawit (**Tahun 3**).

Sasaran penelitian ini untuk mendapatkan biokonversi limbah cair pabrik kelapa sawit secara anaerob menjadi biogas dengan *sistem bioreaktor hibrid anaerob* yang kompak skala pabrik (*plant*) dengan volume kerja efektif 25 m³ serta mampu bekerja secara kontinu dan menghasilkan energi listrik serta menghasilkan pupuk cair.

1.3 Urgensi Penelitian

Penelitian ini sangat penting dilakukan di Indonesia karena Indonesia merupakan penghasil minyak sawit terbesar di dunia. Pada tahun 2010 dicapai produksi minyak sawit sebesar 19,76 juta ton dengan sendirinya akan menghasilkan limbah cair pabrik kelapa sawit sebesar 49,4 juta m³. Limbah cair tersebut merupakan suatu potensi yang besar untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk menghasilkan biogas dengan proses anaerob karena ketersediaan limbah cair pabrik kelapa sawit sangat melimpah dan pemanfaatannya sebagai bahan baku untuk menghasilkan biogas belum diteliti secara intensif. Oleh karena itu, penting dilakukan terobosan baru untuk menemukan suatu teknologi proses yang mampu mengkonversi limbah cair pabrik kelapa sawit tersebut menjadi biogas. Salah satu teknologi proses yang ditawarkan adalah proses anaerob dengan menggunakan bioreaktor hibrid anaerob.

Penanganan limbah cair pabrik kelapa sawit di Indonesia saat ini sebagian besar menggunakan beberapa kolam terbuka. Sistem ini mampu menyisihkan kandungan COD hingga 95 %, namun dalam jangka waktu yang lama yakni 55 hari hingga 110 hari sehingga membutuhkan lahan yang sangat luas (Ahmad, 2001). Sistem ini mempunyai kelemahan antara lain gas metan dan karbondioksida yang dihasilkan dari proses fermentasi anaerob terlepas ke atmosfer sehingga dapat memicu pemanasan global karena gas metan merupakan gas rumah kaca dengan potensi pemanasan global 21 kali lebih tinggi dari CO₂. Oleh karena itu, penting dilakukan terobosan baru untuk menghasilkan teknologi pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit dengan waktu pengolahan yang singkat dan biogas yang dihasilkan dapat dikonversi menjadi energi listrik.

Salah satu teknologi pemanfaatan limbah cair pabrik kelapa sawit tersebut menjadi biogas dapat dilakukan dengan proses anaerob. Proses tersebut mempunyai keuntungan ganda yaitu **penurunan konsentrasi COD dan menghasilkan gas metan sebagai sumber energi alternatif** yang dapat digunakan untuk bahan bakar gas (Ahmad dkk., 2004). Ahmad (2010) telah menemukan bioreaktor hibrid anaerob yang mampu mengubah limbah organik menjadi biogas dengan waktu retensi (*retention time*) yang singkat. Sistem

ini telah memiliki **Hak Paten** dengan No. **P00201000841**. Kelebihan sistem bioreaktor hibrid anaerob dibandingkan dengan sistem bioreaktor lainnya terletak pada pengendalian kehilangan (*wash-out*) biomassa yang sangat istimewa sehingga mampu meningkatkan dan mempertahankan konsentrasi biomassa anaerob agar tetap tinggi. Konsentrasi biomassa yang tinggi di dalam sistem mempunyai implikasi terhadap kebutuhan substrat yang tinggi pula sehingga substrat yang tersisihkan menjadi lebih banyak dan waktu pengolahan (waktu retensi) menjadi lebih singkat dan stabil terhadap beban kejut. Implikasinya adalah kebutuhan lahan untuk bioreaktor anaerob menjadi lebih kecil (Rittman dan McCarty, 2001, Ahmad, 2001; Ahmad dkk., 2004; Ahmad dkk., 2009; Ahmad dkk., 2010; Ahmad dkk., 2012)

Di samping itu, sistem pengolahan secara anaerob memberikan beberapa keuntungan antara lain laju pertumbuhan maksimum 0,4/hari dengan perolehan biomassa 0,03 gVSS/gCOD dan menghasilkan energi baru dan terbarukan sebesar 0,35 L setiap gCOD disisihkan berupa biogas. Biogas terdiri dari campuran gas metan (50-70 %), karbon dioksida (25-45 %) serta sejumlah kecil hidrogen, nitrogen dan hidrogen sulfida (Benefield dan Randall, 1995). Setiap 1 m³ biogas mempunyai nilai kalor 4.800-6.700 kkal/m³. dan pembakaran 1 m³ biogas menghasilkan energi ekivalen dengan energi dari 3,47 kg kayu, 0,062 L kerosin, 0,61 L solar, 1,5 kg batu bara, 0,7 kg minyak tanah, 0,45 kg LPG atau 0,5 kg butan dan menghasilkan energi listrik sebesar 3 KWh (Wahyuni, 2009).

Penelitian yang diusulkan ini merupakan penerapan dari teknologi pembangkit biogas yang telah dipatenkan tersebut sebagai wujud untuk memperkuat Sistem Inovasi Nasional (**SINas**). Oleh karena itu, pemanfaatan limbah cair pabrik kelapa sawit sebagai bahan baku untuk menghasilkan biogas dan selanjutnya biogas digunakan sebagai bahan bakar pengganti BBM dan dikonversi menjadi energi listrik sangat penting dan menarik untuk diteliti dan dikembangkan dalam rangka mewujudkan salah satu sumber energi baru dan terbarukan serta dapat mengurangi krisis energi listrik di Indonesia, khususnya di Propinsi Riau.

Penelitian ini akan dilakukan pada kurun waktu 3 (tiga) tahun (2012-2014) yang diarahkan untuk penerapan bioreaktor hibrid anaerob sebagai pembangkit biogas dari limbah cair pabrik kelapa sawit menjadi biogas dan selanjutnya biogas dikonversi menjadi energi listrik. **Kebaruan teknologi ini** terletak pada perpaduan antara pertumbuhan mikroorganisme tersuspensi dengan pertumbuhan mikroorganisme terimobilisasi dalam satu sistem yang disebut bioreaktor hibrid anaerob yang mampu menahan mikroorganisme

lebih lama di dalam sistem sehingga mampu mempertinggi konsentrasi sel mikroorganisme.

Fokus penelitian ini antara lain meninjau **aspek lingkungan** (identifikasi dan karakteristik limbah cair pabrik kelapa sawit), **aspek hidrodinamika** (laju pembebanan organik dan waktu tinggal hidraulik) dan **aspek efisiensi biodegradasi secara anaerob** (penyisihan COD dan kualitas efluen). Hasil dari ketiga aspek tersebut menjadi dasar untuk penerapan sistem bioreaktor hibrid anaerob skala **industri**. Bioreaktor hibrid anaerob yang digunakan mempunyai 3 ruang sekat dengan perincian 2 ruang sekat untuk bakteri anaerob pertumbuhan tersuspensi dan 1 ruang sekat untuk bakteri anaerob dengan pertumbuhan melekat. Bioreaktor hibrid anaerob tersebut diujicobakan dengan limbah cair Industri sawit PTPN V di Desa Sei Galuh, Kabupaten Kampar, Propinsi Riau.

Di samping itu, hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sistem bioreaktor hibrid anaerob mempunyai kestabilan tinggi dan telah teruji dengan peningkatan tiba-tiba debit limbah cair akibat produksi mengalami peningkatan secara tiba-tiba sehingga kegagalan proses pengolahan limbah cair dapat dihindari (Ahmad dkk, 2012). Sementara itu, biogas yang dihasilkan dapat digunakan sebagai bahan bakar gas untuk kebutuhan energi listrik di Pabrik dan cairan yang keluar dari sistem bioreaktor dapat digunakan sebagai pupuk cair pada lahan perkebunan kelapa sawit dengan sistem *land application* serta pemanfaatan limbah padat tandan kosong sawit dan pelepah sawit sebagai media imobilisasi sel bakteri anaerob.

Secara finansial, keuntungan yang diperoleh dari biokonversi biogas menjadi energi listrik diuraikan sebagai berikut, pada produksi minyak sawit 6,3 juta ton/tahun, dengan limbah cair $2,5 \text{ m}^3/\text{ton}$ minyak sawit yang mengandung COD influen $41 \text{ kg}/\text{m}^3$. Efisiensi Penyisihan COD 86 % dan perolehan metan $0,17 \text{ m}^3/\text{kgCOD}_{\text{remove}}$. Bila $1 \text{ m}^3 = 3 \text{ Kwh}$ dengan asumsi harga $1 \text{ kwh} = \text{US\$ } 0,06$, maka Penghematan Energi listrik diperoleh sebesar $(6,3 \times 2,5) / 365 \times 41 \times 0,86 \times 0,17 \times 3 \text{ Kwh} = 775.962 \text{ Kwh}$ dan keuntungan Finansial adalah $775.962 \times \text{US\$ } 0,06 = \text{US\$ } 46.558/\text{hari}$.

