

TEKNOLOGI

LAPORAN PENELITIAN HIBAH BERSAING



**KARAKTERISASI PROSES ANAEROBIK PEROMBAK
SUBSTRAT MULTI-KARBON DENGAN TEKNOLOGI
SEL TERIMOBILIASI UASB**

Oleh:

Joni Agustian, ST. MSc.
Panca Nugrahini, ST. MT
Lilis Hermida, ST. PG. Dipl.

Dibiayai DIPA Tahun Anggaran 2007
Nomor : 028/SP2H/PP/DP2M/III/2007 Tanggal : Maret 2007
Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi
Departement Pendidikan Nasional

UNIVERSITAS LAMPUNG
NOVEMBER, 2007

**HALAMAN PENGESAHAN
LAPORAN PENELITIAN HIBAH BERSAING**

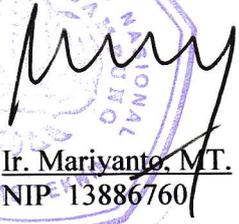
1. Judul Penelitian : Karakterisasi proses anaerobik perombak substrat multi-karbon dengan teknologi sel terimobilisasi UASB
2. Ketua Peneliti
- a. Nama Lengkap dan Gelar : Joni Agustian, ST. MSc.
 - b. Jenis Kelamin : Laki-laki
 - c. Golongan Pangkat dan NIP : 3c / 132205962
 - d. Jabatan Fungsional : Lektor
 - e. Jabatan Struktural : -
 - f. Bidang keahlian : Bioreactor System
 - g. Fakultas/Jurusan : Teknik / Teknik Kimia
 - h. Perguruan Tinggi : Universitas Lampung
 - i. Tim Peneliti :

No	Nama dan Gelar Akademik	Bidang Keahlian	Fakultas/Jurusan	Perguruan Tinggi
1	Panca Nugrahini, ST., MT	Bioteknologi	Teknik/Teknik kimia	Universitas Lampung
2	Lilis Hermida, ST. PG. Dipl.	Teknologi Lingkungan	Teknik/Teknik kimia	Universitas Lampung

3. Pendanaan dan jangka waktu penelitian
- a. Jangka waktu yang diusulkan : 2 tahun
 - b. Biaya total yang diusulkan : Rp. 89.140.000,-
 - c. Biaya yang disetujui tahun 2007 : Rp. 46.610.000,-

Bandar Lampung, 15 November 2007
Ketua Peneliti

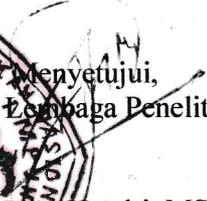
Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik Unila



Ir. Mariyanto, MT.
NIP 13886760



Joni Agustian, ST. MSc.
NIP 132205962



Menyetujui,
Ketua Lembaga Penelitian
Ir. Johan Hendri, MSi.
NIP 131692050



A

LAPORAN
HASIL
PENELITIAN

SUMMARY

Pengolahan limbah cair secara biologi anaerobik dengan umpan campuran limbah cair dari industri tapioka, industri gula dan pabrik pengolahan minyak kelapa sawit merupakan proses pengolahan dengan prospek yang baik. Kandungan senyawa karbon dalam limbah cair ketiga industri tersebut cukup tinggi, sehingga dapat digunakan untuk membangkitkan biogas metan yang dapat digunakan sebagai sumber energi. Umpan yang terdiri atas campuran limbah cair ketiga industri dengan perbandingan tertentu diolah dengan teknologi proses anaerobik sel terimobilisasi UASB. Reaktor UASB merupakan tipe reaktor yang mampu bekerja pada tingkat beban organik yang tinggi. Oleh karena itu kandungan COD yang besar yang ada dalam limbah cair akan dapat diolah dengan baik. Penelitian ini menggunakan reaktor UASB skala laboratorium. Variasi konsentrasi COD dengan beban maksimal 15.000 mg/L, waktu tinggal hidrolis cair 10-20 jam, kondisi pH dan nutrisi umpan yang alami dan terkontrol dievaluasi dalam penelitian.

Dalam eksperimen digunakan perbandingan volume 1:1:12 agar diperoleh kandungan COD campuran awal diatas 15.000 mg/L. Campuran ketiga jenis limbah cair pada penelitian ini menghasilkan limbah cair yang berwarna coklat keruh dengan pH sekitar 5. Reduksi kandungan COD limbah cair pada setiap kelompok eksperimen berada pada rentang yang cukup baik, yaitu sekitar 67,07%-82,52% pada laju beban organik 6-36 kgCOD/m³/hari. Kondisi pH-nutrisi alami menghasilkan tingkat reduksi COD yang lebih besar daripada kondisi limbah cair yang memiliki pH dan nutrisi terkendali. Jumlah gas yang diakumulasi berada pada rentang rata-rata 140-370 mL/jam. Pada kondisi pH 5,5-6,5 proses degradasi COD limbah cair campuran berjalan lebih maksimal daripada biodegradasi dengan kondisi pH yang cenderung asam atau mendekati 7. Proses biodegradasi dengan pH kontrol menghasilkan reduksi COD sebesar 42-92%, sedangkan reduksi COD pada kondisi pH alami adalah lebih tinggi (sekitar 61-97%). Jika dibandingkan kedua kondisi diatas dapat ditemui bahwa pH alami 5,5 dan pH kontrol 6,5 memiliki nilai yang lebih baik dari kelompok pH lainnya, dengan tingkat reduksi berada pada rentang 70-80%. Mayoritas nilai pH effluen berada pada nilai diatas 6,0, sehingga proses hidrolisis-fermentasi dan metanasi berjalan dengan kesetimbangan yang baik. Kandungan TSS yang diumpankan ke bioreaktor UASB adalah 553-6.350 mg/L, yang masih dapat diolah oleh bioreaktor UASB dengan tingkat efisiensi yang cukup tinggi pada saat kandungan TSS > 4.000 mg/L. Kandungan nitrogen dan posfor yang terdapat dalam limbah cair (nutrisi alami) cukup menunjang aktivitas mikroorganisme anaerobik dalam mereduksi kandungan COD limbah cair gabungan. Kesimpulan yang didapat adalah bioreaktor UASB dapat beroperasi dengan baik dalam mengolah limbah cair campuran dari tiga jenis industri tersebut.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
A. LAPORAN HASIL PENELITIAN	ii
RINGKASAN DAN SUMMARY	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Urgensi Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Karakteristik Limbah Cair Industri	5
2.2. Perombakan Biologi Anaerobik	7
2.3. Bioreaktor UASB	7
2.4. Hasil Yang Sudah Dicapai dan Studi Pendahuluan	12
BAB III TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	14
3.1. Tujuan Penelitian	14
3.2. Manfaat Penelitian	14
BAB IV METODE PENELITIAN	15
4.1. Desain Sistem Proses UASB	16
4.2. Analisis Awal Kondisi Limbah Cair	16
4.3. Karakterisasi Umpan	17
4.4. Lumpur Anaerobik Starter (Inokulum)	17
4.5. Reaktor Start-Up	17
4.6. Operasi Kontinyu Variasi Kondisi Operasi	17
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	19
5.1. Hasil Penelitian	19
5.2. Pembahasan	28
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	44
6.1. Kesimpulan	44
6.2. Saran	46
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN	50
B. DRAFT ARTIKEL ILMIAH	54
C. SINOPSIS PENELITIAN LANJUTAN	78

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Karakteristik limbah cair tapioka dan standar ambang batasnya	5
Tabel 2.2.	Perbandingan karakteristik limbah cair beberapa industri gula	6
Tabel 2.3.	Laporan analisis limbah cair PT. Gula Putih Mataram (GPM)	6
Tabel 2.4.	Karakteristik fisik dan kimia limbah cair industri kelapa sawit	7
Tabel 2.5.	Hasil penelitian terdahulu degradasi limbah cair industri	12
Tabel 5.1.	Data pengukuran awal sampel limbah industri	19
Tabel 5.2.	Hasil pengamatan run I	20
Tabel 5.3.	Hasil pengamatan run II	21
Tabel 5.4.	Hasil pengamatan run III	21
Tabel 5.5.	Hasil pengamatan run IV	22
Tabel 5.6.	Hasil observasi run V	23
Tabel 5.7.	Hasil pengamatan run VI	23
Tabel 5.8.	Hasil pengamatan run VII	24
Tabel 5.9.	Hasil pengamatan run VIII	25
Tabel 5.10.	Hasil pengamatan run IX	25
Tabel 5.11.	Hasil pengamatan run X	26
Tabel 5.12.	Hasil pengamatan run XI	27
Tabel 5.13.	Nilai rata-rata faktor pada setiap run (perlakuan).....	28
Tabel 5.14.	Karakteristik limbah cair gabungan (rasio volume = 1:1:1)	29

DAFTAR GAMBAR

Gambar 4.1.	Diagram alir tatalaksana penelitian	15
Gambar 4.2.	Susunan rangkaian sistem UASB	16
Gambar 5.1.	Kondisi limbah yang dipergunakan air	20
Gambar 5.2.	Perbandingan mutu effluen pada run I	20
Gambar 5.3.	Perbandingan mutu effluen run II	21
Gambar 5.4.	Perbandingan mutu effluen run III	22
Gambar 5.5.	Perbandingan mutu effluen run IV	22
Gambar 5.6.	Perbandingan mutu effluen run V	23
Gambar 5.7.	Perbandingan mutu effluen run VI	24
Gambar 5.8.	Perbandingan mutu effluen run VII	24
Gambar 5.9.	Perbandingan mutu effluen run VIII	25
Gambar 5.10.	Perbandingan mutu effluen run IX	26
Gambar 5.11.	Perbandingan mutu effluen run X	26
Gambar 5.12.	Perbandingan mutu effluen run XI	27
Gambar 5.13.	Lumpur anaerobik asal pengolahan limbah cair pabrik CPO	30
Gambar 5.14.	Analisis reduksi COD selama fase start-up	30
Gambar 5.15.	Perbandingan kondisi limbah cair pada fase start-up	31
Gambar 5.16.	Perubahan nilai COD limbah cair selama proses biodegradasi	32
Gambar 5.17.	Profil reduksi COD limbah cair pada beragam laju beban	33
Gambar 5.18.	Laju beban organik versus reduksi COD pada pH-nutrisi alami	34
Gambar 5.19.	Laju beban organik versus reduksi COD pada kontrol pH-nutrisi ..	35
Gambar 5.20.	Kondisi reduksi COD terhadap pembentukan gas	36
Gambar 5.21.	Kondisi hubungan variasi OLR terhadap pembentukan gas	37
Gambar 5.22.	Kondisi reduksi COD terhadap variasi pH keseluruhan	38
Gambar 5.23.	Perbandingan kondisi pH terhadap reduksi COD	38
Gambar 5.24.	Perubahan pH effluen akibat pengaruh laju beban organik	39
Gambar 5.25.	Hubungan kandungan TSS Influen-Effluen dengan	40
Gambar 5.26.	Tingkat kekeruhan influen-effluen	40
Gambar 5.27.	Hubungan TSS dengan reduksi COD	41
Gambar 5.28.	Profil kandungan nitrogen dan posfor	42

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Keberadaan industri gula tebu, tepung tapioka dan *crude palm oil* (CPO) telah meningkatkan pendapatan dan penyediaan lapangan kerja di propinsi Lampung. Tetapi proses produksi ketiga jenis industri ini menghasilkan limbah cair dalam jumlah besar dengan konsentrasi COD dan BOD yang tinggi, sehingga harus diolah sebelum dialirkan ke pembuangan akhir (lingkungan badan air) agar ramah lingkungan.

Instalasi pengolahan air limbah (IPAL) ketiga jenis industri tersebut bersifat *open-circuit on-factory* dimana limbah cair diolah dalam kolam-kolam terbuka (*lagoon/pond*) yang berlokasi di area pabrik secara anaerobik/anaerobik fakultatif untuk waktu tinggal yang cukup lama. Sistem proses biologi konvensional tersebut efektif menyisahkan kandungan karbon, nitrogen dan fosfor limbah cair.

Proses *open-circuit* tersebut sering menimbulkan masalah seperti bau busuk dan kebutuhan area kolam pengolahan yang relatif luas. Lebih dari itu, karena bersifat anaerobik, terjadi pelepasan gas metana (CH_4) ke udara terbuka sehingga dapat mencemari lapisan atmosfer. Oleh karena itu sangat dibutuhkan penerapan pengolahan limbah cair yang bersifat *closed-circuit* seperti teknologi proses berbasis reaktor UASB yang telah banyak dipakai didunia (Pol dkk, 1998; van Lier, 2006).

Penerapan pengolahan limbah cair secara *on-factory* didasarkan atas kewajiban pabrik untuk mengolah buangan/ limbah yang dihasilkan. Hal tersebut mengakibatkan pihak pabrik harus menyediakan pembiayaan investasi dan pengoperasian unit IPAL. Sistem *pond/lagoon* tersebut digunakan pihak industri dengan pertimbangan faktor biaya pengolahan yang relatif rendah dibandingkan metode pengolahan lainnya (Metcalf dan Eddy, 1991) dan unit IPAL menghasilkan produk yang tidak dapat dijual. Dengan beban pengeluaran tersebut, harga jual produk pabrik menjadi lebih tinggi. Agar proses produksi pabrik memiliki biaya yang relatif rendah dan pihak pabrik dapat lepas dari beban mutu limbah cair, salah satu cara adalah mengubah karakter IPAL dari *on-factory* menjadi *off-factory*. Hal tersebut sangat menguntungkan pihak pabrik. Lebih dari itu, lahan/area untuk unit IPAL dapat dikonversi ke lahan perkebunan, sehingga produksi dapat bertambah.

Berdasarkan uraian diatas, maka diusulkan penelitian tentang karakterisasi proses anaerobik perombak substrat multi-karbon dengan teknologi sel terimobilisasi UASB

(*upflow anaerobik sludge blanket*) untuk mengkaji pengembangan IPAL *closed-circuit* yang mengolah limbah cair dari industri-industri tersebut (*off-factory*).

1.2. Urgensi Penelitian

Industri gula tebu, tepung tapioka dan pabrik pengolahan minyak kelapa sawit menghasilkan limbah cair dengan konsentrasi karbon masing-masing sebesar ± 4.000 mg-COD/L (Litbang PT. GPM, 1999), ± 30.000 mg-COD/L (Amri, 1999) dan 50.000 mg-COD/L (Ahmad dkk, 2003). Secara kuantitas, proses produksi ketiga jenis industri tersebut menghasilkan limbah cair dalam jumlah besar, yaitu: pengolahan 1 ton singkong menjadi tepung tapioka menghasilkan sekitar $4.000-6.000$ liter air (Djarwati dkk, 1993), produksi 1 ton minyak sawit mengeluarkan limbah cair sekitar $2.500-3.500$ liter (Ahmad dkk, 2003) dan pengolahan 1 ton tebu per hari menghasilkan limbah cair sebesar $0,5$ m³/hari (Mintati, 2002). Dengan kualitas dan kuantitas tersebut, ketiga industri ini sangat berpotensi mencemari lingkungan jika tidak dilakukan pengolahan kandungan polutan air limbah terlebih dahulu.

Sistem pengolahan limbah cair *lagoon/pond* anaerobik terbuka yang diterapkan oleh ketiga industri tersebut akan merombak kandungan polutan karbon dan nitrogen menjadi gas metan, karbon dioksida, amoniak, hidrogen sulfida dan senyawa lainnya oleh mikroorganisme anaerobik (Kiely, 1997). Gas-gas tersebut kemudian terdispersi ke atmosfer/udara terbuka secara alami.