Dengan temuan teknologi proses ini maka diharapkan **kontribusinya** terhadap pengembangan IPTEK sebagai berikut:

1. Pengembangan sumberdaya manusia khususnya melalui program penelitian untuk skripsi, tesis dan disertasi berkaitan dengan penemuan teknologi proses konversi limbah cair pabrik kelapa sawit menjadi energi listrik dan pencegahan pencemaran lingkungan.
2. Kontribusi ilmiah yang berkenaan dengan rekayasa bioproses limbah cair pabrik kelapa sawit menjadi biogas dan selanjutnya dikonversi menjadi energi listrik.

3. Kontribusi ilmiah dalam memperoleh HKI melalui alur-alur baru yang diperoleh dari hasil penelitian ini dalam bentuk prototipe.

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 Karakteristik Limbah Cair pabrik kelapa sawit

Limbah cair yang dihasilkan dari pabrik kelapa sawit berkisar 2 hingga 3 m³ setiap ton minyak sawit dihasilkan. Kuantitas dan kualitas limbah cair dari setiap pabrik berbeda-beda tergantung dari jumlah pemakaian air dan tahap-tahap pemrosesannya. Unit penghasil limbah cair terbesar berasal dari kondensat alat steril dan lumpur dari unit klarifikasi. Karakteristik limbah cair yang berasal dari unit sterilisasi, klarifikasi dan pemisah hidrosiklon ditampilkan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Karakteristik Limbah Cair Asal Unit Sterilisasi, Unit klarifikasi dan Unit Hidrosiklon (Wong dan Chin, 1985; a) sumber: Watson dan Watson , 1970)

Parameter	Satuan	Unit Sterilisasi	Unit Klarifikasi ^{a)}	Unit Hidrosiklon
pH	-	5,0	4,5	-
COD	mg/L	50.000	60.000	15.000
BOD	mg/L	23.000	20.000	5.000
TS	mg/L	39.000	65.000	7.100
Minyak-lemak	mg/L	4.000	10.000	300

Atas dasar pertimbangan praktis, sebagian besar pabrik kelapa sawit menggabungkan seluruh limbah cair yang berasal dari unit sterilisasi, unit klarifikasi, unit pemisah hidrosiklon, air pencuci dan tumpahan minyak. Limbah cair ini dikumpulkan dalam suatu tangki penampung dan kemudian dialirkan ke instalasi pengolah limbah cair. Limbah cair ini berwarna kecoklat-coklatan dengan suhu 80 - 90 °C dan bersifat asam dengan pH berkisar dari 3,5-5. Karakteristik limbah cair pabrik kelapa sawit ini ditampilkan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Karakteristik Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (Wong dan Chin, 1985)

Parameter	Satuan	Konsentrasi
pH	-	4,1
COD	mg/L	21.280
BOD	mg/L	34.720
TS	mg/L	46.185
Minyak-lemak	mg/L	6.390

Tinjauan lebih spesifik lagi bahwa limbah cair pabrik kelapa sawit ini terdiri dari berbagai senyawa organik dan senyawa anorganik. Kandungan senyawa organik relatif lebih tinggi dibandingkan senyawa anorganik. Kandungan senyawa organik dan senyawa anorganik yang terdapat di dalam limbah cair pabrik kelapa sawit ditampilkan dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Kandungan Senyawa Organik dan Senyawa Anorganik di dalam Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (Wong dan Chin, 1985)

Komponen	Konsentrasi (mg/L)
Pati	2.000
Protein	3.000
Minyak-lemak	6.390
Nitrogen ,N-total	650
Fosfor, P	120
Kalium, K	1.620
Magnesium, Mg	295
Kalsium, Ca	315
Natrium, Na	43
Mangan, Mn	3,3
Besi, Fe	117
Seng, Zn	1,5
Tembaga, Cu	1,2
Kobal, Co	0,05
Khrom, Cr	0,17
Kadmium, Cd	0,01

Tabel 2.2 dan 2.3 di atas menunjukkan bahwa karakteristik limbah cair pabrik kelapa sawit tersebut sesuai diolah dengan pengolahan limbah cair secara biologi menggunakan proses anaerob.

2.2 Proses Anaerob

Proses anaerob merupakan proses biodegradasi senyawa organik yang mengandung karbon dan hidrogen secara biologis dalam kondisi tanpa kehadiran oksigen menghasilkan gas metan (CH₄), karbon dioksida (CO₂) dan air (H₂O). Proses anaerob dapat dilakukan dengan bioreaktor anaerob satu fasa maupun dua fasa. Bioreaktor anaerob fasa tunggal

artinya tahap proses asidogenesis dan metanogenesis berada dalam satu sistem bioreaktor anaerob sedangkan bioreaktor anaerob dua fasa yakni tahap proses asidogenesis dan metanogenesis dipisahkan dalam dua buah bioreaktor yang berbeda (Ahmad dan Setiadi, 1993; Ng dkk, 1985; Setiadi dan Arief, 1992; Setiadi dkk, 1993; Setiadi dkk, 1996; Setiadi dan Faisal, 1994). Pemisahan tersebut dapat dilakukan karena laju pertumbuhan kelompok bakteri asidogenesis jauh lebih cepat dibandingkan dengan laju pertumbuhan metanogenesis yakni $\mu_{maks} = 2,0 \text{ hari}^{-1}$ untuk tahap metanogenesis dan $\mu_{maks} = 0,4 \text{ hari}^{-1}$ untuk tahap asidogenesis (Gujer dan Zehnder, 1983; Henze dan Harremoës, 1983).

Namun demikian, kelemahan sistem tersebut diatas adalah sulitnya mempertahankan dan mengendalikan biomassa agar tidak keluar (*wash-out*) dari sistem. Biomassa yang terbuang ini menyebabkan waktu tinggal biomassa menjadi singkat dan mengurangi jumlah biomassa yang ada dalam sistem, akhirnya akan menghasilkan kinerja proses anaerob yang rendah. Disamping itu, biomassa yang terbawa aliran keluar tidak segera diganti oleh sel bakteri baru karena laju pertumbuhannya yang lambat yang mengakibatkan terjadinya kegagalan proses. Masalah ini dapat diatasi dengan menggabungkan bioreaktor tersuspensi dan bioreaktor melekat dalam satu bioreaktor (Ahmad dkk., 2009).

Teknik penggabungan proses anaerob dengan pertumbuhan tersuspensi dengan pertumbuhan melekat merupakan teknik terbaru dalam mengupayakan peningkatan kinerja proses anaerob dalam mengolah limbah yang mengandung senyawa organik dengan tujuan untuk menurunkan beban pencemaran yang diakibatkan oleh limbah tersebut dan menghasilkan gas metan. Kebaruan teknologi ini adalah proses biodegradasi limbah dan proses pengendalian *wash-out* biomassa berlangsung secara simultan dalam satu bioreaktor. Keuntungan sinergi yang diperoleh adalah bahwa proses anaerob mendegradasi senyawa organik menjadi gas metan selanjutnya media imobilisasi sel menahan padatan biomassa sehingga keluaran (*effluent*) bioreaktor bebas dari padatan biomassa (Ahmad dkk., 2010).

Keunggulan dari sistem bioreaktor hibrid anaerob ini dibandingkan dengan sistem bioreaktor lainnya terletak pada pengendalian kehilangan (*wash-out*) biomassa yang sangat istimewa sehingga mampu meningkatkan dan mempertahankan konsentrasi biomassa anaerob agar tetap tinggi. Konsentrasi biomassa yang tinggi di dalam sistem mempunyai implikasi terhadap kebutuhan substrat yang tinggi pula sehingga substrat yang tersisihkan menjadi lebih banyak dan waktu pengolahan (waktu tinggal hidraulik) menjadi lebih singkat. Hal tersebut di atas tidak ditemui pada sistem bioreaktor lainnya. Selain mampu

menurunkan parameter pencemar organik yang diekspresikan sebagai angka COD, juga dapat menghasilkan biogas yang dapat digunakan sebagai bahan bakar gas baru dan terbarukan dan dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar fosil (Ahmad dkk., 2010).

2.3 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan telah dilakukan oleh Ahmad dkk. (2009) melalui Hibah Penelitian Unggulan Strategis Nasional Batch I yang didanai oleh DP2M DIKTI KEMENDIKNAS, telah menemukan suatu **sistem bioreaktor hibrid anaerob** yang mampu mengkonversi limbah cair industri sawit dengan kinerja yang baik dengan laju pembebanan organik tinggi pada efisiensi penyisihan COD sebesar 84 % untuk bioreaktor bermedia pelepah sawit dan 88 % untuk bioreaktor bermedia tandan kosong sawit dengan waktu retensi sebesar 1 (satu) hari dengan volume kerja efektif sebesar 2,5 m³. Di samping itu, proses pengujian kinerja bioreaktor hibrid anaerob dalam mengantisipasi fluktuasi debit limbah cair industri sawit dengan peningkatan laju alir secara tiba-tiba dengan beban kejut sebesar 50 %, 100 % dan 150 % menunjukkan bahwa waktu pemulihan sistem bioreaktor hibrid anaerob bermedia tandan kosong dan bermedia pelepah sawit berlangsung relatif cepat dengan rentang waktu 6 hingga 8 hari. Dengan demikian, peningkatan laju alir umpan secara tiba-tiba tidak mempengaruhi kinerja bioreaktor hibrid anaerob karena kestabilan bioreaktor relatif tinggi sehingga proses biokonversi limbah cair menjadi bahan bakar gas berlangsung dengan baik (Ahmad, dkk., 2012).

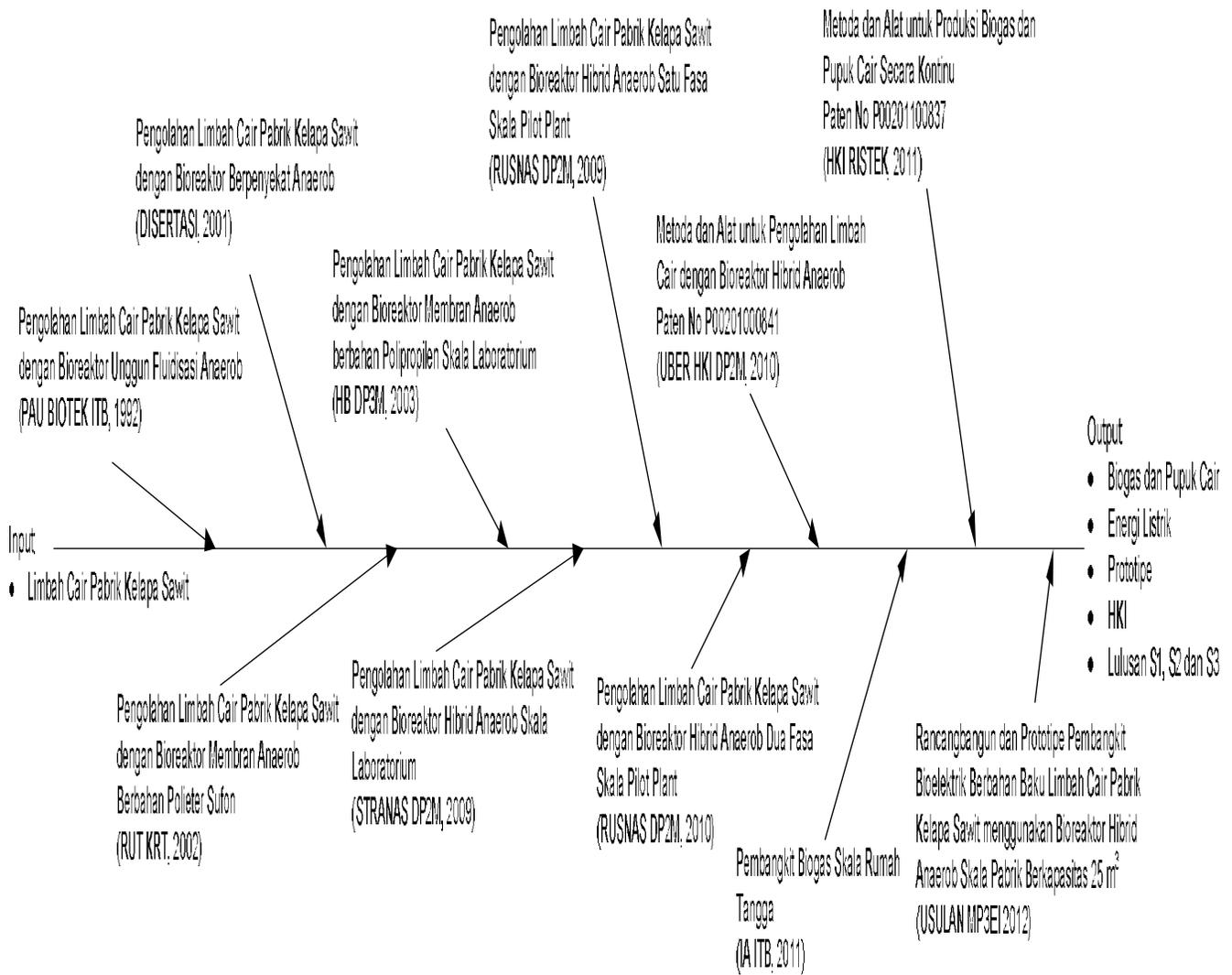
Selanjutnya Ahmad dkk. (2010) melalui Hibah Penelitian Unggulan Strategis Nasional Batch I yang didanai oleh DP2M DIKTI KEMENDIKNAS telah memperoleh kondisi optimum bioreaktor hibrid anaerob dua tahap dalam proses biokonversi limbah cair industri sawit menjadi bahan bakar gas. Kondisi optimum bioreaktor hibrid anaerob tersebut mampu mengkonversi limbah cair dengan laju pembebanan organik tinggi sebesar 100 kgCOD/m³-hari, menyisihkan COD sebesar 92 kgCOD/m³-hari, efisiensi penyisihan COD sebesar 84 % dengan kualitas COD efluen sebesar 8000 mgCOD/L. Kehilangan biomassa anaerob relatif kecil sebesar 1,6 mgVSS/L dengan kestabilan tinggi yang ditunjukkan oleh rasio asam lemak volatil dengan alkalinitas sebesar 0,052 dan waktu tinggal hidraulik selama 1,5 hari (tahap asidogenesis 0,5 hari dan tahap metanogenesis 1 hari) dan perolehan gas metan spesifik sebesar 46 m³. Dipandang dari segi nilai ekonomi, bioreaktor hibrid anaerob tersebut di atas berpeluang besar untuk digunakan sebagai salah satu unit biokonversi limbah cair industri sawit skala industri dikarenakan rancang bangun sederhana, murah dan mudah pengoperasiannya serta lahan yang dibutuhkan relatif kecil.

Menurut Ahmad dkk. (2010) dalam laporan Penelitian Unggulan Strategis Nasional Batch I yang didanai oleh DP2M DIKTI KEMENDIKNAS menyatakan bahwa kualitas efluen bioreaktor hibrid anaerob dapat digunakan sebagai pupuk cair karena memenuhi persyaratan peraturan pemerintah dengan kandungan COD dibawah konsentrasi 10000 mg/L yang setara dengan BOD dibawah konsentrasi 5000 mg/L dan mengandung nutrisi berupa unsur nitrogen, posfor dan kalium. Keluaran dari bioreaktor mengandung total nitrogen berkisar dari 1254,4 hingga 2822,4 mg/L, kandungan total posfor berkisar dari 14,7 hingga 26,7 mg/L dan kandungan total kalium berkisar dari 355,8 hingga 381,4 mg/L. Keluaran bioreaktor tersebut dapat digunakan sebagai pupuk cair pada kegiatan *land application*, sehingga dapat mengurangi beban pencemaran lingkungan yang berasal dari limbah cair dan sekaligus menghasilkan pupuk cair dan bahan bakar gas. Teknologi bioreaktor hibrid anaerob tersebut di atas telah mendapat Hak Paten dengan **No. P00201000841**. Dengan demikian, teknologi hibrid anaerob yang telah mendapatkan hak paten tersebut penting untuk diujicobakan penerapannya pada limbah cair pabrik kelapa sawit untuk dikonversi menjadi biogas dan selanjutnya menghasilkan energi listrik.