Permasalahan yang timbul dengan cara pengolahan konvensional tersebut adalah emisi gas metan (CH₄) ke lingkungan. Gas metan diidentifikasi sebagai salah satu zat yang dapat menimbulkan efek rumah kaca (*a potent greenhouse gas/GHG*). Gas tersebut memiliki potensi pemanasan global (*global warming potential*) 21 kali lebih besar daripada gas karbon dioksida (Chairasert dkk, 2003). Oleh karena itu, sistem pengolahan *lagoon/pond* anaerobik terbuka disepakati untuk dilarang secara global oleh negara-negara industri maju lewat perjanjian Protokol Kyoto. Dengan kesepakatan tersebut, setiap industri terutama industri yang berorientasi ekspor harus memiliki sertifikasi bahwa proses pengolahannya telah bebas emisi gas rumah kaca (*certified emission reduction*), yang di Indonesia mulai diberlakukan diantara tahun 2008-2012 (Salim, 2001).

Selain gas metan, dispersi produk gas lainnya ke lingkungan terbuka berpotensi meningkatkan polusi. Gas amoniak dan hidrogen sulfida yang dilepas menimbulkan

bau busuk yang dapat mengganggu masyarakat sekitar industri karena dapat mengakibatkan sesak nafas.

Disamping gas rumah kaca dan bau busuk yang dihasilkan, proses konvensional tersebut membutuhkan beberapa kolam berukuran besar. Jumlah limbah cair yang besar harus diolah secara efektif dan efisien dalam jangka waktu yang cukup lama. Untuk mengakomodasi hal tersebut, maka disediakan kolam-kolam penampungan “raksasa” dalam jumlah cukup banyak. Kebutuhan kolam yang banyak dan besar membutuhkan lahan yang luas (Cohen, 2005).

Gas metan yang dihasilkan dari proses pengolahan limbah cair pabrik-pabrik tersebut dapat dijadikan sebagai sumber bahan bakar alternatif. Dewasa ini penggunaan energi dalam jumlah yang besar mengakibatkan kuantitas sumber-sumber energi konvensional (minyak bumi dan batu bara) mengalami penurunan yang sangat drastis. Berbagai alternatif sumber energi pengganti telah dikaji dengan mendalam. Karena dihasilkan biogas yang dapat diperbaharui dari sistem pengolahan anaerobik, limbah cair dipandang sebagai salah satu bahan yang dapat menyediakan sumber energi terbarukan (Chaiprasert dkk, 2003).

Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa berkembangnya industri berbasis perkebunan di propinsi Lampung memberikan keuntungan yang besar. Dilema yang sering dihadapi para investor adalah keharusan untuk mengolah limbah yang dihasilkan. Jadi, suatu pabrik harus memiliki unit pengolahan limbah yang baik agar mendapatkan izin pendirian dan pengoperasian pabrik. Tetapi pendirian dan pengoperasian unit IPAL menambah pembiayaan investasi dan operasi. Hal tersebut menjadi semakin rumit karena instalasi pengolahan air limbah identik dengan produksi yang tidak memberikan hasil atau dengan kata lain tidak ada keuntungan produksi dari pengolahan limbah cair (Mai dkk, 2002).

Di propinsi Lampung, dari 62 unit pabrik tapioka yang beroperasi, hanya 27 pabrik yang unit IPAL-nya mengolah limbah cair menjadi buangan yang sesuai dengan baku mutu limbah cair industri tapioka, sehingga pencemaran lingkungan oleh pembuangan limbah cair industri tapioka dengan mudah terjadi (Anonim, 1997). Sebagai contoh adalah sungai Pegadungan yang berlokasi di kabupaten Lampung Tengah airnya berwarna hitam dan berbau busuk (Sutikno dkk, 1999).

Perombakan sistem pengolahan konvensional yang mengemisi gas metan dapat dilakukan dengan penerapan sistem aerobik (*full aerobic*), tetapi proses aerobik tersebut membutuhkan aerasi dan menghasilkan lumpur dalam jumlah yang besar yang juga harus diolah lebih lanjut (Kiely, 1997), sehingga pembiayaan proses relatif tinggi. Alternatif lain adalah mengadopsi teknologi CIGAR (*covered in ground anaerobic reactor*) dengan mengisolasi kolam anaerobik dengan plastik, sehingga gas metan dapat diakumulasi (Plevin dan Donnelly, 2004). Tetapi proses CIGAR masih sangat baru. Proses evaporasi telah dikembangkan untuk pengolahan limbah cair pengolahan CPO (Ma, 2000), tetapi teknologi tersebut mengkonsumsi energi yang besar (Ahmad dkk, 2003). Demikian juga dengan teknologi membran (Wah dkk, 2002) yang cenderung mahal.

Alternatif lain yang dapat dilaksanakan adalah dengan mengolah ketiga jenis limbah cair tersebut dalam suatu unit IPAL khusus menggunakan teknologi proses sel terimobilisasi. Dengan cara tersebut, pihak industri hanya diwajibkan mengirim limbah ke kompleks IPAL khusus sehingga tidak akan terbebani biaya dan pengoperasian IPAL. Keuntungan yang akan diperoleh pihak pabrik adalah pembiayaan proses produksi pabrik dapat berkurang, sehingga harga jual produk pabrik ke masyarakat dapat diturunkan.

Teknologi proses anaerobik sel terimobilisasi merupakan proses anaerobik generasi kedua (Kiely, 1997). Proses moderen tersebut sangat beralasan untuk digunakan. Proses tersebut mampu mengolah limbah cair dengan kadar COD yang tinggi (Hien dkk, 1996; Kwong dan Fang, 1996; Lespito dan Rintala, 1997). Lebih dari itu, proses ini membutuhkan area yang tidak luas karena waktu tinggal limbah cair yang singkat didalam bioreaktor (Metcalf dan Eddy, 1991). Teknologi modern ini dapat menghimpun biogas yang dihasilkan, sehingga resiko polusi udara dapat berkurang dan biogas yang dihasilkan dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi (Chaiprasert dkk, 2003). Dari sudut pandang efektivitas pembiayaan dan sustainabilitas proses, pengolahan anaerobik berbasis teknologi reaktor UASB memiliki lebih banyak pemakaian (Pol dkk, 1998 ; van Lier, 2006).

Berdasarkan uraian diatas, adalah penting untuk mengkaji pengembangan sistem IPAL khusus dengan teknologi sel terimobilisasi UASB, sehingga upaya untuk mewujudkan suatu industri dengan prinsip *wastewater treatment, energy generation and water preparation* suatu saat dapat diterapkan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Karakteristik Limbah Cair Industri

2.1.1. Karakteristik Limbah Cair Industri Tapioka

Dalam proses produksi tepung tapioka, pabrik menggunakan air dalam jumlah besar. Air yang telah dipakai tersebut dikeluarkan kembali dalam bentuk limbah cair industri tapioka (LCIT) yang umumnya berasal dari unit proses pencucian singkong dan pengendapan pati (Amri, 1999). Dari setiap ton produk yang dihasilkan, industri tapioka membuang limbah cair sekitar 4.000-6.000 liter (Djarwati dkk, 1993). Oleh karena itu, masalah yang sering timbul adalah kuantitas LCIT yang besar.

Secara umum, LCIT kaya zat-zat organik, tetapi kandungan nitrogen dan fosfor relatif rendah (Quang, 1986; Annachhatre dan Amatya, 2000). Limbah tersebut memiliki kadar karbohidrat sekitar 22.614–29.275 mg/L, sehingga mempermudah mikroorganisme dalam melakukan aktifitas baik secara anaerobik maupun aerobik (Amri, 1999). Beberapa karakteristik LCIT diuraikan dalam Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1. Karakteristik limbah cair tapioka dan standar ambang batasnya

Parameter	LCIT*		Ambang Batas Maksimum**
	Gabungan	Supernatan	
COD total	13.500-25.000 mg/L	12.500-24.550 mg/L	250 mg/L
COD filtered	10.440-24.500 mg/L	9.000-22.000 mg/L	
TSS	2.200-4.000 mg/L	540-1.280 mg/L	50 mg/L
PH	3,8-4,5	3,8-4,5	6,0-9,0
Kekeruhan	280 NTU	32 NTU	100 NTU

Sumber: * Annachhatre dan Amatya (2000) ;

** Keputusan Gubernur Lampung Nombor 104 Tahun 1999

LCIT mengandung padatan tersuspensi (*suspended solid*) sebesar 2.200–4.000 mg/L yang terdiri atas zat-zat organik sekitar 70% dan zat-zat anorganik yang tidak larut (*non-biodegradable*) sekitar 30% (White, 2000). LCIT memiliki pH yang rendah dan cenderung asam, yaitu sekitar 3,8-5,2 (Bengstone dan Tried, 1994). Rasio BOD₅/COD terlarut LCIT cukup tinggi, yaitu sekitar 0,6-0,8 (Jeganaesan dan Annachhatre, 2002), sedangkan total rasio BOD/COD dapat mencapai 0,88-0,92 (Mai dkk, 2002). Tingginya rasio tersebut mengindikasikan bahwa LCIT dapat dirombak secara biologi, sehingga sangat berbahaya jika dibuang ke lingkungan tanpa diolah.

2.1.2. Karakteristik Limbah Cair Industri Gula

Mintati (2002) menyimpulkan bahwa proses produksi gula tebu menghasilkan limbah cair dalam jumlah cukup besar, yaitu sekitar 0,5 m³ per ton tebu, yang berasal dari minyak pelumas, percikan *juice* gula, air panas ekses, sanitasi gilingan dan kondensat. Jika pabrik gula tebu beroperasi dengan kapasitas giling 10.000 ton tebu per hari, industri gula akan membuang 5.000 m³ limbah cair per hari, yang merupakan jumlah yang sangat besar.

Kandungan karbon dalam limbah cair industri gula cukup tinggi seperti diuraikan dalam Tabel 2.2 dan 2.3. Tetapi kandungan padatan cukup rendah, yaitu < 1.000 mg/L. Rasio BOD/COD LCIG juga cukup rendah, yaitu < 50%, tetapi proses degradasi alami masih tetap dapat terjadi, sehingga sangat berbahaya jika dibuang ke lingkungan tanpa diolah terlebih dahulu.

Tabel 2.2. Perbandingan Karakteristik Limbah Cair Beberapa Industri Gula

Uraian	pH	TSS ppm	Sulfida, S ₂ ppm	COD _{inlet} ppm	BOD _{inlet} ppm	Turbidity NTU
PT. GPM	9.78	806	0.029	16,985	8,490	220
PT. Bunga Mayang	11,5	600-1000	-	8000-10000	2000-4000	200-400

Sumber : BAPEDALDA Lampung, 2004, Hasil analisis terhadap pengolahan gula di Lampung
 Catatan: Metode Analisis:
 - PH : Electrometry
 - TSS : Photometric (HACH Spectrophotometer)
 - Sulfide, S-2 : Methylene Blue / Colorimetric Ref. Aquaquant Merek 14416
 - COD : Reaktor Digestion Colorimetric (HACH Spectrophotometer)
 - DO / BOD : HRDO (HACH Spectrophotometer) / DO meter ORION 835
 - OIL : Colorimetric Extraction (HACH Spectrophotometer)
 - Turbidity : Absorptometric (Turbiditymeter ORBECO – HELLIGE 965).

Tabel 2.3. Laporan Analisis Limbah Cair PT. Gula Putih Mataram (GPM)

Uraian	pH	TSS ppm	Sulfida, S ₂ ppm	COD ppm	BOD ppm	Oil ppm	Turbidity NTU
IPAL No 4 (Inlet)	9.78	806	0.029	16,985	8,490	0	220
IPAL No 22 (Outlet)	8.85	137	0.130	200	98	0	64
Standar Mutu LCIG	6 - 9	< 50	< 0,05	< 100	< 60	< 5	< 100

Sumber : BAPEDALDA Lampung, 2004, Hasil analisis terhadap pengolahan gula di Lampung
 Catatan, Metode Analisis: seperti diuraikan dalam Table 2.2

Karakteristik Limbah Cair Pabrik Pengolahan Kelapa Sawit

Total volume limbah cair yang dihasilkan oleh setiap pabrik pengolahan kelapa sawit (LCPPKS) dengan kapasitas 30 ton per hari adalah sekitar 600 m³ per hari (Said, 1996). Limbah cair tersebut memiliki kandungan zat organik yang tinggi seperti dipaparkan dalam Tabel 2.4. LCPPKS terdiri atas bahan organik dan beragam mineral. Kandungan BOD-nya sangat tinggi yang berkisar 20.000-60.000 mg/L dan pH diantara

4-5. Limbah cair tersebut mengandung padatan terlarut dan tersuspensi yang cukup besar dan emulsi minyak dalam air. Terdapat sejumlah unsur nutrisi dalam LCPPKS.

Tabel 2.4. Karakteristik fisik dan kimia limbah cair industri kelapa sawit

Parameter	Kuantitas	
	Lubis dan Tobing (1989)	Ahmad dkk (2003)
pH ; Suhu	4,0-4,6 ; 60-80°C	4,7 ; tidak ada data
Total Padatan	30.000-70.000 mg/L	40.500 mg/L
BOD	20.000-60.000 mg/L	25.000 mg/L
COD	40.000-120.000 mg/L	50.000 mg/L
Minyak	6.500-15.000 mg/L	4.000 mg/L
Total N	500-900 ppm	750 mg/L
Total P	90-140 ppm	tak ada data
Total Ca	260-400 ppm	tak ada data
Total K	1.000-2.000 ppm	tak ada data

2.2. Perombakan Biologi Anaerobik

Konversi biologi senyawa-senyawa organik dalam pengolahan limbah cair secara anaerobik akan mengubah material organik menjadi gas metan, ammonia dan H₂S serta air dan melepaskan energi panas. Proses anaerobik tersebut harus dipertahankan kondisi operasinya agar bakteri dapat bekerja dengan optimal. Stabilisasi senyawa organik akan efisien jika bakteri metanogenik dan non metanogenik dijaga dalam kondisi dinamis dengan menjaga reaktor bebas dari oksigen terlarut, senyawa logam berat (*heavy metal*) dan sulfida, dan pH pada rentang 6,5–7,6 (Metcalf dan Eddy, 1991). Alkalinitas dalam rentang 1.000–5.000 mg/l sangat baik untuk pertumbuhan bakteri, sedangkan kandungan asam lemak volatil (*volatile fatty acid*) harus kurang dari 250 mg/l. Parameter lain yang sangat penting bagi pertumbuhan bakteri adalah temperatur (Anh, 1998) dimana suhu optimum bakteri mesofilik sekitar 40°C (Amatya, 1996).

2.3. Bioreaktor UASB

Teknologi berbasis reaktor *upflow anaerobic sludge blanket* (UASB) sangat efektif dalam mengolah berbagai jenis limbah cair, seperti limbah cair industri makanan/minuman, pertanian, pulp/kertas, petrokimia dan farmasi (Fang dkk, 1995; Singh dkk, 1998). Reaktor UASB bergantung pada pengembangan konglomerat

mikroba anaerobik (Lettinga dkk, 1980). Faktor limbah cair, kondisi operasi reaktor dan jenis inokulum juga mempengaruhi keberhasilan operasinya (Wu dkk, 1987).

2.3.1. Deskripsi Proses

Pada bioreaktor UASB, limbah cair yang akan diolah dialirkan dari bagian bawah reaktor dan mengalir keatas melalui *sludge bed* berbentuk granular atau partikel yang merupakan kumpulan mikroorganisme. Kontak kontinyu limbah cair dengan mikroba yang terimmobilisasi (*self-immobilised*) di reaktor memicu perombakan anaerobik (Schmidt dan Ahring, 1996). Proses asidogenesis dan metanogenesis berlangsung disepanjang reaktor (Annachhatre dan Amatya, 2000). Effluen dan gas akan keluar dari bagian atas reaktor.

Selama degradasi anaerobik berlangsung, fluidisasi *sludge bed* dapat terjadi, yang disebabkan oleh aliran gas produk dan limbah cair. Aliran tersebut mengakibatkan mikroba terdistribusi ke bagian atas reaktor. Konglomerat mikroorganisme dengan daya serap tinggi akan balik ke *sludge bed*, tetapi mikroba terflokulasi dan terdispersi akan mengalir bersama effluen ke peralatan hilir.

2.3.2. Start-Up Reaktor

Start-Up reaktor merupakan waktu awal untuk mencapai reduksi COD yang stabil (Ghangrekar dkk, 1996). Proses ini memegang peran signifikan untuk kestabilan operasi UASB (Lettinga dkk, 1980). Strategi inisiasi yang tepat merupakan syarat utama, sehingga harus dilakukan dengan hati-hati (Singh dkk, 1998). Reduksi waktu *start-up*, tetapi kultivasi dan granulasi mikroba berlangsung dengan baik akan meningkatkan kapabilitas sistem UASB, sehingga proses kontinyu dengan beban tinggi dapat dijalankan dengan segera (Ghangrekar dkk, 1996). Faktor berpengaruh meliputi jenis, kualitas dan aktivitas sfesifik inokulum, faktor lingkungan dan operasi reaktor (Lettinga dkk, 1980; Wu dkk,1987; Ghangrekar dkk, 1996).

Sludge inokulum yang digunakan untuk *start-up* reaktor dapat berasal dari berbagai sumber. Inokulum terbaik adalah sludge yang mempunyai kandungan ion-ion kalsium dan mikroba filamen serta polisakarida yang tinggi, tetapi *capillary suction time* (CST) yang rendah (Adebowale, 1990). Kuantitas inokulum yang kecil (kurang dari 30 %) dapat mengakibatkan terbentuknya konglomerat yang rapuh terhadap pembebanan

mendadak (Adebowale, 1990; Fang dan Chui, 1993), namun jumlah inokulum yang besar cenderung mengarah pada penurunan ukuran konglomerat (Adebowale, 1990).

Peningkatan laju beban organik dilakukan secara bertahap setelah proses degradasi berlangsung stabil, yakni mencapai 80-90 % konversi influen (Lettinga dkk, 1980). Beberapa gas yang terbentuk dalam *sludge blanket* mengalir ke bagian atas reaktor dapat mengakibatkan *sludge blanket* terangkat dan rapuhnya konglomerat mikroba (Metcalf dan Eddy, 1991). Penambahan zat anti busa atau pendistribusian influen yang merata membantu membebaskan gas yang terjebak.

2.3.3. Lumpur Granular Terimobilisasi

Mekanisme granulasi dimulai ketika sel mikroba menempel pada permukaan sel lainnya atau bahan inert yang membentuk prekursor granular yang kemudian tumbuh menjadi lumpur mikroba granular (Schmidt dan Ahring, 1996 ; Pol dkk, 1982; Callander dan Barford, 1983). Konglomerat granular tersebut terbentuk pada kondisi laju alir konstan. Granular mikroba merupakan butiran padat biofilm dengan ukuran diameter partikel sekitar 0,5-2 mm, dan 1 gram granular kering dapat mengkatalisis konversi 0,5-1 gram COD metan/hari (Anh, 1998). Lumpur granular tersebut tahan terhadap aliran zat di dalam reaktor sehingga mampu digunakan untuk beban tinggi (Ghangrekar dkk, 1996).

Granulasi dan immobilisasi sel ditentukan oleh faktor kecepatan supervisial, keberadaan elemen anorganik, penghambatan hidrogen (Uemura dan Harada, 1995), pH, inhibisi sulfat, efek *shock loading* (Blaszczyk dkk, 1994), suplai nutrisi, jenis nutrisi, laju pertumbuhan granular, tahanan geser, produksi polimer ekstraseluler, generasi gas, presipitasi zat anorganik (Grotenhuis dkk, 1991), jenis inokulum dan partikel pendukung (Wiegant dan de Man, 1980).

2.3.4. Faktor-faktor yang mempengaruhi operasi reaktor UASB

2.3.4.1. Pengaruh Komposisi Limbah

Zat-zat yang ada didalam limbah cair didegradasi oleh mikroba dengan kecepatan yang berbeda. Mikroba anaerobik menguraikan karbohidrat dan protein dalam waktu kurang dari 1 hari, sedangkan asam lemak diuraikan dengan lambat dengan waktu sekitar 5 hari (Amatya, 1996). Dalam perkembangannya mikroorganisme akan memanfaatkan karbohidrat sebagai sumber energi (Amri, 1999).

Mikroorganisme juga membutuhkan garam-garam organik untuk mensintesis bahan-bahan pembangun sel. Kandungan nitrogen dan fosfor yang rendah menghambat pertumbuhan sel karena nitrogen dan fosfor merupakan nutrisi utama bagi mikroba untuk perkembangan sel (Singh dkk, 1999).

2.3.4.2. Temperatur

Kebanyakan proses pengolahan limbah biologi menggunakan rentang suhu *mesophilic* dan *thermophilic*. Namun, pada prakteknya proses operasi lebih banyak berada pada rentang *mesophilic*, hal ini didasarkan pada kenyataan bahwa kenaikan suhu hingga kondisi *thermophilic* tidak memberikan keuntungan signifikan dalam kinetika reaksi (Amatya, 1996).

2.3.4.3. pH dan Alkalinitas

Pada umumnya, bakteri *methanogenic* sangat sensitif terhadap perubahan pH. Bakteri sangat cocok tumbuh pada rentang pH antara 6,5-7,8, dan bakteri penghasil asam dapat bekerja optimum pada rentang pH 5-6, karena langkah pembentukan senyawa metan merupakan langkah laju batas pH harus dapat dijaga sekitar 7 (Amatya, 1996).

pH rendah akan menurunkan aktifitas mikroorganisme penghasil metan (Amatya, 1996), sedangkan bila pH terlalu tinggi akan mengakibatkan terjadinya perpindahan proton dari sel ke lingkungan, sehingga menurunkan aktifitas mikroorganisme. Pengaturan pH dapat dilakukan dengan penambahan senyawa soda kaustik (Fang dan Chui, 1993; Callander dkk, 1987), sodium karbonat atau zat kalsium hidroksida (Amatya, 1996).

2.3.4.4. Nutrisi

Berbagai komposisi dan kuantitas zat-zat nutrisi dan *trace element* dapat digunakan sebagai suplemen limbah cair industri dengan sistem bioreaktor UASB, karena belum ada formulasi yang tepat (Singh dkk, 1999). Tetapi hal ini tergantung jenis *sludge* inokulum atau karakteristik limbah cair yang akan diproses (Metcalf dan Eddy, 1991).

Nutrisi utama yang dibutuhkan mikroorganisme adalah nitrogen dan fosfat yang disuplai dalam bentuk senyawa garam (Singh dkk, 1999). Rasio COD:N:P = 300:5:1 seringkali digunakan untuk mencukupi kebutuhan mikroorganisme sebagai fungsi *organic load* (Amatya, 1996). Selain itu perlu ditambahkan nutrisi lain berupa

potassium, magnesium dan unsur-unsur lain seperti besi (Fe), mangan (Mn), seng (Zn), tembaga (Cu), kobalt (Co), nikel (Ni), molybdenum dan selenium yang kuantitasnya sekitar 1 mL/L (Amatya, 1996; Singh dkk, 1999).

2.3.4.5. Zat-zat toksik

Proses anaerobik dipengaruhi oleh keberadaan zat-zat toksik, seperti kandungan hidrokarbon halogen, sianida, logam berat dan senyawa sulfur ammonia, dalam konsentrasi yang tinggi, tetapi kandungan zat asam volatil dan asam lemak yang tinggi di reaktor merupakan inhibitor yang potensial untuk tingkat toksisitas dalam larutan limbah cair (Amatya, 1996).

2.3.4.6. Laju Alir Upflow

Reaktor UASB didesain dengan pengaliran limbah cair dari bagian bawah reaktor menuju ke atas (*up flow*) melalui *sludge bed* granular yang tertahan di dalam reaktor. Laju alir *up flow* harus selalu dipertahankan stabil di dalam reaktor dengan tujuan membantu terjadinya kontak *sludge* dengan limbah cair (Amatya, 1996). Kecepatan *up flow* tergantung pada karakteristik pengendapan partikel granular dan limbah cair. Kondisi kontak mikroorganisme-limbah cair masih dapat terjadi pada kecepatan *up flow* 2-5 m/jam (Anh, 1998).

Laju beban organik ke reaktor harus tepat sehingga konglomerat terimmobilisasi berkembang dengan baik (Lettinga dkk, 1980). Laju beban organik merupakan efisiensi penggunaan volume reaktor yang tersedia (Pohland dan Malina, 1992). Faktor ini dibatasi oleh jumlah mikroba yang dapat bertahan di reaktor dan kontak efektif antara biomassa dan substrat (Fang dan Chui, 1993). Lettinga dkk (1980) menyarankan laju beban organik sebesar 10-12 kgCOD/m³/hari digunakan pada eksperimen skala laboratorium.

2.3.4.7. Padatan Tersuspensi (Suspended Solid)

Pada umumnya, limbah cair mengandung padatan tersuspensi (*suspended solid/SS*) yang memberikan pengaruh antara lain: (1) menurunkan aktifitas metanogen spesifik, (2) kecenderungan terbentuknya lapisan busa yang mengakibatkan larutnya *sludge*, (3) kemungkinan kegagalan granulasi, dan (4) penghanyutan *sludge bed* secara tiba-tiba karena keberadaan busa dalam *sludge bed* (Lettinga dan Pol, 1986). Kandungan tersebut dapat dihilangkan dengan metode sedimentasi, koagulasi/flokulasi, *dissolved air flotation* (DAF), adsorpsi menggunakan karbon, filtrasi dan lain-lain. Batasan aman

konsentrasi SS didalam influen limbah cair untuk umpan reaktor UASB adalah tidak lebih dari 1000 mg/L (Anh, 1998).

2.4. Hasil Yang sudah Dicapai dan Studi Pendahuluan

Beberapa hasil penelitian pengolahan limbah cair industri tapioka, gula tebu dan pabrik pengolahan minyak kelapa sawit secara anaerobik dapat diamati dalam Tabel 2.5. Pengolahan limbah cair dari ketiga jenis industri tersebut masih bersifat individu (*on-factory*). Dari tabel dapat diamati bahwa tingkat reduksi kandungan COD setiap limbah cair adalah sekitar 90%, yang mengindikasikan bahwa ketiga limbah cair dapat diolah dengan baik. Sampai saat ini belum ada hasil penelitian yang mengkombinasikan ketiga jenis limbah cair dalam suatu IPAL secara anaerobik.

Tabel 2.5. Hasil penelitian terdahulu degradasi limbah cair industri

Jenis limbah	Tipe Proses	Karakter Operasi	Referensi
Limbah Cair Tapioka	UASB	COD inlet : 12.000-24.000 mg/L COD removal : > 95% OLR : 10-16 kg COD/m ³ /hari HRT : 0,5 m/hari	Annachhatre dan Amatya (2000)
	UASB	COD inlet : 9.630-13.760 mg/L COD removal : 82,5-90,7% OLR : <42 kg COD/m ³ /hari HRT : 8,3-8,4 jam	Ngoc (2006)
Limbah Cair Pabrik Pengolahan Minyak Sawit	UASFF	COD inlet : < 44.300 mg/L COD removal : 70-90% OLR : 2,45 L/hari HRT : 3 hari	Zinatizadeh dkk (2006)
	UAF	COD inlet : - COD removal : 90% OLR : 1,2-11,4 kg COD/m ³ /hari HRT : 6-15 hari	Borja dan Banks (1994)
Limbah Cair Pabrik Gula	UASB	COD inlet : 1.000 mg/L COD removal : > 95% OLR : 6,7 kg COD/m ³ /hari	Ragen dkk (2001)

		HRT : 4 jam	
	AFB	COD inlet : 13.000-32.000 mg/L COD removal : > 80% OLR : 20-25 kg COD/m ³ /hari HRT : 15-20 jam	Kozariszczuk (2002)

UAF = Upflow Anaerobic Filter; UASFF Upflow Anaerobic Sludge Fixed Film; AFBR = Anaerobic Fixed Bed; UASB = Upflow Anaerobic Sludge Blanket

Studi pendahuluan yang terkait dengan usulan penelitian ini yang telah dilakukan adalah:

- a) Penggunaan lumpur anaerobik asal pengolahan limbah cair pabrik pengolahan minyak sawit untuk degradasi limbah cair industri tapioka (Agustian dkk, 2006)

Pengolahan limbah cair tapioka secara fisika dan kimia cenderung tidak efisien, sehingga degradasi limbah cair secara anaerobik merupakan suatu alternatif pengolahan limbah cair tapioka yang sangat baik. Dengan kandungan bahan organik yang tinggi, maka limbah cair tapioka dapat diuraikan secara biologi. Penelitian ini menggunakan proses anaerobik up-flow sludge blanket (UASB) untuk mereduksi kandungan COD limbah cair tapioka yang berasal dari suatu industri tepung tapioka rakyat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa reduksi COD hingga 90% dapat dicapai dengan lama start-up sekitar 2 (dua) minggu. Selama proses kontinyu, kondisi maksimum reduksi COD dan produksi gas diperoleh pada kondisi operasi pH 5,2, TSS 1340 mg/L, OLR 45 kg COD/m³, dan HRT 6 jam. Pengaturan pH influen dalam rentang 5,0-6,5 dapat dilakukan untuk menjaga stabilitas reduksi COD tetapi pengaruhnya tidak begitu besar terhadap pembentukan gas