BAB III

PETA JALAN PENELITIAN

Penelitian ini merupakan kelanjutan dari penelitian-penelitian sebelumnya yang dibiayai melalui penelitian unggulan strategi nasional batch I tahun 2009 dan 2010 serta telah memperoleh HKI dengan **No. P00201000841**. Teknologi tersebut akan diujicobakan dengan berbagai limbah cair dan padat. Pada penelitian ini akan dilakukan pengembangan penerapannya pada limbah cair pabrik kelapa sawit untuk dikonversi menjadi biogas. Secara garis besar roadmap penelitian pemanfaatan teknologi bioreaktor hibrid anaerob ini dalam menghasilkan biogas untuk dikonversi menjadi energi listrik disajikan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Roadmap Penelitian

BAB IV

MANFAAT PENELITIAN

Manfaat penelitian ini antara lain:

1. Terjalinnnya hubungan kerja sama antara Universitas Riau dengan Industri Minyak Sawit di Propinsi Riau dalam aplikasi **teknologi proses biokonversi limbah cair pabrik kelapa sawit menjadi bahan bakar gas selanjutnya dikonversi menjadi energi listrik skala pabrik.**
2. Terjadinya pengembangan *technology roadmap* yang relevan dengan pengembangan industri hilir kelapa sawit di Propinsi Riau untuk memenuhi kebutuhan energi listrik.
3. Terbangunnya *techno-industrial cluster*, yaitu jejaringan kemitraan antara industri minyak sawit, lembaga penelitian Universitas Riau dengan usaha kecil dan menengah dalam **memanfaatkan energi listrik dan pupuk cair dalam mendukung Program MP3EI dengan klaster industri hilir kelapa sawit di Dumai dan Kuala Enok Propinsi Riau.**

Di samping itu, penelitian ini akan menghasilkan **luaran** berupa:

- (2) Teknologi tepat guna yang berkenaan dengan industrialisasi dalam bidang pengembangan kelapa sawit.
- (3) Teknologi tepat guna untuk produksi energi baru dan terbarukan yang dibutuhkan oleh pengembangan industri hulu-hilir kelapa sawit.
- (4) Temuan baru yang dapat diajukan HKI-nya berupa paten.
- (5) Publikasi berupa artikel ilmiah yang diterbitkan dalam jurnal.
- (6) Menghasilkan 6 Sarjana Teknik Kimia, 2 orang Magister Teknik Kimia dan 1 orang Doktor Ilmu Lingkungan.

BAB V

METODE PENELITIAN

5.1 Sistematika Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan selama 3 tahun dengan melibatkan 6 mahasiswa S1, 2 mahasiswa S2 dan 1 mahasiswa S3. Sistematika penelitian diuraikan sebagai berikut:

1. Tahun Pertama diperoleh kondisi tunak bioreaktor hibrid anaerob dan diperoleh kondisi operasi bioreaktor pada waktu retensi yang singkat yakni 1 hari dengan beban organik tinggi. **Keuntungan** yang diperoleh adalah beban pencemaran menurun sedangkan **keunggulannya** adalah waktu pengolahan menjadi singkat dan **keluarannya** adalah gas metan dan karbondioksida yang dihasilkan tidak dilepaskan ke atmosfer tetapi ditampung dalam suatu wadah.
2. Tahun Kedua diperoleh sistem pembangkit biogas yang menghasilkan laju alir biogas yang sesuai untuk menggerakkan sumber energi listrik berbahan baku biogas. **Keuntungan** yang diperoleh adalah bahan bakar gas dan pupuk cair, sedangkan **keunggulannya** diperoleh energi listrik dan **keluarannya** sebagai lampu penerangan dan pupuk cair untuk lahan perkebunan.
3. Tahun Ketiga akan diperoleh penggunaan pembangkit biogas untuk menghasilkan energi listrik bagi masyarakat. **Keuntungan** yang diperoleh adalah pasokan energi listrik baru, sedangkan **keunggulannya** diperoleh energi listrik baru dan terbarukan, **keluarannya** dapat mengurangi krisis energi listrik di Propinsi Riau. Bagan penelitian disajikan sebagai berikut,

Tabel V.1 Uraian Tahap Kemajuan Penelitian Selama Tiga Tahun

No	URAIAN	TAHAP KEMAJUAN PELAKSANAAN		
		Tahun 2012	Tahun 2013	Tahun 2014
1.	Masalah Penelitian	Penerapan Pembangkit Biogas: a. Pembibitan dan Aklimatisasi b. Start-up Bioreaktor c. Pengoperasian Bioreaktor pada waktu retensi 1 hari	Pengoperasian Pembangkit Biogas dan Pemanfaatan untuk lampu penerangan skala model panel: a. Pengendalian dan pengukuran Laju Alir Umpan b. Pengendalian dan pengukuran Laju Alir Biogas c. pembangkit biogas dengan	Penerapan Pembangkit Biogas Untuk Pemukiman: a. Pengendalian dan pengukuran Laju Alir Umpan a. Pengendalian dan pengukuran Laju Alir Biogas b. Penggabungan alat pembangkit biogas dengan generator listrik berbahan baku gas

			generator listrik berbahan baku gas d. Pengujian Kapasitas Voltase Panel listrik	c. Penyaluran energi listrik untuk pemukiman
2.	Model dan Variabel Penelitian	1. Model Eksperimental murni 2. Variabel parameter operasi antara lain Laju alir Umpan dan laju alir biogas	1. Model Eksperimental murni 2. Variabel parameter operasi antara lain Laju alir Umpan dan laju alir biogas 3. Rasio C:N:P (100:5:1)	1. Model Eksperimental murni 2. Variabel parameter operasi antara lain Laju alir Umpan dan laju alir biogas 3. Rasio C:N:P (100:5:1)
3.	Teknik Pengumpulan Data	Sampling sekali waktu, duplo	Sampling sekali waktu, duplo	Sampling sekali waktu, duplo
4.	Teknik Pengolahan Data	Tabel dan Grafik	Tabel dan Grafik	Tabel dan Grafik
5.	Hasil Analisis dan Interpretasi Data	1. Kemampuan produksi biogas 2. Laju alir produksi biogas dan pemanfaatannya 5. Kualitas efluen dan pemanfaatan sebagai pupuk cair (N, P, K)	1. Laju alir produksi biogas dan pemanfaatannya 2. Kualitas efluen dan pemanfaatan sebagai pupuk cair 3. Kapasitas Voltase 4. Kondisi Proses: pH, Suhu, Alkalinitas, Asam Lemak Volatil, Padatan, COD in/out, N, P, K	1. Kemampuan produksi biogas 2. Laju produksi biogas dan pemanfaatannya 3. Kualitas efluen dan pemanfaatan sebagai pupuk cair 4. Kondisi Proses: pH, Suhu, Alkalinitas, Asam Lemak Volatil, Padatan, COD in/out, N, P, K
6.	Luaran	Diperoleh kinerja pembangkit biogas dan kapasitas generator berbahan baku biogas	MOU UNRI dengan PTPN V	MOU UNRI dengan PTPN V dan PEMKAB

5.2 Tahapan Penelitian

Pada penelitian ini digunakan limbah cair pabrik kelapa sawit Sei Pagar PTPN V Riau, sedangkan Bioreaktor Hibrid Anaerob yang digunakan memiliki volume total sebesar 40 m³ dengan kapasitas volume kerja cairan efektif sebesar 25 m³. Luaran yang diharapkan dari tahun pertama ini antara lain: (a) Karakterisasi limbah cair pabrik kelapa sawit, (b) Aklimatisasi dan Adaptasi bakteri anaerob dengan limbah cair pabrik kelapa sawit, (c) *Start-up* Bioreaktor Hibrid Anaerob, (d) Pengoperasian Bioreaktor Hibrid Anaerob pada Waktu Tinggal Hidraulik 1 hari, dan (e) Kinerja Bioreaktor Hibrid Anaerob dalam menghasilkan biogas. Persiapan yang telah dilakukan diuraikan di bawah ini.

5.2.1 Limbah Cair

Limbah cair yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari limbah cair pabrik kelapa sawit Sei Pagar PTPN V Riau. Karakteristik limbah cair yang ditinjau antara lain suhu, pH, asam lemak volatil, alkalinitas, COD, padatan total (TS), padatan tersuspensi total (TSS), padatan volatil tersuspensi total (TVS) dan padatan tersuspensi volatil total (VSS).

5.2.2 Peralatan Bioreaktor

A. Dimensi Bioreaktor Hibrid Anaerob

Pada penelitian ini, dimensi Bioreaktor Hibrid Anaerob disajikan pada Tabel V.2.