BAB III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1. Tujuan Penelitian

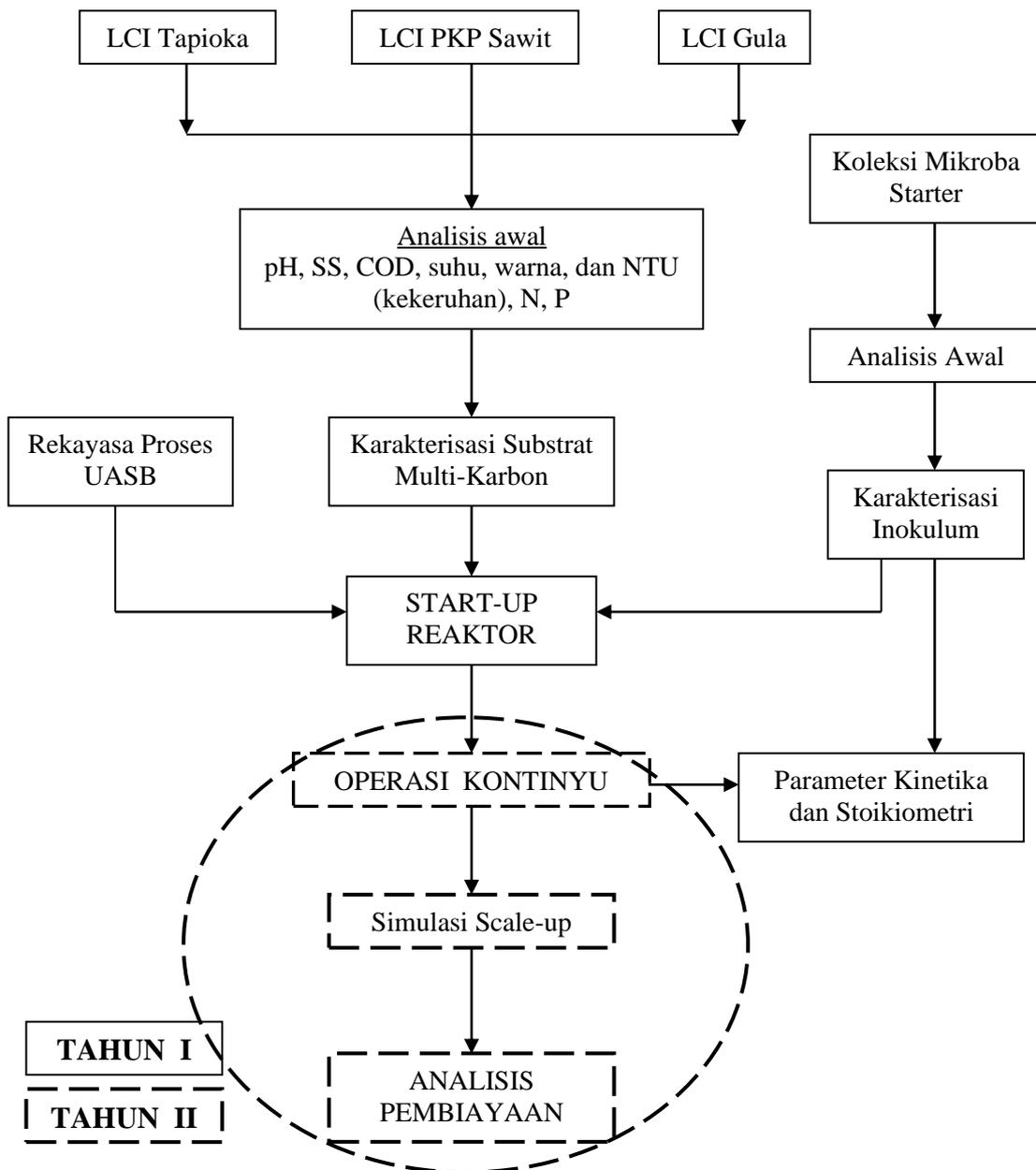
- a) Menghasilkan nilai laju beban organik umpan/influen campuran limbah cair industri tapioka, pabrik pengolahan kelapa sawit dan industri gula yang mampu mendukung proses penyisihan karbon, nitrogen dan fosfor dari gabungan limbah cair tersebut
- b) Menghasilkan rasio campuran limbah cair yang memiliki efisiensi degradasi zat yang tinggi
- c) Menghasilkan nilai kondisi operasi lainnya (pH, rasio nutrisi, waktu tinggal hidrolis, suhu, konsentrasi mikroba) pada proses penyisihan karbon, nitrogen dan fosfor pada sistem teknologi berbasis UASB pengolahan campuran limbah cair industri tersebut

3.2. Manfaat Penelitian

- a) Memberikan alternatif sistem pengolahan gabungan tiga jenis limbah cair industri dalam suatu unit IPAL khusus menggunakan teknologi proses sel terimobilisasi yang mampu mengolah limbah cair dengan kadar COD yang tinggi, tidak membutuhkan area yang tidak luas, waktu tinggal limbah cair yang singkat dan dapat menghimpun biogas yang dihasilkan
- b) Menghasilkan kajian pengembangan sistem IPAL khusus dengan teknologi sel terimobilisasi UASB, sehingga upaya untuk mewujudkan suatu industri dengan prinsip *wastewater treatment, energy generation and water preparation* suatu saat dapat diterapkan.

BAB IV. METODE PENELITIAN

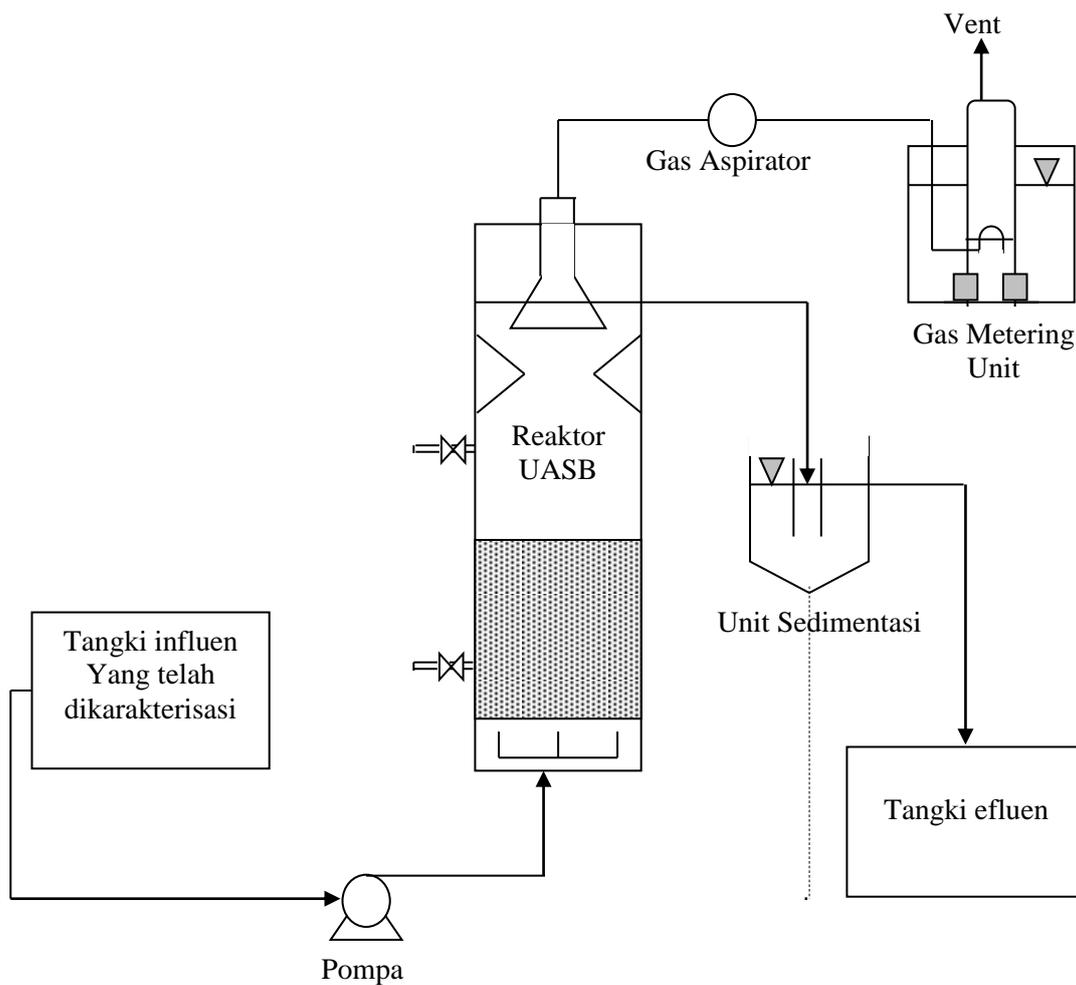
Penelitian direncanakan dilaksanakan dalam jangka waktu 2 (dua) tahun yang setiap tahunnya dibagi menjadi beberapa kegiatan. Penelitian dilaksanakan secara berkesinambungan dengan tatalaksana penelitian disajikan pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1. Diagram alir tatalaksana penelitian

4.1. Desain Sistem Proses UASB

Sistem proses yang akan digunakan terdiri atas tangki influen (1 unit, 20L), pompa peristaltik (2 unit), reaktor UASB (akrilik, 1 unit, 2,5 L, ϕ 10 cm), tangki settler (1 unit, 1 L), tangki effluent (1 unit, 20L) dan unit pengukur gas (1 unit, 1 L). Reaktor UASB dilengkapi dengan unit kolektor gas (1 unit), sampling ports dan baffle. Susunan proses anaerobik UASB yang digunakan diilustrasikan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Susunan rangkaian sistem UASB

4.2. Analisis Awal Kondisi Limbah Cair

Setiap limbah cair diukur nilai pH, COD (total), kandungan zat padat (TSS), kandungan nitrogen (total), kandungan fosfat (total fosfat) dan kekeruhan (APHA,

1992). Observasi inderawi juga dilakukan untuk mengetahui kondisi limbah cair secara cepat.

4.3. Karakterisasi Umpan

Stok limbah cair industri yang disimpan dalam tangki penampungan dicampur dengan perbandingan yang telah ditetapkan untuk umpan ke reaktor UASB, dan diatur pH-nya sekitar 6,5 (Metcalf dan Eddy, 1991) dengan penambahan sodium hidroksida 0,1 M (Fang dkk, 1993).

Umpan limbah cair campuran diatur pada beban konsentrasi proses yang diperoleh dengan pengenceran larutan stok campuran. Kandungan nutrisi umpan diatur pada rasio COD:N:P = 300:5:1 dengan penambahan urea dan TSP sebagai sumber nitrogen dan fosfat (Anh, 1998).

4.4. Lumpur Anaerobik Starter (Inokulum)

Lumpur berasal dari unit IPAL PPKS yang menggunakan proses anaerobik lagoon. Lumpur diambil dari bagian dasar dengan alat khusus sekitar 2 liter dan kemudian disimpan dalam jeriken yang ditutup rapat. Lumpur inokulum disimpan dalam lemari pendingin sebelum digunakan.

Analisis fisik dan kimia kondisi mikroba starter difokuskan pada suhu, observasi visual, *volatile suspended solids* (VSS), pH dan *particle velocity* (APHA, 1985). Uji specific methanogenic activity (SMA) dilakukan dengan mengikuti metode Sorensen dan Ahring (1993). Nilai VSS digunakan untuk menentukan parameter laju pertumbuhan spesifik mikroba anaerobik (μ).

4.5. Reaktor Start-Up

Seeding reaktor UASB dilakukan dengan menginokulasi lumpur inokulum sebesar 40-60% volume kerja reaktor. Selanjutnya umpan dengan konsentrasi awal sekitar 2.500 mg/L dengan pH sekitar 6,5 dialirkan secara batch recycle untuk jangka waktu 15 hari. Selama proses start-up tersebut, observasi difokuskan pada reduksi konsentrasi COD. pH influen diamati setiap hari, jika pH umpan kurang dari 5 maka dialirkan umpan baru kedalam reaktor UASB.

4.6. Operasi Kontinyu Variasi Kondisi Operasi

Proses kontinyu baru dapat dilaksanakan setelah perombakan kandungan karbon mencapai 80%. Dalam tahap ini, dilakukan beberapa variasi untuk dilihat pengaruhnya terhadap kinerja proses anaerobik UASB, yaitu:

- A. Konsentrasi COD umpan : 5.000, 7.500, 10.000, 12.500, 15.000, 17.500, 20.000, 22.500, 25.000
- B. Kandungan nutrisi : kontrol nutrisi, nutrisi alami
- C. Waktu tinggal hidrolis : 20 jam; 15 jam; 10 jam, 5 jam
- D. pH umpan : pH 6,5 ; pH alami

Pengamatan selama proses beroperasi dilakukan setiap 3 hari sekali terhadap konsentrasi COD umpan, konsentrasi COD effluent, kandungan zat padat (total solids, total dissolved solids, total suspended solids dan volatil suspended solids), total nitrogen dan total fosfat. pH dan temperatur umpan dan effluent diobservasi setiap hari.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Besarnya reduksi kandungan COD limbah cair merupakan parameter yang paling penting dalam menilai proses degradasi limbah cair industri yang menggunakan proses biologi seperti pada sistem bioreaktor UASB. Dalam penelitian, umpan limbah cair yang digunakan berasal dari campuran/gabungan dari 3 (tiga) jenis limbah cair industri, yaitu limbah cair industri tepung tapioka rakyat, limbah cair pabrik pengolahan CPO dan limbah cair pabrik gula. Umpan dialirkan pada konsentrasi 5.000, 10.000 dan 15.000 mg-COD/L, tetapi laju alir umpan untuk proses start up reaktor diatur pada konsentrasi 2500 mg-COD/L. Sedangkan waktu tinggal yang digunakan adalah 10, 15 dan 20 jam, dan kondisi pH adalah pada pH 5,5-8. Campuran limbah cair kontak dengan unggun mikroorganisme yang terimobilisasi di bagian bawah reaktor. Selama pengontakan berlangsung, reduksi kandungan zat organik dalam campuran limbah cair terjadi. Besarnya reduksi COD selama proses beroperasi bergantung pada pengaturan kondisi operasi di bioreaktor.

Berdasarkan data-data yang dihimpun selama penelitian dilaksanakan, variabel operasi waktu tinggal cairan (HRT), laju beban organik dan pH berpengaruh terhadap reduksi COD dan pembentukan gas.

4.1. Hasil Penelitian

4.1.1. Kondisi Awal Limbah Cair

Hasil analisis kimiawi terhadap setiap jenis limbah cair industri yang diolah dirangkum dalam Tabel 4.1, sedangkan tampilan visual limbah-limbah tersebut diilustrasikan dalam Gambar 4.1.

Tabel 4.1. Data pengukuran awal sampel limbah industri

Parameter	Limbah cair industri gula	Limbah cair industri Tapioka	Limbah cair industri sawit
COD (mg/l)	3.200	13.500	18.500
TSS (mg/l)	200	526	8.150
Kekeruhan (FAU)	156	734	20.820
pH	6,23	4,03	5,02



Gambar 4.1. Kondisi limbah yang dipergunakan air (A = Limbah Gula ; B = Limbah Tapioka ; C = Limbah Sawit)

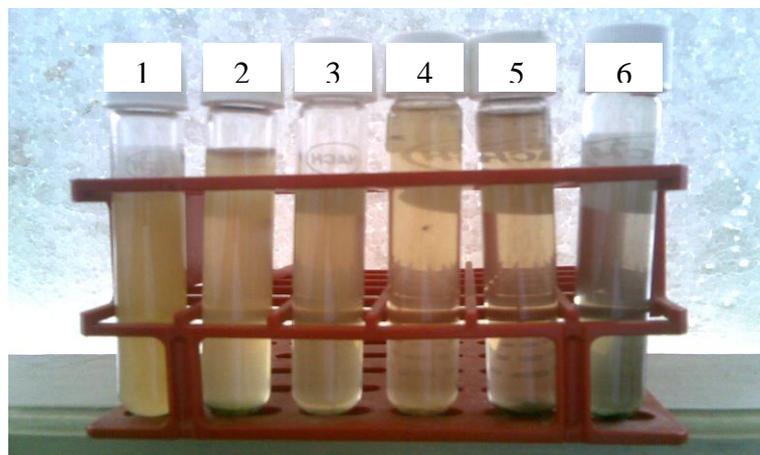
4.1.2. Pelaksanaan Operasi Kontinyu

Operasi kontinyu dilakukan selama 5 hari pada setiap tahapan (run) eksperimen dimana keseluruhan run yang dilaksanakan adalah 11 (sebelas), dan perlakuan yang disesuaikan dengan rancangan percobaan.

RUN I: Limbah cair diatur dengan kadar COD 5.000 mg/l, waktu tinggal (HRT) 20 jam, kontrol pH dan kontrol nutrisi. Data hasil penelitian dan pengukuran pada tahap kontinyu untuk run I dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.2.

Tabel 4.2. Hasil pengamatan run I

Hari ke	Σ Gas (ml)	COD (mg/l)		pH		TSS (mg/L)		Kekeruhan		Keterangan
		Inf	Eff	Inf	Eff	Inf	eff	inf	eff	
1	50	5000	2900	6,5	7,0	553	240	776	316	Start 06/09/2007 Jam 10.30 BBWI ; (-) : tidak diukur
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3	200	5000	420	6,5	7,0	553	147	776	119	
4	50	-	-	6,5	7,0	553	377	776	485	
5	500	5000	380	6,5	7,0	553	497	776	646	
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

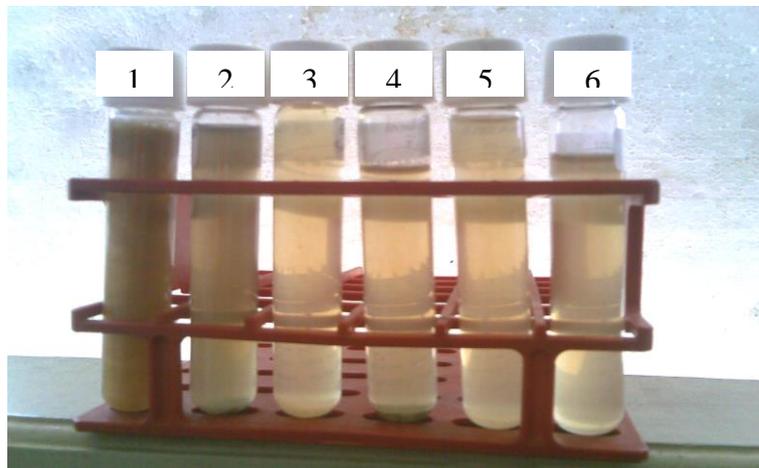


Gambar 4.2. Perbandingan mutu effluen pada run I

RUN II: Limbah campuran umpan reaktor diatur dengan tingkatan COD 5.000 mg/l, waktu tinggal (HRT) 20 jam, kontrol pH dan kandungan nutrisi alami. Data pengukuran pada tahap run II dipaparkan pada Tabel dan Gambar berikut.

Tabel 4.3. Hasil pengamatan run II

Hari Ke	Σ Gas (ml)	COD (mg/l)		pH		TSS (mg/L)		Kekeruhan		Keterangan
		Inf	Eff	Inf	Eff	Inf	eff	inf	eff	
1	100	5000	1700	6,5	6,5	3740	410	2920	561	(-) : tidak diukur
2	150	-	-	6,5	6,5	3740	360	2920	482	
3	155	5000	550	6,5	7,0	3740	345	2920	460	
4	125	-	-	6,5	6,5	3740	330	2920	452	
5	175	5000	372,5	6,5	7,0	3740	311	2920	403	
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

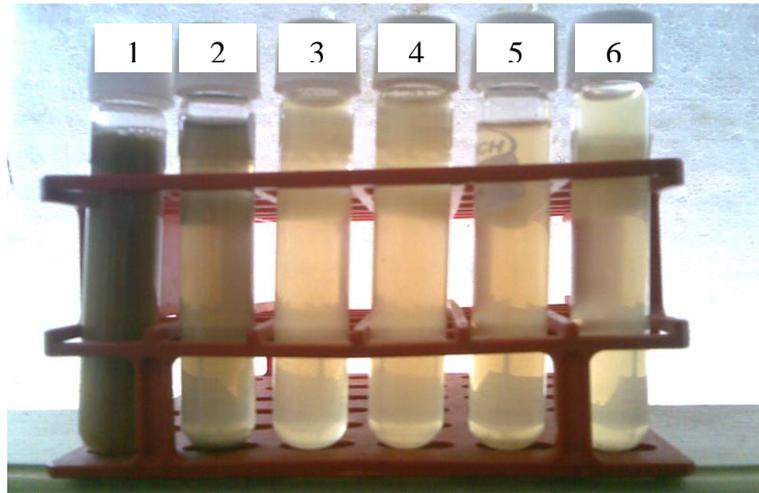


Gambar 4.3. Perbandingan mutu effluen run II

RUN III: Pada run III, kondisi limbah cair umpan reaktor diatur pada kandungan COD 5.000 mg/l untuk waktu tinggal (HRT) 20 jam dan pH alami dan nutrisi alami. Uraian data hasil pengamatan run III diuraikan dalam Tabel 4.4 dan Gambar 4.4.

Tabel 4.4. Hasil pengamatan run III

Hari Ke	Σ Gas (ml)	COD (mg/l)		pH		TSS (mg/L)		Kekeruhan		Keterangan
		Inf	Eff	Inf	Eff	Inf	eff	inf	eff	
1	100	5000	1930	5,0	6,0	1660	403	2380	539	(-) : tidak diukur
2	170	-	-	5,0	5,5	1660	367	2380	492	
3	200	5000	1670	5,0	6,0	1660	355	2380	480	
4	-	-	-	5,0	6,5	1660	334	2380	452	
5	240	5000	1340	5,0	6,5	1660	322	2380	424	
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

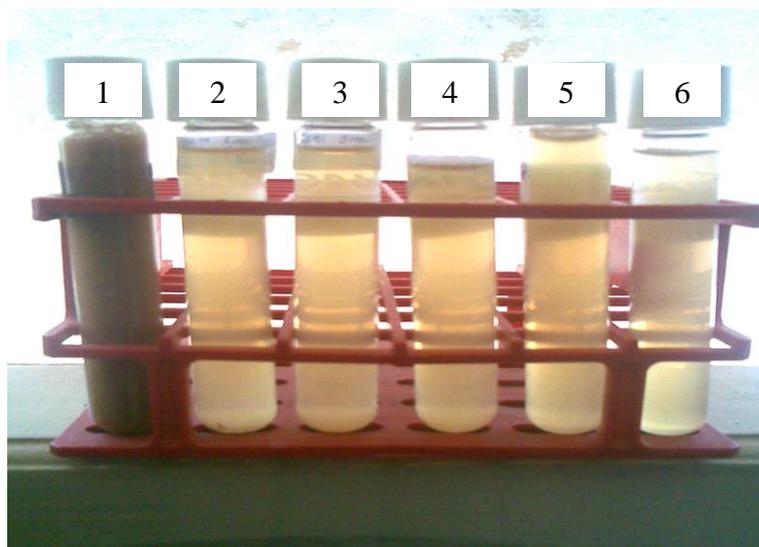


Gambar 4.4. Perbandingan mutu effluen run III

RUN IV: Untuk eksperimen run IV, umpan reaktor diatur dengan kadar COD 10.000 mg/l, waktu tinggal (HRT) 20 jam, pH alami dan nutrisi alami. Hasil pengamatan untuk run IV dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.5.

Tabel 4.5. Hasil pengamatan run IV

Hari ke	Σ Gas (ml)	COD (mg/l)		pH		TSS (mg/L)		Kekeruhan		Keterangan
		Inf	Eff	Inf	Eff	Inf	eff	inf	eff	
1	-	10000	271	5,0	5,5	4850	443	3210	602	(-) : tidak diukur
2	200	-	-	5,0	5,5	4850	423	3210	563	
3	250	10000	2350	5,0	5,0	4850	485	3210	650	
4	-	-	-	5,0	5,5	4850	568	3210	727	
5	250	10000	1035	5,0	6,0	4850	445	3210	656	
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

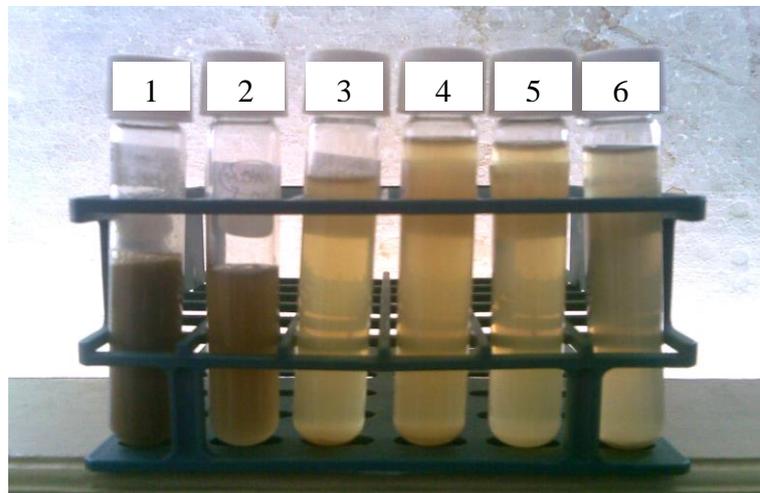


Gambar 4.5. Perbandingan mutu effluen run IV

RUN V: Pada run V umpan dengan kandungan COD 10.000 mg/l dialirkan untuk waktu tinggal (HRT) 15 jam, pH alami dan nutrisi alami. Data hasil analisis dijabarkan pada Tabel 4.6 dan Gambar 4.6.

Tabel 4.6. Hasil observasi run V

Hari ke	Σ Gas (ml)	COD (mg/l)		pH		TSS (mg/L)		Kekeruhan		Keterangan
		Inf	Eff	Inf	Eff	Inf	eff	inf	eff	
1	-	10000	3920	5,0	5,5	4850	945	3210	1245	(-) : tidak diukur
2	225	-	-	5,0	5,5	4850	719	3210	747	
3	340	10000	2750	5,0	5,5	-	-	-	-	
4	350	-	-	5,0	5,0	4850	514	3210	625	
5	335	10000	2510	5,0	5,5	-	-	-	-	
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

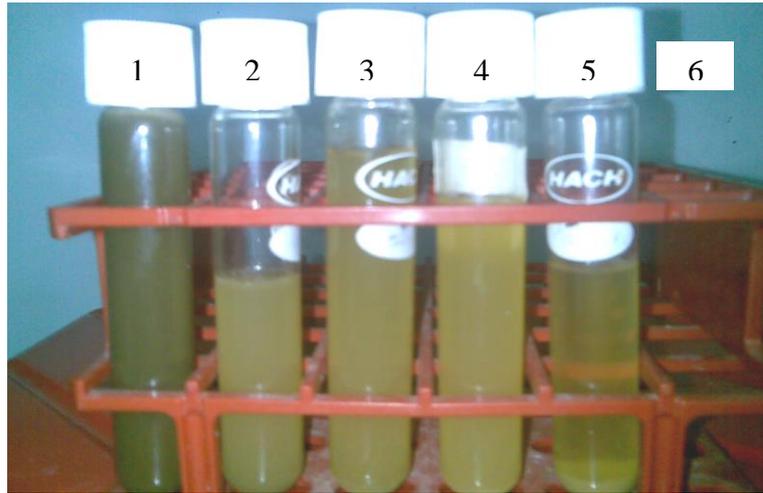


Gambar 4.6. Perbandingan mutu effluen run V

RUN VI: Pada run VI limbah campuran masukan reaktor diatur dengan tingkatan COD 10.000 mg/l, waktu tinggal (HRT) 15 jam dengan pH alami dan nutrisi kontrol. Data hasil penelitian dan pengukuran pada tahap kontinyu untuk run VI dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan Gambar 4.7.

Tabel 4.7. Hasil pengamatan run VI

Hari ke	Σ Gas (ml)	COD (mg/l)		pH		TSS (mg/L)		Kekeruhan		Keterangan
		Inf	Eff	Inf	Eff	Inf	eff	inf	eff	
1	200	10000	2840	5,5	5,5	4850	3215	3210	2850	(-) : tidak diukur ; terjadi kebocoran di reaktor
2	325	-	-	5,5	-	-	-	-	-	
3	475	10000	-	5,5	5,5	-	-	-	-	
4	-	-	-	5,5	5,0	-	-	-	-	
5	485	10000	2160	5,5	5,5	4850	3012	3210	2802	
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

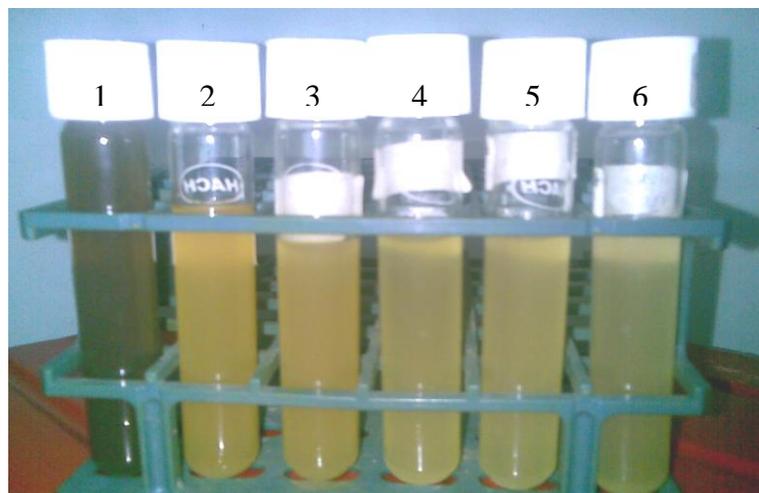


Gambar 4.7. Perbandingan mutu effluen run VI

RUN VII: Pada run VII limbah campuran masukan reaktor diatur dengan tingkatan COD 10.000 mg/l, waktu tinggal (HRT) 15 jam dengan pH kontrol dan nutrisi kontrol. Data hasil penelitian dan pengukuran pada tahap kontinyu untuk run VII dapat dilihat pada Tabel 4.8 dan Gambar 4.8.

Tabel 4.8. Hasil pengamatan run VII

Hari ke	Σ Gas (ml)	COD (mg/l)		pH		TSS (mg/L)		Kekeruhan		Keterangan
		Inf	Eff	Inf	Eff	Inf	eff	inf	eff	
1	-	10000	2760	6,5	6,5	5760	1160	6140	1570	(-) : tidak diukur
2	250	-	-	-	-	-	-	-	-	
3	350	10000	2370	6,5	6,5	-	1050	6140	1260	
4	-	-	-	6,5	6,5	5760	960	6140	1380	
5	500	10000	1640	6,5	6,5	5760	840	6140	1220	
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	



Gambar 4.8. Perbandingan mutu effluen run VII

RUN VIII: Pada run VIII limbah campuran masukan reaktor diatur dengan tingkatan COD 15.000 mg/l, waktu tinggal (HRT) 15 jam dengan pH kontrol dan nutrisi kontrol. Data hasil penelitian dan pengukuran pada tahap kontinyu untuk run VIII dapat dilihat pada Tabel 5.9 dan Gambar 5.9.