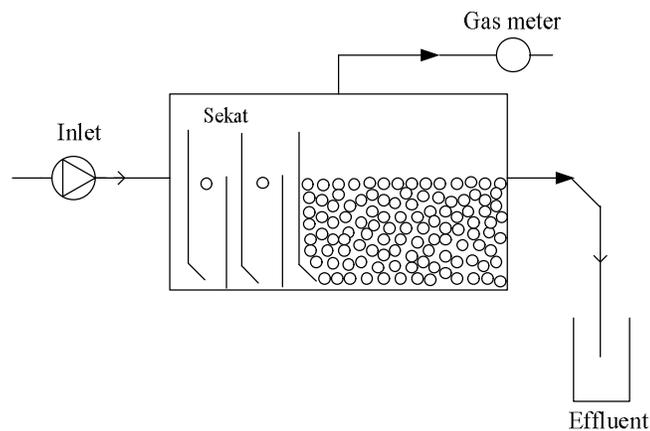
Tabel V.2 Ukuran bioreaktor hibrid anaerob yang digunakan

Uraian	Dimensi Bioreaktor
Volume	40 m ³
Panjang	8 m
Lebar	2 m
Tinggi	2,5 m

B. Set-up alat

Peralatan utama penelitian ini terdiri dari tangki *starter* bakteri dan tangki bioreaktor. Selain itu, digunakan juga beberapa alat lain diantaranya pompa, penampung biogas dan instalasi perpipaan. Rangkaian alat secara lengkap tersaji pada Gambar V.1.

Bioreaktor hibrid anaerob yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai volume total 40 m^3 terdiri dari dua ruang sekat dengan volume masing-masing sebesar 5 m^3 dan satu ruang sekat dengan volume 30 m^3 , sedangkan volume cairan efektif adalah sebesar 25 m^3 . Ruang sekat pertama dan kedua diperuntukkan sebagai bioreaktor pertumbuhan bakteri anaerob tersuspensi, sedangkan ruang sekat ketiga diperuntukkan sebagai bioreaktor pertumbuhan bakteri melekat yang dilengkapi dengan media imobilisasi sel. Media imobilisasi sel tersebut diisikan sebanyak sepertiga dari ruang sekat. Ruang aliran arah kebawah dirancang sepertiga dari ruang aliran keatas pada setiap ruang berpenyekat.



Gambar V.1 Konfigurasi bioreaktor hibrid anaerob

Penyekat-penyekat yang dipasang secara vertikal memaksa agar aliran limbah yang masuk dari bagian atas mengalir sesuai dengan pola aliran di dalam ruang berpenyekat. Perjalanan aliran limbah tersebut kembali memaksa melewati bagian atas penyekat dan begitu seterusnya sehingga mengalir keluar dari bioreaktor. Bakteri anaerob di dalam bioreaktor cenderung terangkat dan terendapkan kembali akibat terbentuk biogas selama proses biokonversi secara anaerob. Bakteri anaerob tersebut akan bergerak secara perlahan-lahan ke arah horizontal sehingga terjadi kontak antara biomassa aktif dengan limbah yang masuk dan aliran keluar relatif bebas dari padatan biomassa.

5.2.3 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian diuraikan di bawah ini:

1. Karakterisasi limbah cair pabrik kelapa sawit menyangkut karakteristik parameter pencemar yang terkandung di dalam limbah cair tersebut. Parameter yang ditinjau antara lain suhu, pH, asam lemak volatil, alkalinitas, COD, padatan total (TS), padatan

tersuspensi total (TSS), padatan volatil tersuspensi total (TVS) dan padatan tersuspensi volatil total (VSS).

2. Perancangan dan *set-up* alat bioreaktor hibrid anaerob.

Tahap kegiatan ini dimulai dengan menyusun peralatan bioreaktor hibrid anaerob. Pada dasarnya, rangkaian peralatan terdiri dari bioreaktor anaerob dan media padat sebagai media imobilisasi sel. Bioreaktor anaerob terbuat dari *fiber* berupa persegi empat panjang yang mempunyai volume 40 m³. Bioreaktor tersebut mempunyai tiga ruang yang disekat dengan volume kerja efektif sebesar 25 m³.

3. Pembibitan dan aklimatisasi bakteri anaerob menyangkut pengembang-biakan bakteri anaerob dan adaptasi bakteri anaerob dengan substrat limbah cair sehingga diperoleh sejumlah bibit bakteri anaerob yang akan digunakan pada bioreaktor hibrid anaerob. Pembibitan dan aklimatisasi bibit bakteri anaerob dilakukan selama 20 hari.

4. *Start-up* bioreaktor hibrid anaerob menyangkut pengembang-biakan bakteri anaerob dengan substrat limbah cair dengan laju pembebanan rendah. *Start-up* bioreaktor hibrid anaerob dilakukan dengan pengamatan COD (*chemical oxygen demand*), pH, asam lemak volatil total dan alkalinitas dalam kondisi transien dan tunak. Aktivitas biologis dalam bioreaktor anaerob diamati melalui data MLSS (*mixed liquor suspended solids*) dalam kondisi transien dan tunak. Keadaan tunak bioreaktor anaerob sebagai dasar pengoperasian bioreaktor hibrid anaerob.

5. Pengoperasian bioreaktor hibrid anaerob. Dari tahapan *start-up* bioreaktor diperoleh kondisi bioreaktor yang telah mencapai keadaan tunak (*steady-state*). Selanjutnya kondisi tunak bioreaktor digunakan untuk mengoperasikan bioreaktor hibrid anaerob dengan laju alir umpan sebesar 25 m³/hari pada waktu tinggal hidraulik 1 hari. Kinerja sistem bioreaktor hibrid anaerob ini ditentukan dengan mengkaji perubahan penyisihan COD, padatan, pH, suhu, asam lemak volatil total, dan alkalinitas dalam kondisi transien dan tunak. Aktivitas biologis dalam bioreaktor anaerob diamati melalui data VSS (*volatile suspended solids*) dalam kondisi transien maupun tunak serta ditentukan laju alir gas metan spesifik dalam sistem.

5.2.4 Prosedur Penelitian

1. Tahap Karakteristik Limbah Cair

Pada tahap karakterisasi limbah cair pabrik kelapa sawit menyangkut karakteristik parameter pencemar yang terkandung di dalam limbah cair tersebut. Parameter yang ditinjau antara lain suhu, pH, asam lemak volatil, alkalinitas, COD, padatan total (TS),

padatan tersuspensi total (TSS), padatan volatil tersuspensi total (TVS) dan padatan tersuspensi volatil total (VSS).

Tahap karakteristik limbah cair dilakukan dengan cara mengambil sampel air limbah yang keluar dari kolam deoilisasi. Sampel tersebut dianalisa dan diukur parameter pencemar di laboratorium rekayasa bioproses Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Riau. Metoda analisa sesuai dengan *Standard methode* (APHA, AWWA, WCF, 1992)

2. Tahap Rancangbangun Bioreaktor Hibrid Anaerob

Pada tahap ini dimulai dengan menyusun peralatan bioreaktor hibrid anaerob. Pada dasarnya, rangkaian peralatan terdiri dari bioreaktor anaerob dan media padat sebagai media immobilisasi sel. Bioreaktor anaerob terbuat dari *fiber glass* berupa persegi empat panjang yang mempunyai volume 40 m^3 . Bioreaktor tersebut mempunyai tiga ruang yang disekat dengan volume kerja efektif sebesar 25 m^3 .

Tahap rancang bangun dilakukan dengan cara meng-*scale-up* bioreaktor hibrid anaerob dengan *scale-up factor* 10 dari bioreaktor kapasitas $2,5 \text{ m}^3$ sebelumnya. Dimensi bioreaktor hibrid anaerob pada panjang 8 m, lebar 2 m dan tinggi 2,5 m sehingga diperoleh volume tangki bioreaktor sebesar 40 m^3 , sedangkan volume kerja efektif sebesar 25 m^3 . Bioreaktor tersebut terbuat dari bahan *fiber* dan dirakit di Kota Pekanbaru dan ditempatkan di Pabrik kelapa sawit Sei. Pagar Kabupaten Kampar Propinsi Riau.

3. Tahap Pembibitan dan Aklimatisasi Bakteri Anaerob

Pada tahap Pembibitan dan aklimatisasi bakteri anaerob menyangkut pengembangbiakan bakteri anaerob dan adaptasi bakteri anaerob dengan substrat limbah cair sehingga diperoleh sejumlah bibit bakteri anaerob yang akan digunakan pada bioreaktor hibrid anaerob. Pembibitan dan aklimatisasi bibit bakteri anaerob dilakukan selama 20 hari

Tahap Pembibitan dan aklimatisasi bakteri anaerob dilakukan dengan cara mencampurkan lumpur biomassa dari kolam pengolah limbah cair pabrik tersebut dengan isolat bakteri anaerob yang berasal dari kotoran sapi ke dalam tangki aklimatisasi sehingga diperoleh volume bibit anaerob (*seeding*) sebanyak 2 m^3 . Proses pembibitan ini dilakukan di laboratorium rekayasa bioproses Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Riau. Selanjutnya dilakukan proses aklimatisasi bakteri anaerob terhadap limbah cair pabrik kelapa sawit. Proses ini akan dilakukan di Pabrik kelapa sawit Sei Pagar PTPN V.

4. Proses Start-up Bioreaktor Hibrid Anaerob

Tahap *start-up* bioreaktor ditujukan untuk menghasilkan biomassa dalam jumlah yang cukup dan memberikan kesempatan biomassa untuk dapat beradaptasi dengan limbah cair yang akan diolah. Keluarannya adalah diperoleh biomassa yang mampu mendegradasi limbah cair pabrik kelapa sawit .

Start-up dilakukan dengan memasukkan lumpur bibit ke tiap ruang berpenyekat sebanyak 1,5 m³ pada ruang sekat pertama dan kedua serta 9,5 m³ pada ruang sekat ketiga. Kemudian dibiarkan selama 3 hari untuk mengendapkan lumpur pada setiap ruang berpenyekat (Boopathy dan Sievers, 1991). Setelah itu, diumpankan limbah cair pabrik kelapa sawit dengan laju alir 3,125 m³/hari dan ini dianggap sebagai awal proses *start-up* bioreaktor. Pada tahap *start-up* bioreaktor dilakukan pemberian beban secara bertahap Kondisi operasi *start-up* pada suhu ruang. Teknik *start-up* yang dipilih adalah metoda *batch* dan dibantu dengan resirkulasi dari ruang berpenyekat terakhir ke ruang berpenyekat pertama. Proses *start-up* berlangsung hingga tercapai keadaan tunak (*steady state*) dengan fluktuasi efisiensi penyisihan COD sekitar 10 %.

5. Proses Pengoperasian Bioreaktor Hibrid Anaerob

Tahap pengoperasian bioreaktor dilakukan pada waktu tinggal 1 hari. Keluarannya adalah diperoleh kondisi tunak bioreaktor yang mampu mendegradasi limbah cair pabrik kelapa sawit dan menghasilkan biogas.

Tahap ini dilakukan dengan mengalirkan limbah cair pabrik kelapa sawit ke dalam bioreaktor dengan laju alir 12,5 m³ per hari secara kontinu. Proses pengoperasian berlangsung hingga tercapai keadaan tunak (*steady state*) dengan fluktuasi efisiensi penyisihan COD sekitar 10 % dengan laju alir biogas yang konstan.

5.3 Indikator Keberhasilan Penelitian

Indikator keberhasilan merupakan aktualisasi dari luaran yang telah dikemukakan sebelumnya. Indikator keberhasilan pada tahun 2012 diuraikan sebagai berikut,

Tabel V.3 Indikator Capaian Penelitian Tahun Pertama

No.	Indikator	Capaian Target 2012			
		Bulan			
		06	08	10	12
1.	Identifikasi dan karakterisasi limbah cair pabrik kelapa sawit	Ya	-	-	-
2.	Rancangbangun Bioreaktor Hibrid Anaerob	Ya	-	-	-
3.	Pembibitan dan Aklimatisasi bakteri anaerob	Ya	-	-	-
4.	Start-up dan Operasional Bioreaktor	-	Ya	-	-
5.	Kondisi Tunak (<i>steady state</i>) Bioreaktor	-	Ya	-	-
6.	Produksi Biogas	-	Ya	Ya	Ya
7.	Peningkatan Laju Alir Biogas	-	-	Ya	Ya
8.	<i>Pengoperasian Pembangkit Biogas</i>	-	-	Ya	Ya
9.	Publikasi/deseminasi	-	Ya	-	Ya
10.	HKI (didaftarkan/diproses)	-	-	Ya	Ya

BAB VI

HASIL DAN PEMBAHASAN

Rencana tahapan penelitian yang telah dilakukan dalam tahap ini ditekankan pada karakteristik limbah cair, rancang bangun bioreaktor, pembibitan dan aklimatisasi bakteri anaerob. Hasil yang diperoleh diuraikan sebagai berikut,

6.1 Tahap Karakteristik Limbah Cair

Pada tahap karakterisasi limbah cair pabrik kelapa sawit menyangkut karakteristik parameter pencemar yang terkandung di dalam limbah cair tersebut. Parameter yang ditinjau antara lain suhu, pH, asam lemak volatil, alkalinitas, COD, padatan total (TS), padatan tersuspensi total (TSS), padatan volatil tersuspensi total (TVS) dan padatan tersuspensi volatil total (VSS). Hasil tahap ini selengkapnya disajikan pada Tabel VI.1.

Tabel VI.1. Karakteristik limbah cair pabrik kelapa sawit Sei Pagar PTPN V Riau

PARAMETER	SATUAN	BESARAN
pH	-	5,6
Asam Lemak Volatil	mg/L	250,8
Alkalinitas	mg/L	114
Padatan Total (TS)	mg/L	7.100
Padatan Tersuspensi Total (TSS)	mg/L	7.000
Padatan Volatil Tersuspensi (TVS)	mg/L	3.530
Padatan Tersuspensi Volatil (VSS)	mg/L	1.700
COD total	mg/L	50.000

Tabel VI.1 menunjukkan bahwa limbah cair pabrik kelapa sawit tersebut di atas mempunyai kandungan organik yang tinggi dan bersifat asam yang melebihi baku mutu lingkungan yang ditetapkan oleh KepMENLH No. 51 Tahun 1995. Berdasarkan kandungan senyawa organik tersebut maka proses biokonversi yang sesuai adalah proses anaerob. Menurut Malina dan Pohland (1992) bahwa limbah cair yang mengandung COD

di atas 3000 mg/L lebih baik diolah secara anaerob dibandingkan dengan proses aerob. Hal ini disebabkan bahwa biokonversi limbah cair dengan kandungan COD di atas 3000 mg/L menggunakan proses aerob membutuhkan energi yang besar untuk proses aerasi.

6.2 Tahap Pembibitan dan Aklimatisasi Bakteri Anaerob

Tahap Pembibitan dan aklimatisasi bakteri anaerob dilakukan dengan cara mencampurkan lumpur biomassa dari kolam pengolah limbah cair pabrik tersebut dengan isolat bakteri anaerob yang berasal dari kotoran sapi ke dalam tangki aklimatisasi sehingga diperoleh volume bibit anaerob (*seeding*) sebanyak 2 m³. Proses pembibitan ini dilakukan di laboratorium rekayasa bioproses Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Riau. Selanjutnya dilakukan proses aklimatisasi bakteri anaerob terhadap limbah cair pabrik kelapa sawit. Proses ini akan dilakukan di Pabrik kelapa sawit. Hasil tahap ini selengkapnya disajikan pada Gambar VI.1.



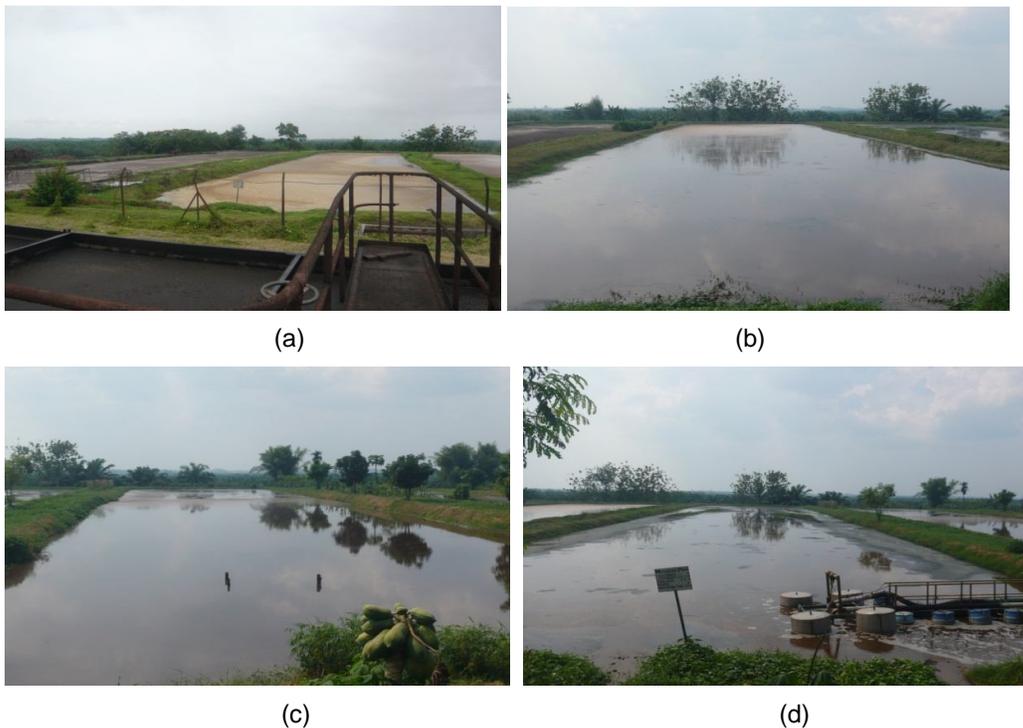
Gambar VI.1 Tangki pembibitan bakteri anaerob