Tabel 5.9. Hasil pengamatan run VIII

Hari ke	Σ Gas (ml)	COD (mg/l)		pH		TSS (mg/L)		Kekeruhan		Keterangan
		Inf	Eff	Inf	Eff	Inf	eff	inf	eff	
1	250	15000	5420	6,5	6,5	6210	-	8430	-	(-) : tidak diukur
2	325	-	-	6,5	6,5	6210	1920	8430	2590	
3	225	15000	4800	6,5	6,5	6210	1620	8430	2150	
4	300	-	-	6,5	6,5	6210	-	8430	-	
5	525	15000	3520	6,5	6,5	6210	1030	8430	1430	
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

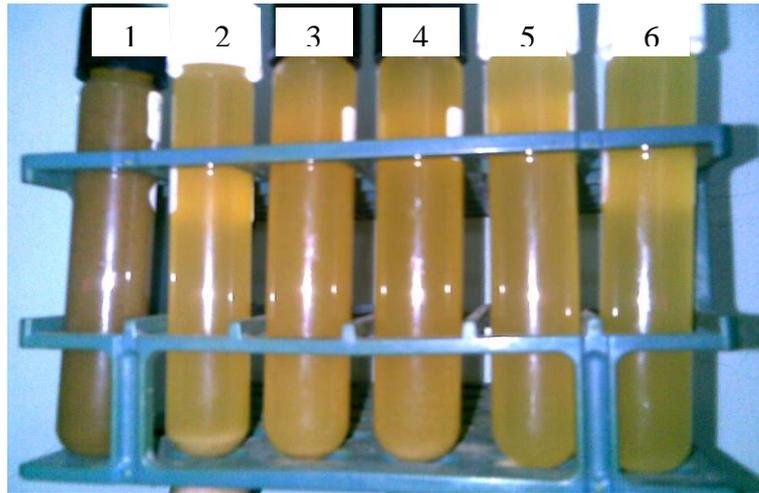


Gambar 5.9. Perbandingan mutu effluen run VIII

RUN IX: Pada run IX limbah campuran masukan reaktor diatur dengan tingkatan COD 15.000 mg/l, waktu tinggal (HRT) 10 jam dengan pH kontrol dan nutrisi alami. Data hasil penelitian dan pengukuran pada tahap kontinyu untuk run IX dapat dilihat pada Tabel 5.10 dan Gambar 5.10.

Tabel 5.10. Hasil pengamatan run IX

Hari ke	Σ Gas (ml)	COD (mg/l)		pH		TSS (mg/L)		Kekeruhan		Keterangan
		Inf	Eff	Inf	Eff	Inf	eff	inf	eff	
1	150	15000	5760	7	7,0	6205	1450	8260	1870	(-) : tidak diukur
2	200	-	-	7	7,0	6205	1370	8260	1840	
3	185	15000	4070	7	6,5	6205	1260	8260	1710	
4	135	-	-	7	6,5	6205	1240	8260	1690	
5	275	15000	3710	7	6,0	6205	1120	8260	1480	
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

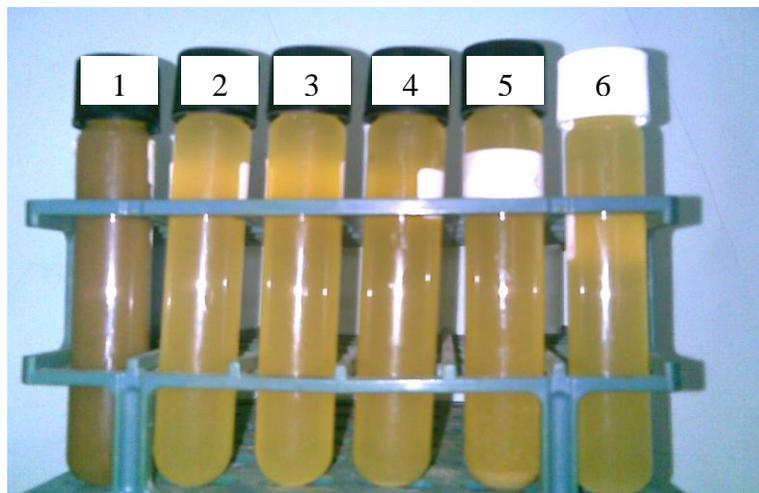


Gambar 5.10. Perbandingan mutu effluen run IX

RUN X: Pada run X limbah campuran masukan reaktor diatur dengan tingkatan COD 15.000 mg/l, waktu tinggal (HRT) 10 jam dengan pH kontrol dan nutrisi alami. Hasil pengamatan pada tahap kontinyu untuk run X diuraikan di Tabel 5.11 dan Gambar 5.11.

Tabel 5.11. Hasil pengamatan run X

Hari ke	Σ Gas (ml)	COD (mg/l)		pH		TSS (mg/L)		Kekeruhan		Keterangan
		Inf	Eff	Inf	Eff	Inf	eff	inf	eff	
1	-	15000	4610	6,5	6,5	6350	2060	9360	2670	(-) : tidak diukur
2	210	-	-	6,5	6,5	6350	1810	9360	2460	
3	245	15000	4480	6,5	6,5	6350	1490	9360	2080	
4	-	-	-	6,5	6,0	6350	1380	9360	1840	
5	350	15000	2350	6,5	6,0	6350	1140	9360	1570	
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	



Gambar 5.11. Perbandingan mutu effluen run X

RUN XI: Pada run XI limbah campuran masukan reaktor diatur dengan tingkatan COD 15.000 mg/l, waktu tinggal (HRT) 10 jam dengan pH alami dan nutrisi alami. Data hasil penelitian dan pengukuran pada tahap kontinyu untuk run XI dapat dilihat pada Tabel 5.12 dan Gambar 5.12.

Tabel 5.12. Hasil pengamatan run XI

Hari ke	Σ Gas (ml)	COD (mg/l)		pH		TSS (mg/L)		Kekeruhan		Keterangan
		Inf	Eff	Inf	Eff	Inf	eff	inf	eff	
1	200	15000	4550	5,5	7,0	-	-	-	-	(-) : tidak diukur
2	235	-	-	5,5	7,0	-	-	-	-	
3	355	15000	2530	5,5	6,5	-	-	-	-	
4	475	-	-	5,5	6,5	-	-	-	-	
5	500	15000	1330	5,5	6,5	-	-	-	-	
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	



Gambar 5.12. Perbandingan mutu effluen run XI

5.1.3. Rerata Nilai Faktor Eksperimen

Nilai rata-rata dari setiap faktor yang diobservasi pada setiap kondisi eksperimen dapat dilihat pada Tabel 5.13. Dari Tabel dapat diketahui bahwa nilai reduksi kandungan COD limbah cair berada pada rentang 67,07%-82,52%, pH akhir berada pada interval 5,5-7,0, kandungan TSS adalah sekitar 315,00-3.113,50 mg/L dan turbiditas pada nilai 392,00-2.862,0 FAU serta produksi gas 141,00-353,00 (ml/...). Dari Tabel tersebut jga dapat diamati bawa nilai-nilai produksi gas dan reduksi kandungan COD cenderung lebih stabil jika dibandingkan dengan nilai-nilai faktor lainnya.

Tabel 5.13. Nilai rata-rata faktor pada setiap run (perlakuan)

Run	Nilai Rata-rata (<i>Mean</i>) Tiap Pengamatan				
	Produksi Gas	Reduksi COD	TSS	Turbiditas	pH Akhir
1	250,00	76.00 %	315,00	392,0	7,0
2	141,00	82,52 %	351.20	471,6	7,0
3	180,00	67.07 %	356.20	477,4	6,5
4	350,00	79.48 %	472.80	639,6	6,0
5	312,50	69.40 %	726,00	872,0	5,5
6	371,25	75.00 %	3.113.50	2.826,0	5,5
7	366,67	77.43 %	1.002.50	1.357,5	6,5
8	325,00	69.46 %	1.523.33	2.056,0	6,5
9	189,00	69.93 %	1.247.50	1.680,0	6,0
10	268,33	72.47 %	1.576,00	2.110,0	6,0
11	353,00	81.67 %	-	-	-

5.2. Pembahasan

5.2.1. Observasi awal

5.2.1.1. Kondisi Influen

Limbah cair yang digunakan sebagai influen pada penelitian merupakan kombinasi limbah cair industri yang diperoleh dengan jalan mencampurkan limbah cair pabrik CPO, industri gula tebu dan industri tepung tapioka dengan rasio tertentu.

Secara visual, limbah pabrik gula berwarna kuning kecoklatan dengan kandungan padatan yang sedikit dan mudah mengendap, memiliki bau yang segar dan beraroma manis serta nilai pH yang mendekati netral (> 6 , lihat Tabel 5.1). Sedangkan limbah cair industri tapioka berwarna putih kekuningan dengan kandungan padatan terlarut yang lebih besar daripada limbah cair pabrik gula dimana limbah ini berbau asam, dan dari hasil pengukuran pH didapatkan bahwa limbah cair tapioka memiliki nilai sekitar 4,03. Sedangkan limbah cair pabrik pengolahan sawit memiliki warna coklat pekat dengan jumlah padatan tinggi. Limbah sawit memiliki bau serupa dengan limbah cair gula yang beraroma manis dan tidak menyengat dengan pH yang cenderung asam, yaitu sekitar 5,02.

Dalam penelitian, campuran ketiga limbah cair industri inilah yang digunakan dengan terlebih dahulu memperhitungkan penetapan perbandingan volume limbah cair yang disesuaikan dengan target akhir beban COD yang diterapkan (perbandingan tetap). Perbandingan karakteristik limbah cair kombinasi pada rasio volume 1:1: 1 disajikan dalam Tabel 5.14 berikut.

Tabel 5.14. Karakteristik limbah cair gabungan (rasio volume = 1:1:1)

Parameter	Penelitian Ini	Muvia (2007)
COD (mg/l)	8.800	13.000
TSS (mg/l)	2.500	1.940
Kekeruhan (FAU)	1.400	2.313
pH	5,00	6,34

Dari tabel diatas dapat diamati bahwa campuran limbah cair pada rasio volume cairan 1:1:1 menghasilkan nilai COD yang tidak terlalu tinggi, tetapi limbah cair gabungan memiliki nilai kekeruhan dan TSS yang cukup tinggi. Campuran ketiga jenis limbah cair pada penelitian ini menghasilkan limbah cair yang berwarna coklat keruh dengan pH sekitar 5.

Untuk memperbesar nilai COD umpan, maka dalam eksperimen digunakan perbandingan volume 1:1:12 agar diperoleh kandungan COD campuran awal diatas 15.000 mg/L yang kemudian dapat diencerkan sesuai dengan target penggunaan.

5.2.1.2. Kondisi Effluen

Pengamatan secara visual terhadap kondisi effluen menunjukkan karakteristik berbeda untuk kondisi operasi yang dilakukan. Pada tahap adaptasi mikroorganisme, yaitu pada periode start-up reaktor, effluen yang keluar reaktor berwarna coklat pekat. Warna coklat pekat tersebut disebabkan oleh adanya sejumlah lumpur yang terbawa oleh aliran effluen karena kondisi lumpur anaerobik yang belum mengendap dengan baik. Setelah start-up reaktor selama 10 (sepuluh) hari, kondisi effluen semakin jernih.

5.2.1.3. Kondisi Lumpur Anaerobik

Inokulum mikroorganisme yang digunakan sebagai bibit lumpur anaerobik aktif pada penelitian berasal dari lumpur anaerobik pengolahan limbah cair industri pengolahan CPO. Lumpur anaerobik yang berasal dari kolam pengolahan limbah sawit berwarna hitam pekat dengan sedikit kandungan air, sehingga lumpur terlihat kental, seperti ditampilkan dalam Gambar 5.13 berikut.

5.2.1.4. Kondisi Settler

Pada awal penjalanan reaktor UASB, terlihat banyak padatan terbawa ke aliran effluen yang selanjutnya mengendap di tangki sedimentasi. Observasi visual memperlihatkan bahwa partikel padat yang melayang juga terdapat didalam tangki

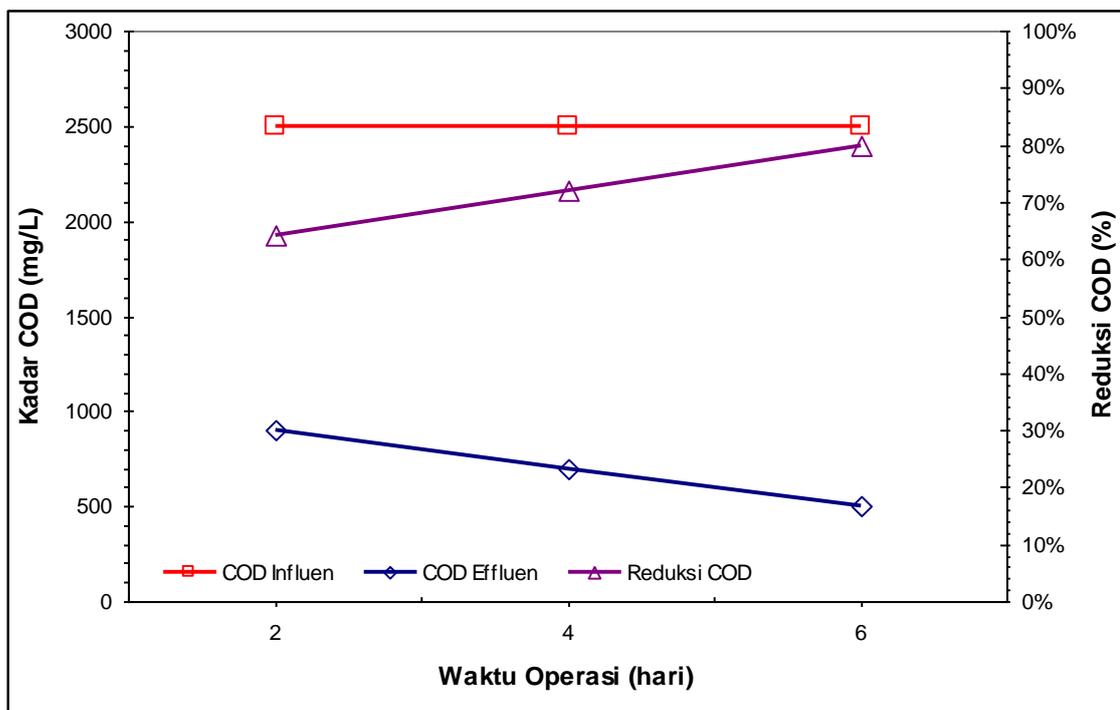
sedimentasi. Setelah proses kontinu berjalan, aliran effluen yang keluar dari tangki sedimentasi tidak lagi terlihat membawa lumpur anaerobik.



Gambar 5.13. Lumpur anaerobik asal pengolahan limbah cair pabrik CPO

5.2.2. Start-up Proses Bioreaktor UASB

Konsentrasi limbah cair yang digunakan untuk start-up proses proses di bioreaktor secara kontinu adalah ± 2.500 mgCOD/L. Selama tahap inisiasi tersebut dilaksanakan, kondisi COD influen dan effluen dan pH diamati dengan cermat. Start-up proses diobservasi setiap hari, tetapi analisis COD dilakukan setiap 2 (dua) hari sekali yang hasilnya dapat diamati pada Gambar 5.14.