Proses pembibitan tersebut di atas bertujuan untuk mengisolat bakteri anaerob dari kotoran sapi karena pada rumen sapi sangat banyak diperoleh komunitas bakteri anaerob. Menurut Ahmad (2001) bahwa bakteri anaerob yang berasal dari kotoran sapi diaklimatisasi dengan berbagai substrat diperoleh berbagai konsorsium bakteri anaerob yaitu biomassa yang berasal dari pencerna anaerob yang mengandung *Clostridium sp1*, *C.*

butyricum dan *C. sporogenes*, kemudian diberi substrat karbohidrat ditemukan *Clostridium sp*, *C. cochlearium* dan *C. carnis*. Aklimatisasi dengan substrat protein ditemukan hanya *C. butyricum* dan aklimatisasi dengan substrat minyak-lemak ditemukan *C. cochlearium* dan *C. celatum* sedangkan aklimatisasi dengan campuran ketiga substrat ditemukan hanya *C. butyricum*. Sementara itu, biomassa yang berasal dari pembangkit biogas berpenyekat anaerob ditemui *Clostridium sp2*, *C. limosum* dan *C. cochlearium*, kemudian diberi substrat karbohidrat ditemukan hanya *C. leptum*, dengan substrat protein ditemukan hanya *C. leptum*, dengan substrat minyak-lemak ditemukan *C. leptum* dan *C. pseudoteticum* sedangkan dengan campuran ketiga substrat ditemukan hanya *C. cochlearium*.

6.3 Kondisi Pengolahan Limbah Cair Saat Ini

Tahap ini adalah analisis mengenai pengolahan limbah saat ini di pabrik kelapa sawit. Kondisi lapangan proses pengolahan limbah cair tersebut ditampilkan pada Gambar VI.2.



Gambar VI.2 Kolam Anerobik; (a) Kolam deolisasi; ((b) kolam pengasaman; (c) kolam metanogenik; (d) kolam aerasi

Gambar VI.2 menunjukkan bahwa pengolahan limbah cair di pabrik kelapa sawit dilakukan dengan kolam terbuka. Waktu tinggal hidraulik yang digunakan sebesar 212 hari sehingga untuk mengolah limbah cair dengan debit $330 \text{ m}^3/\text{hari}$ membutuhkan kolam sebanyak 10 kolam dengan ukuran panjang 50 m, lebar 10 m dan kedalaman 3 meter. Kolam terbuka tersebut akan menghasilkan gas metan dan karbon dioksida yang dilepas ke atmosfer sehingga dapat menyebabkan pemanasan global karena efek rumah kaca gas metan 21 kali lebih besar dari karbon dioksida. Di samping itu, gas metan sangat potensial dikonversi menjadi energi listrik. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya terobosan teknologi baru untuk menyelesaikan masalah pencemaran tersebut dan memanfaatkan gas metan sebagai energi baru dan terbarukan.

6.4 Tahap Rancangbangun Bioreaktor Hibrid Anaerob

Pada tahap ini dimulai dengan menyusun peralatan bioreaktor hibrid anaerob. Pada dasarnya, rangkaian peralatan terdiri dari bioreaktor anaerob dan media padat sebagai media imobilisasi sel. Bioreaktor anaerob terbuat dari *fiber* berupa persegi empat panjang yang mempunyai volume 40 m^3 . Bioreaktor tersebut mempunyai tiga ruang yang disekat dengan volume kerja efektif sebesar 25 m^3 . Hasil tahap ini selengkapnya disajikan pada Gambar VI.3.



(a)



(b)



(c)



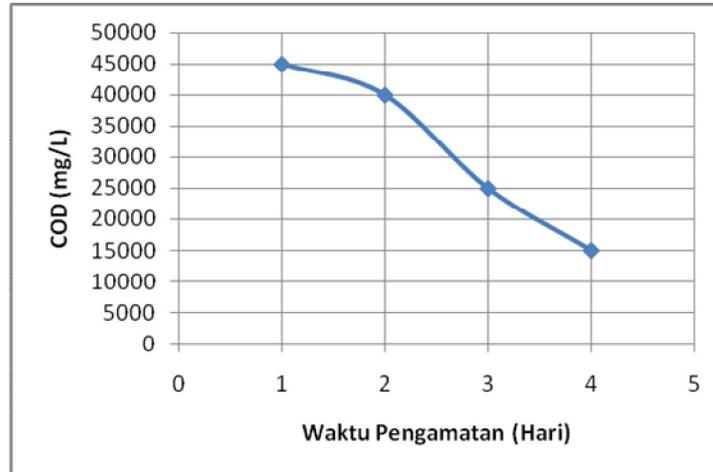
(d)

Gambar VI.3 Bioreaktor hibrid anaerob: (a) Prototipe; (b) Inlet; (c) Outlet; (d) Keluaran Biogas

Gambar VI.3 (a) hingga (d) menunjukkan bahwa sistem bioreaktor hibrid anaerob terdiri atas aliran inlet cairan limbah cair, aliran outlet cairan proses dan aliran keluar biogas. Waktu tinggal hidraulik yang digunakan sebesar 1 hari sehingga dapat mengolah limbah cair dengan debit $25 \text{ m}^3/\text{hari}$. Bioreaktor hibrid anaerob dalam kondisi kedap udara dan tertutup akan menghasilkan gas metan sehingga gas tersebut dapat digunakan sebagai bahan baku generator listrik.

6.5 Tahap Start-up Bioreaktor Hibrid Anaerob

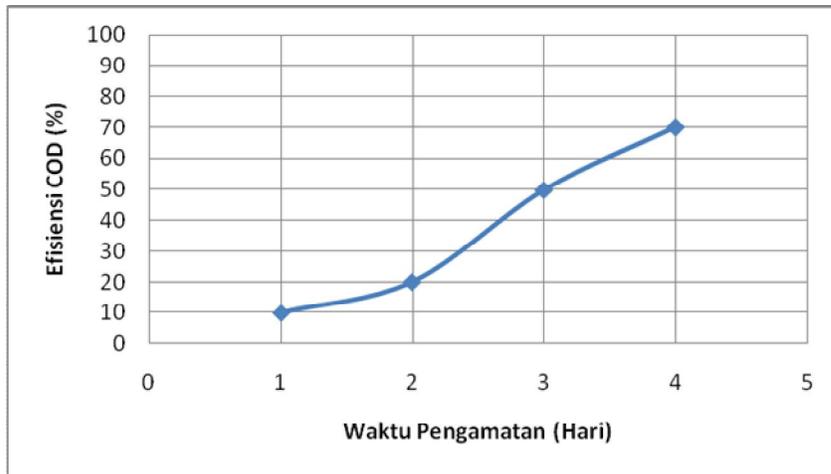
Tahap *start-up* bioreaktor dilakukan setelah proses pembibitan dan aklimatisasi selesai dilakukan. Proses *start-up* bioreaktor ini dilakukan di pabrik kelapa sawit Sei Pagar PTPN V. Hasil tahap ini selengkapnya disajikan pada Gambar VI.4.



Gambar VI.4 Profil COD selama proses *start-up* bioreaktor

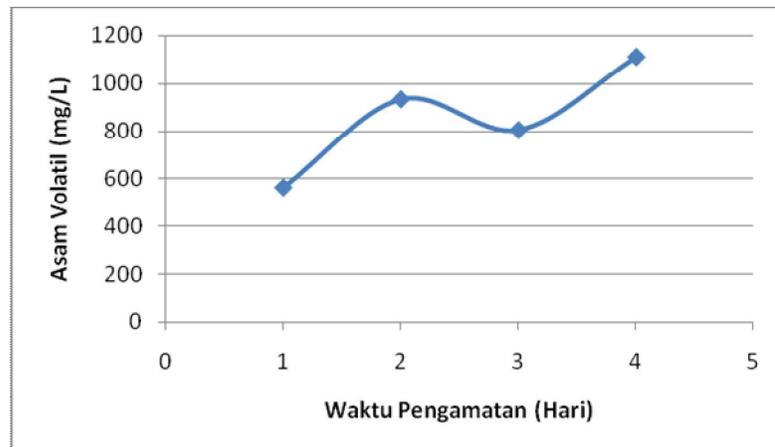
Gambar VI.4 menunjukkan bahwa kondisi *start-up* yang dilakukan selama 4 hari telah mampu menurunkan COD. Hasil ini menunjukkan bahwa mikroorganisme anaerob telah mampu mendegradasi senyawa-senyawa organik yang terdapat di dalam limbah cair pabrik kelapa sawit menjadi gas metan dan CO₂ sehingga nilai COD menjadi rendah sebesar 15000 mg/L.

Di samping itu, kemampuan mikroorganisme anaerob mendegradasi senyawa-senyawa organik dapat diekspresikan dengan efisiensi penyisihan COD. Efisiensi penyisihan COD tertinggi diperoleh sebesar 70 %. Besaran efisiensi penyisihan COD selama proses *start-up* ditampilkan pada Gambar VI.5. Menurut Malina dan Pohland (1992) bahwa bioreaktor anaerob yang mempunyai efisiensi penyisihan diatas 60% merupakan sistem yang mampu mendegradasi komponen organik dengan baik. Efisiensi penyisihan pada penelitian ini relatif lebih tinggi dibandingkan dengan efisiensi penyisihan yang diperoleh oleh Ahmad, dkk. (2009) yakni sebesar 84 % dengan sistem bioreaktor yang sama, namun menggunakan media imobilisasi sel pelepah sawit dan lebih rendah dibandingkan dengan sistem bioreaktor yang menggunakan media imobilisasi sel tandan kosong sawit (Ahmad, dkk. 2010).

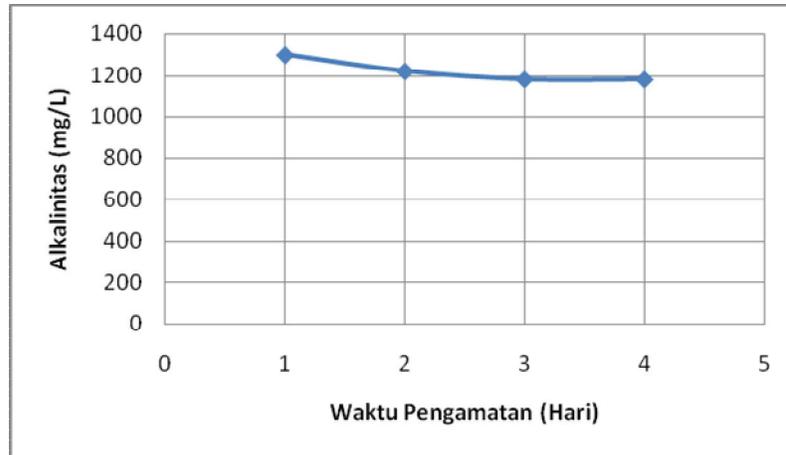


Gambar VI.5 Profil Efisiensi penyisihan COD selama proses *start-up* bioreaktor

Sementara itu, kestabilan sistem dapat ditunjukkan oleh besaran asam lemak volatil dan alkalinitas. Gambar VI.6 menunjukkan bahwa pada kondisi *start-up* diperoleh asam lemak volatil sebesar 1110 mg/L, sedangkan Gambar VI.7 menunjukkan bahwa alkalinitas diperoleh sebesar 1180 mg/L. Menurut Benefield dan Randall (1980) bahwa asam lemak volatil yang optimum berkisar dari 50 hingga 500 mg/L dan alkalinitas optimum sebesar 2000 hingga 3000 mg/L. Kondisi tersebut belum tercapai karena sistem berlangsung dalam kondisi transien menuju kondisi stabil selama proses *start-up* hingga tercapai kondisi tunask (*steady state*).

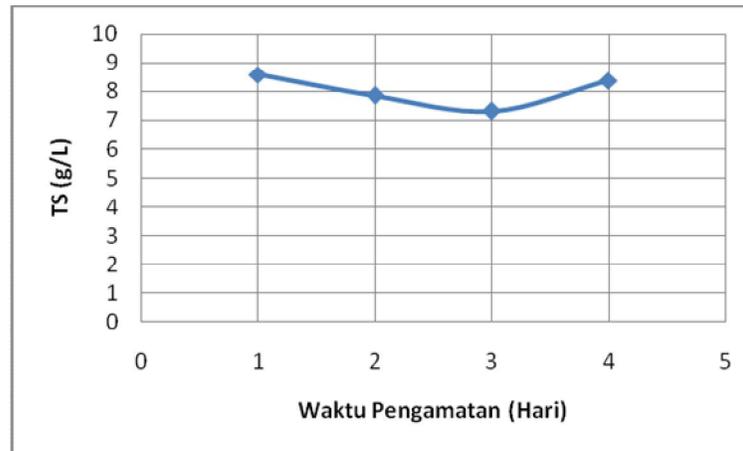


Gambar VI.6 Profil konsentrasi asam lemak volatil selama proses *start-up* bioreaktor

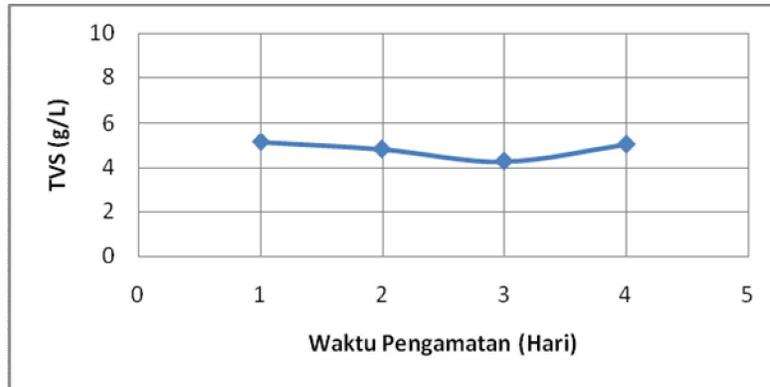


Gambar VI.7 Profil konsentrasi alkalinitas selama proses *start-up* bioreaktor

Hal yang menarik dicermati adalah konsentrasi padatan total pada Gambar VI.8. Gambar tersebut menunjukkan bahwa padatan total (TS: *total solid*) pada kondisi *start-up* diperoleh sebesar 8,4 g/L, sedangkan padatan volatil total (TVS: *total volatile solid*) pada Gambar VI.9 diperoleh sebesar 5,0 g/L. Hal ini menunjukkan bahwa padatan tersebut sebagian besar terdiri dari bahan organik yang mudah diuraikan sebesar 60 %. Sementara itu, padatan tersuspensi (TSS: *total suspended solid*) pada Gambar VI.10 diperoleh sebesar 1,9 g/L, sedangkan padatan volatil tersuspensi (VSS: *volatile suspended solid*) pada Gambar VI.11 diperoleh sebesar 1,8 g/L.



Gambar VI.8 Profil konsentrasi padatan total (TS) selama proses *start-up* bioreaktor



Gambar VI.9 Profil konsentrasi padatan volatil total (TVS) selama proses *start-up* bioreaktor



Gambar VI.10 Profil konsentrasi padatan tersuspensi total (TSS) selama proses *start-up* bioreaktor



Gambar VI.11 Profil konsentrasi padatan volatil tersuspensi (VSS) selama proses *start-up* bioreaktor

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Proses aklimatisasi bakteri anaerob dengan limbah cair pabrik kelapa sawit berlangsung selama 20 hari. Bibit bakteri tersebut digunakan sebagai inokulum (*starter*) pada bioreaktor hibrid anaerob.
2. Waktu tinggal hidraulik pada instalasi pengolah limbah cair saat ini sebesar 212 hari sehingga membutuhkan 10 kolam anaerob yang terbuka.
3. Waktu start-up bioreaktor berlangsung selama 4 hari dengan kualitas efluen sebesar 15000 mgCOD/L dan efisiensi tertinggi selama proses *start-up* bioreaktor diperoleh sebesar 70 % dengan waktu tinggal hidraulik sebesar 5 hari.

7.2 Saran

Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan dengan mengkaji lebih mendalam mengenai pengoperasian bioreaktor secara kontinu pada waktu tinggal hidraulik 1 hari, peningkatan produksi biogas yang maksimal, mengkaji kebutuhan pasokan biogas untuk generator listrik, dan mengkaji metoda purifikasi gas metan di dalam campuran biogas. Di samping itu, penting juga dikaji lebih lanjut uji kinerja dan penerapan sistem bioreaktor hibrid anaerob sebagai pembangkit biogas untuk menghasilkan listrik skala panel.