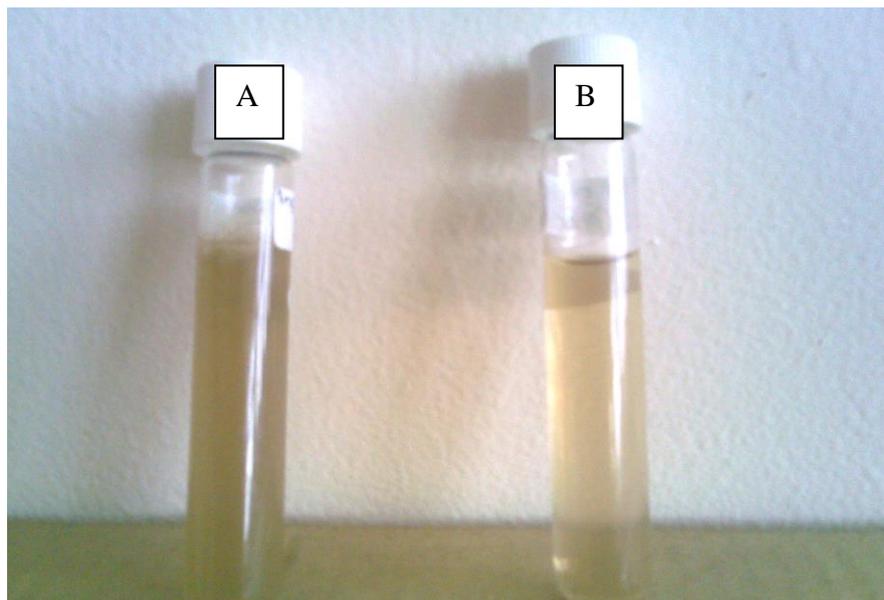


Gambar 5.14. Analisis reduksi COD selama fase start-up

Secara umum reduksi kandungan COD limbah cair pada periode start-up berlangsung dengan cepat. Pada hari kedua setelah reaktor beroperasi, nilai COD effluen adalah 900 mg/L (nilai reduksi COD \pm 64%). Nilai tersebut semakin meningkat sejalan dengan hari operasi dimana pada hari keempat reduksi COD telah mencapai \pm 72% dan selanjutnya mencapai tingkat reduksi sebesar \pm 80% pada hari ke-enam. Pada hari selanjutnya, diamati bahwa nilai reduksi COD stabil diatas 80%, sehingga proses kontinyu dengan beban COD lebih besar dapat dilakukan.

Pada fase start-up, mulai diamati perubahan warna limbah cair. Perubahan warna yang sangat kontras diperlihatkan oleh limbah cair influen dan effluen. Warna coklat pekat yang mendominasi influen berubah menjadi keruh. Pada fase ini, juga mulai diamati terbentuknya gelembung-gelembung gas. Disamping itu, sejumlah lumpur anaerobik juga ikut terbawa ke aliran effluen, sehingga perubahan warna effluen juga diamati di tangki settler. Perbandingan kondisi warna influen limbah cair start-up dengan kondisi effluen pada akhir periode start-up diilustrasikan pada Gambar 5.15. Secara visual dapat dilihat warna limbah cair hari ke-tujuh start-up bioreaktor berwarna kuning terang dengan kandungan endapan yang lebih sedikit daripada kondisi awal limbah cair yang berwarna coklat pekat dan kandungan endapan yang tinggi.

Perbedaan bau juga diobservasi selama fase start-up tersebut. Bau menyengat yang terdapat pada influen limbah cair awal tidak ditemukan lagi pada effluen pada akhir fase start up.



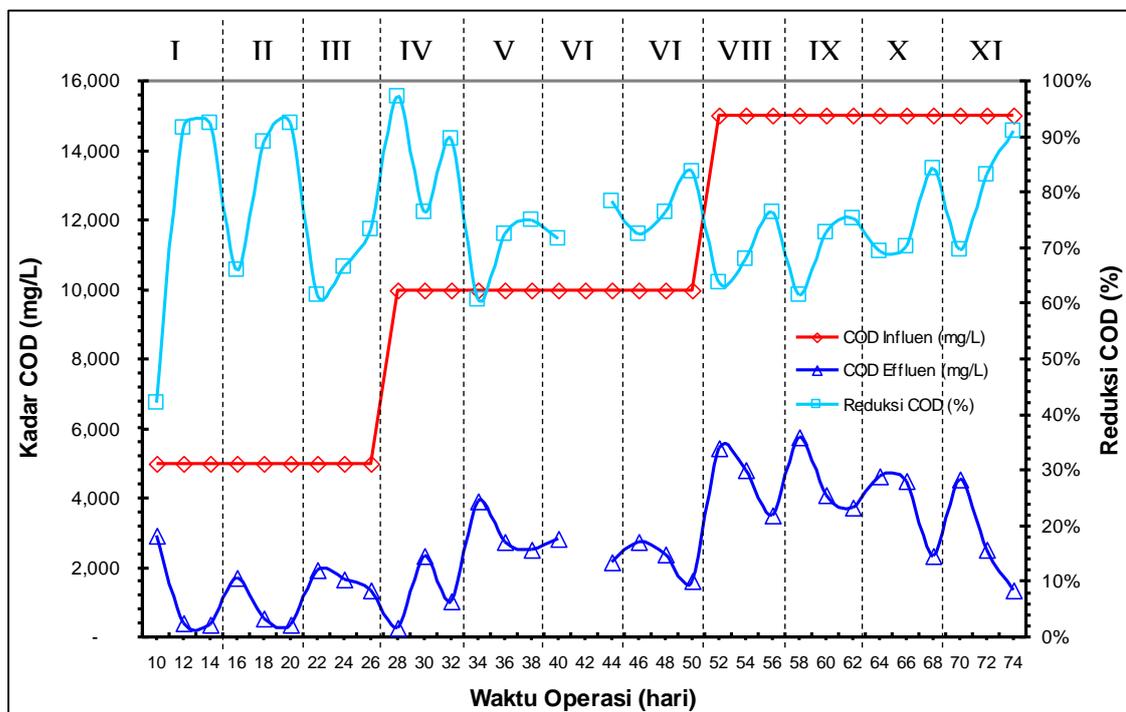
Gambar 5.15. Perbandingan kondisi limbah cair pada fase start-up (A = Influen awal ; B = Effluen hari ketujuh)

5.2.3. Analisis Kinerja Proses Kontinyu

5.2.3.1. Profil Reduksi COD Terhadap COD Umpan

Perubahan kandungan COD limbah cair pada akhir proses degradasi di bioreaktor UASB diilustrasikan dalam Gambar 5.16 berikut. Reduksi kandungan COD limbah cair pada setiap kelompok eksperimen berada pada rentang yang cukup baik, yaitu sekitar 67,07%-82,52%. Dari Tabel 5.15 dapat diketahui bahwa nilai reduksi COD yang paling besar (>80%) berada pada run II (pH kontrol, nutrisi alami) dan XI (pH alami, nutrisi alami). Dapat disimpulkan bahwa mikroorganisme yang berasal dari lumpur anaerobik aktif yang diambil dari unit pengolahan limbah cair pabrik CPO dapat beraktivitas dengan tinggi dalam campuran limbah cair yang digunakan.

Peningkatan konsentrasi COD umpan cukup mempengaruhi aktivitas mikroorganisme. Dari gambar dapat diketahui bahwa peningkatan konsentrasi COD umpan mengakibatkan turunnya nilai reduksi COD limbah cair, tetapi hal tersebut berlangsung hanya dalam sementara dimana, seperti diuraikan dalam gambar diatas, mikroorganisme mulai menunjukkan peningkatan aktivitas reduksinya kembali 1 (satu) hari setelah dilakukan perubahan nilai COD umpan.



Gambar 5.16. Perubahan nilai COD limbah cair selama proses biodegradasi

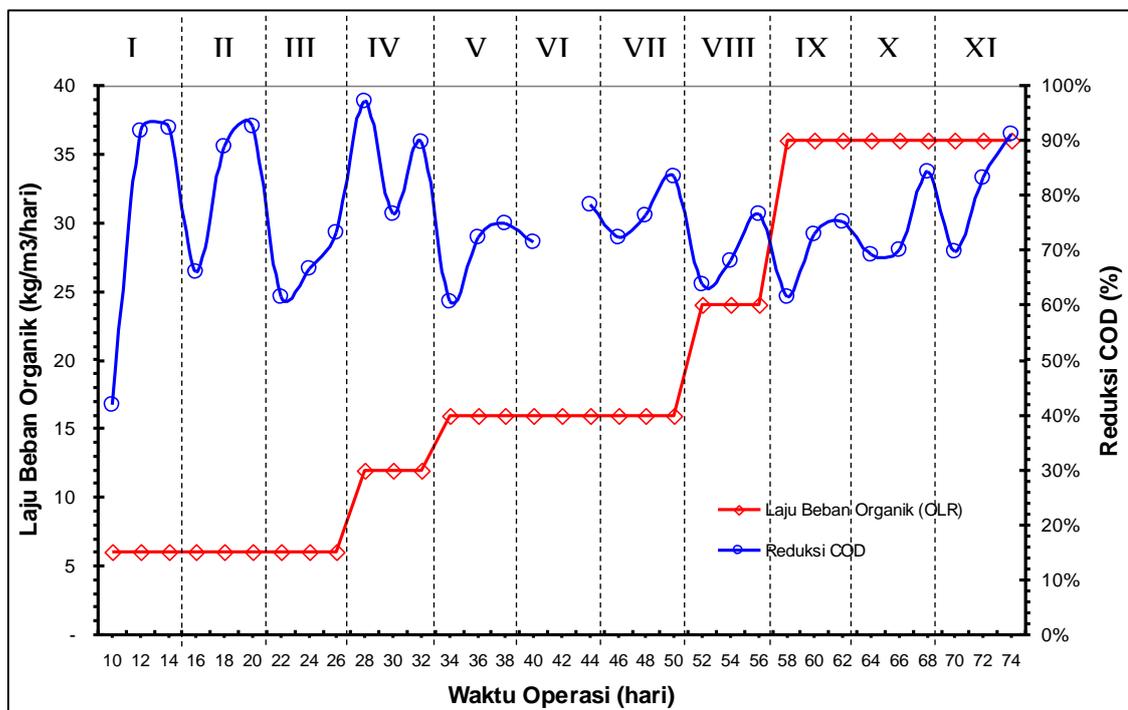
Nilai reduksi COD tersebut jika dibandingkan dengan reduksi kandungan COD untuk masing-masing limbah cair seperti diuraikan dalam Tabel 2.5 adalah cukup baik.

Nilai COD influen berada pada rentang yang lebih besar dari standar nilai akhir yang ditetapkan oleh pemerintah untuk baku mutu limbah cair industri (lihat Tabel 2.1). Tetapi pada beberapa perlakuan (COD influen = 5.000 mg/L) terdapat nilai yang mendekati standar ambang batas maksimum yang ditetapkan pemerintah (<250 mg/L).

Jika dilihat pada data yang terdapat pada Tabel 5.2 sampai 5.12 dapat diketahui bahwa pada setiap run eksperimen, nilai reduksi COD semakin meningkat dengan semakin bertambahnya waktu operasi. Sehingga dibutuhkan pengamatan lebih mendalam tentang tingkat reduksi yang terdapat pada satu perlakuan eksperimen agar dapat diketahui nilai reduksi maksimum COD yang dihasilkan oleh suatu perlakuan dalam penelitian ini.

5.2.3.2. Karakteristik Reduksi Pada Beragam Laju Beban Organik

Laju beban organik limbah cair menunjukkan efisiensi penggunaan volume reaktor yang tersedia (Pohland dan Malina, 1992), yang dibatasi oleh jumlah mikroorganisme yang dapat bertahan di reaktor dan kontak efektif antara biomassa dan substrat (Fang dkk, 1993). Karakteristik reduksi kandungan COD limbah cair terhadap variasi laju beban organik di reaktor dapat diamati pada Gambar 5.17 berikut.



Gambar 5.17. Profil reduksi COD limbah cair pada beragam laju beban organik

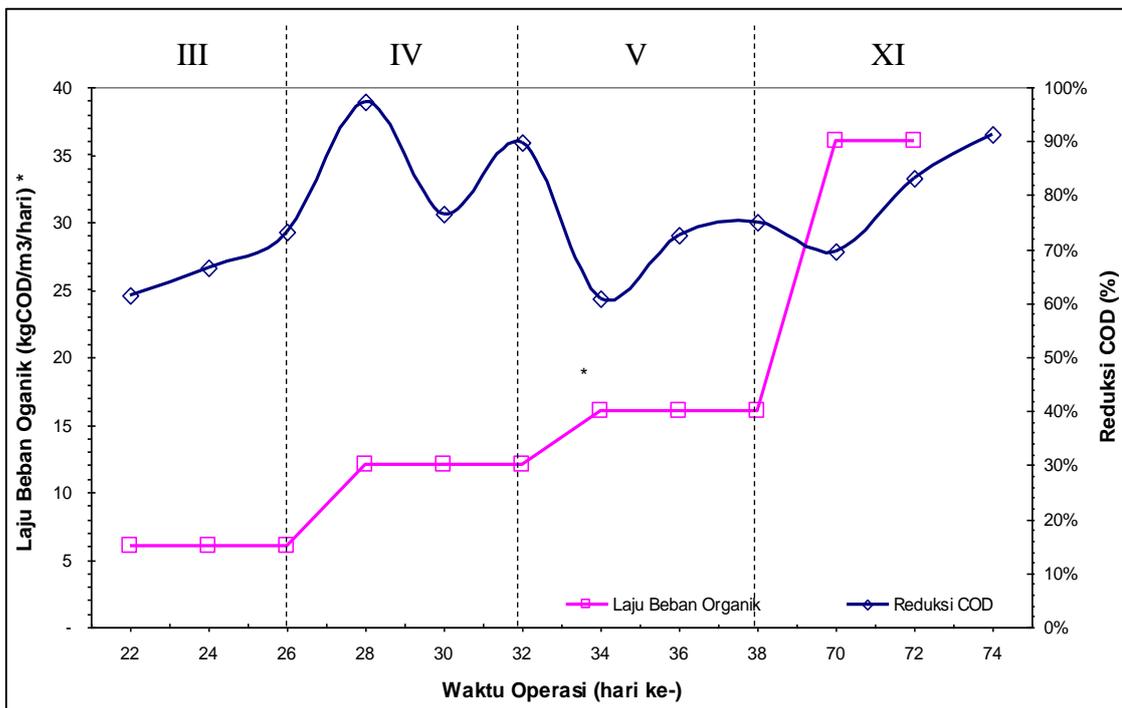
Laju beban organik limbah cair ke reaktor harus tepat sehingga konglomerat terimmobilisasi berkembang dengan baik. Pada eksperimen, laju beban organik yang

digunakan adalah 6-36 kgCOD/m³/hari dengan tingkat reduksi rata-rata berada pada rentang 67,07%-82,52%. Hal tersebut mengindikasikan bahwa laju beban organik yang diterapkan masih dapat diatasi oleh mikroorganisme anaerobik yang terimobilisasi di reaktor UASB untuk melakukan aktivitasnya.

Nilai laju beban organik yang diterapkan juga lebih besar/tinggi daripada yang disarankan untuk eksperimen skala laboratorium, yaitu sebesar 10-12 kgCOD/m³/hari (Lettinga dkk, 1980). Nilai tersebut juga lebih tinggi jika dibandingkan dengan beberapa eksperimen yang terkait dengan proses degradasi limbah cair baik tapioka, gula maupun limbah cair pabrik CPO seperti dipaparkan dalam Tabel 2.5, sehingga proses degradasi limbah cair yang berasal dari campuran limbah cair industri menggunakan bioreaktor UASB merupakan alternatif yang cukup baik.

5.2.3.3. Reduksi COD Pada Laju Beban Organik Kondisi Alami Versus Terkontrol

Kinerja reduksi kandungan COD limbah cair pada kondisi pH-nutrisi alami dan pH-nutrisi terkontrol ditampilkan pada Gambar 5.18 dan Gambar 5.19 berikut.

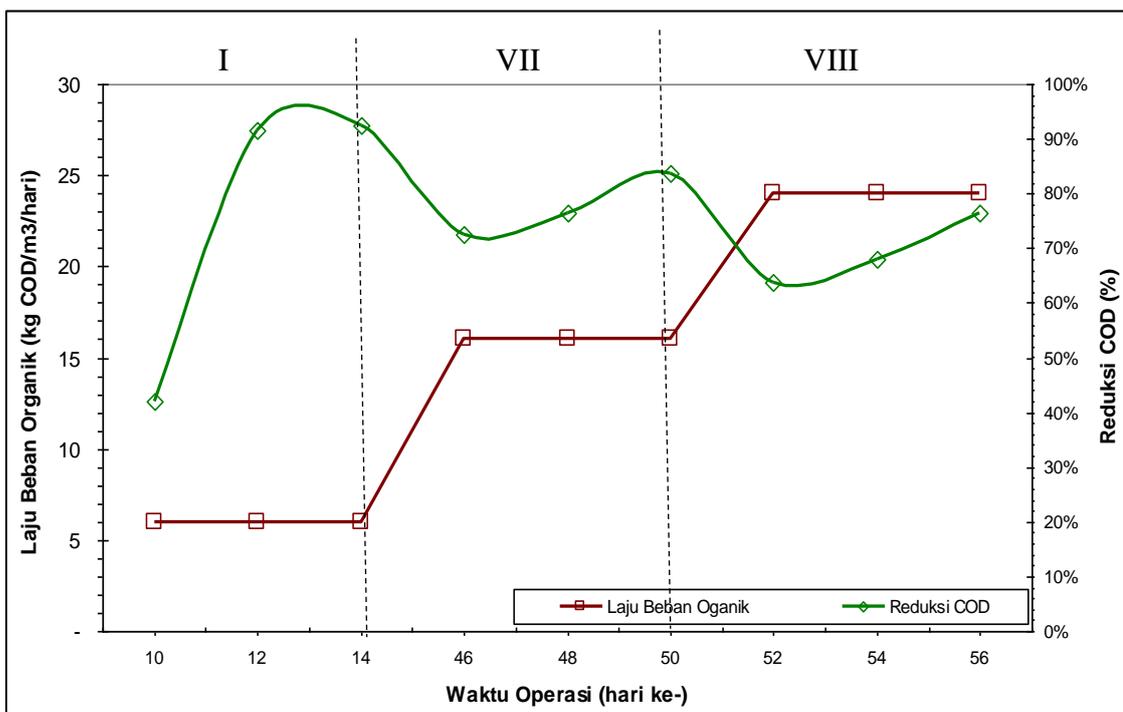


Gambar 5.18. Laju beban organik versus reduksi COD pada pH-nutrisi alami

Secara umum reduksi COD pada beragam laju beban organik untuk kondisi pH-nutrisi alami, seperti pada Gambar 5.18, berada pada rentang 60-90%. Peningkatan laju beban organik cenderung memperbesar nilai reduksi COD limbah cair. Secara pH-

nutrisi alami, mikroorganismen anaerobik membutuhkan untuk beraktivitas kembali seperti semula setelah laju beban organik dinaikan, kecuali pada laju beban organik yang rendah dimana tidak terjadi penurunan aktivitas mikroorganismen.

Pada run III hari ke-1 reduksi COD adalah sebesar 61,4%, yang meningkat menjadi 66,6% pada hari ke-3 dan menjadi 73,2% pada hari terakhir waktu run III. Ketika beban COD influen ditingkatkan dari 5.000 mg/L menjadi 10.000 mg/L dengan waktu tinggal yang tetap (20 jam) didapatkan peningkatan reduksi COD menjadi 89,65% pada hari terakhir operasi run IV. Hal ini membuktikan bahwa mikroba yang terdapat di dalam sludge telah beradaptasi terhadap laju beban organik yang besar dengan baik dengan waktu tinggal yang sama. Pada run V, ketika laju beban organik ditingkatkan dengan menurunkan waktu tinggal dan beban COD influen dibuat tetap ternyata berpengaruh terhadap menurunnya reduksi COD, yaitu 60,8% di hari ke-1 operasi kemudian 73,5% di hari ke-3 operasi serta 74,9% pada hari terakhir operasi. Ketika laju beban organik meningkat secara drastis dari 16 kg/m³hari menjadi 36 kg/m³hari ternyata menyebabkan meningkatnya reduksi COD yang disebabkan oleh mikroba dalam sludge telah beradaptasi dengan baik pada kondisi akhir run yang memiliki OLR tinggi, masa recovery mikroba dalam sludge juga terhitung cepat, pada hari ke-1 run XI dihasilkan reduksi COD 69,6 % menjadi 84,3 % pada hari ke-3 lalu meningkat menjadi 91,1% pada akhir run tersebut.



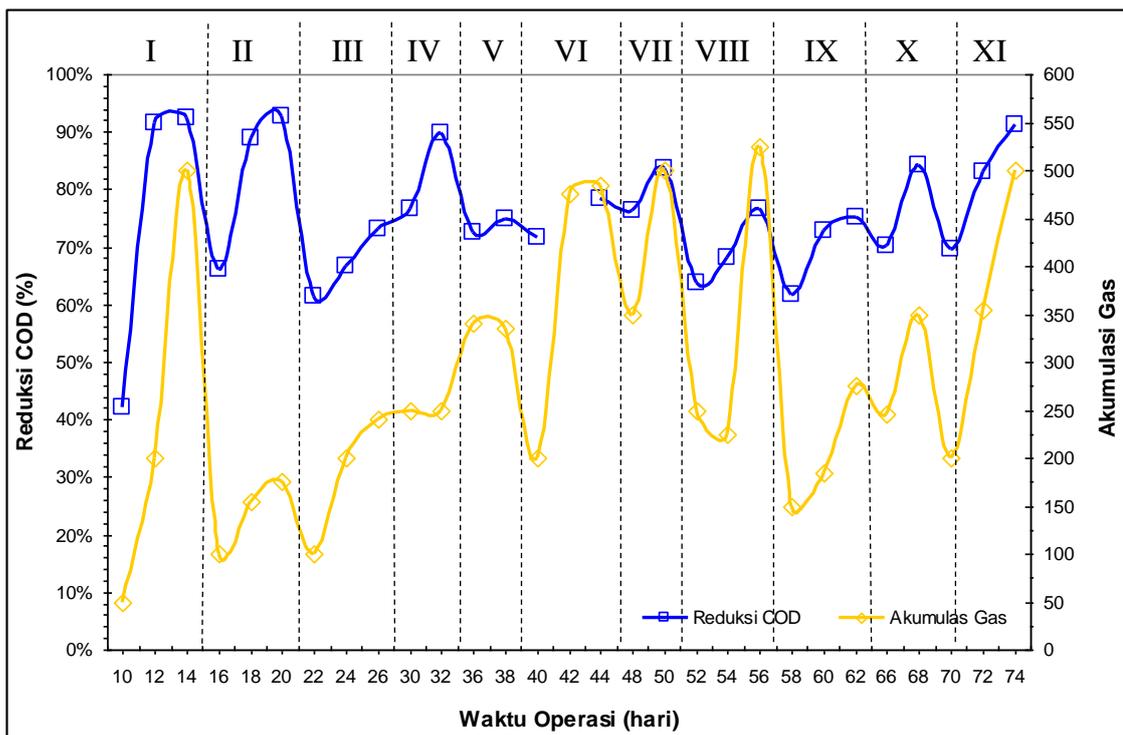
Gambar 5.19. Laju beban organik versus reduksi COD pada kontrol pH-nutrisi

Kondisi tingkat efisiensi biodegradasi COD limbah cair gabungan pada tahap pH-nutrisi terkendali dapat dilihat pada Gambar 5.19 berikut. Tingkat reduksi COD berada pada rentang 42-92%. Dapat diamati bahwa laju beban organik yang lebih tinggi cenderung menghasilkan tingkat reduksi COD yang lebih rendah

Dengan membandingkan kedua kondisi tersebut diatas dapat diketahui bahwa kondisi pH-nutrisi alami menghasilkan tingkat reduksi COD yang lebih besar daripada kondisi limbah cair yang memiliki pH dan nutrisi terkendali.

5.2.3.4. Tinjauan Akumulasi Gas Terhadap Reduksi COD dan Laju Beban Organik

Pembentukan gas sangat terkait dengan proses biodegradasi yang berlangsung. Selama penelitian dilaksanakan, akumulasi gas yang didapatkan sangat fluktuatif, seperti diilustrasikan dalam Gambar 5.20.

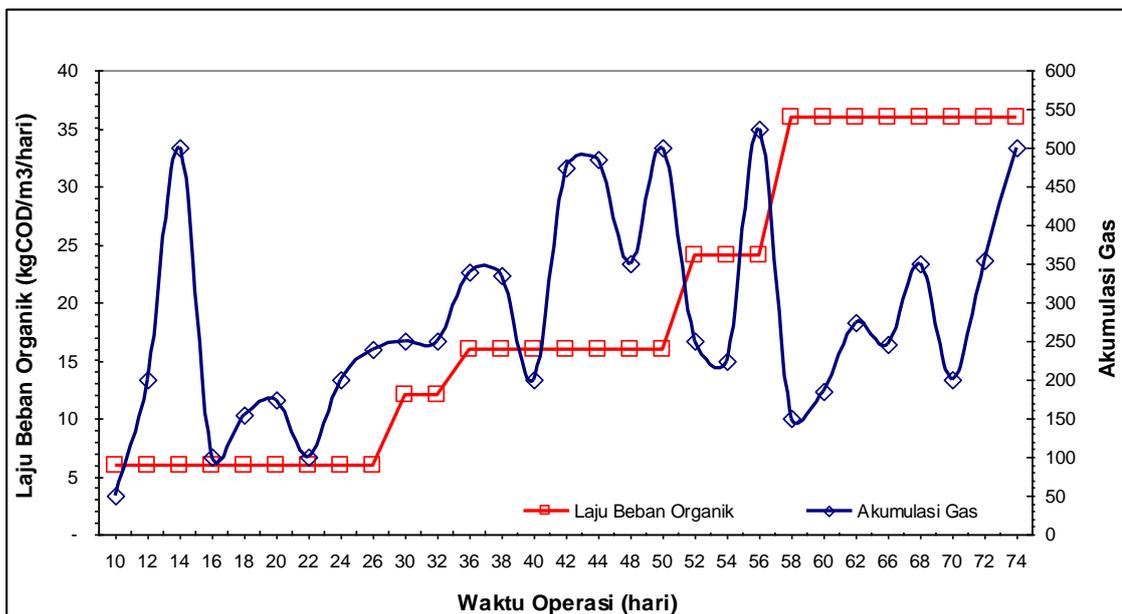


Gambar 5.20. Hubungan reduksi COD terhadap pembentukan gas

Dari gambar dapat diamati bahwa jumlah gas yang terakumulasi bertambah dengan naiknya tingkat reduksi COD limbah cair. Tingkat reduksi yang rendah menghasilkan akumulasi gas yang kecil. Jumlah gas yang diakumulasi berada pada rentang rata-rata 140-370 mL/jam dimana akumulasi terendah berada pada run II, sedangkan yang paling tinggi berada pada run VI. Tetapi akumulasi gas selama

eksperimen tidak mengindikasikan total gas yang dihasilkan oleh proses biodegradasi, karena pada penelitian diamati juga aliran gas yang ikut bersama effluen menuju ke tangki settler (kebocoran gas).

Pernyataan diatas dapat disimak dari hubungan diantara laju beban organik terhadap akumulasi gas yang diuraikan dalam Gambar 5.21 berikut. Pada laju beban organik yang rendah akumulasi gas yang dihasilkan cenderung rendah. Tetapi ketika laju alir ditingkatkan, jumlah akumulasi gas mulai meningkat. Namun hal yang bertolak belakang terjadi, yaitu ketika laju beban organik semakin diperbesar maka akumulasi gas justru semakin rendah. Hal tersebut mengindikasikan bahwa jumlah gas yang terbentuk ada yang terbawa ke aliran effluen.

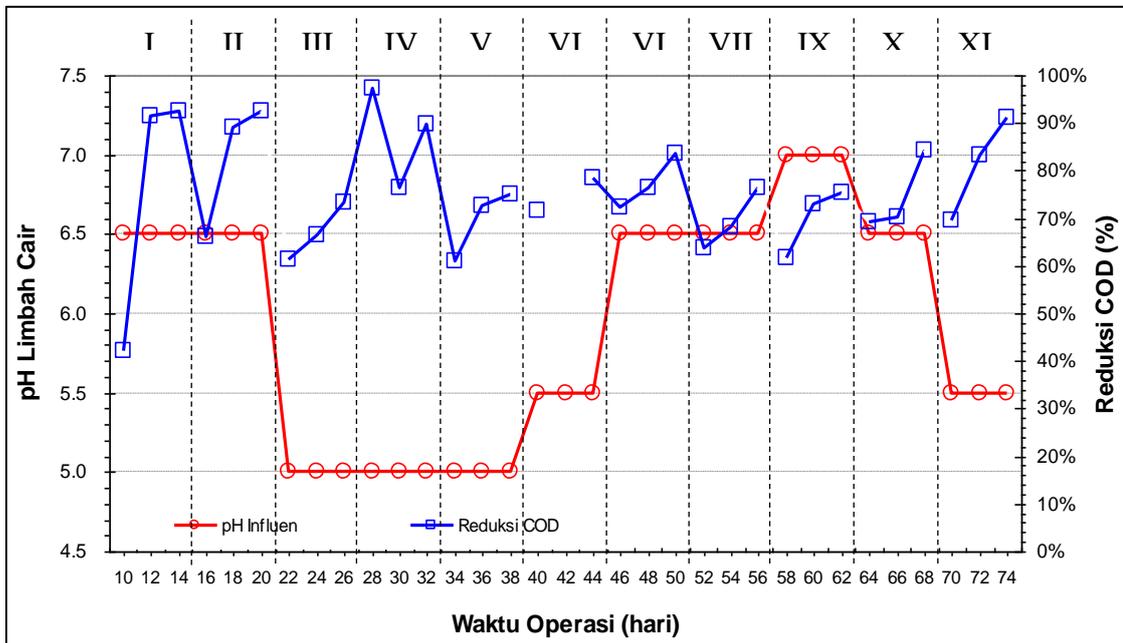


Gambar 5.21. Kondisi Hubungan variasi OLR terhadap pembentukan gas keseluruhan

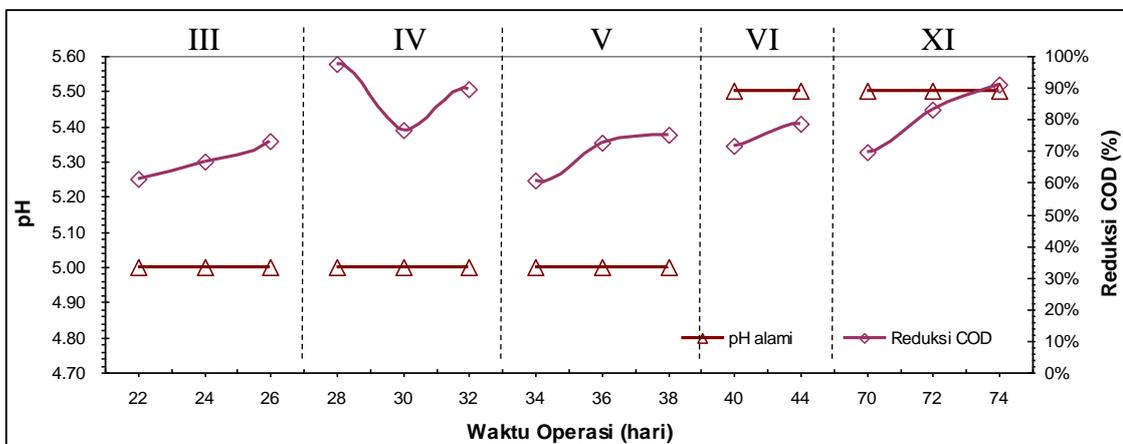
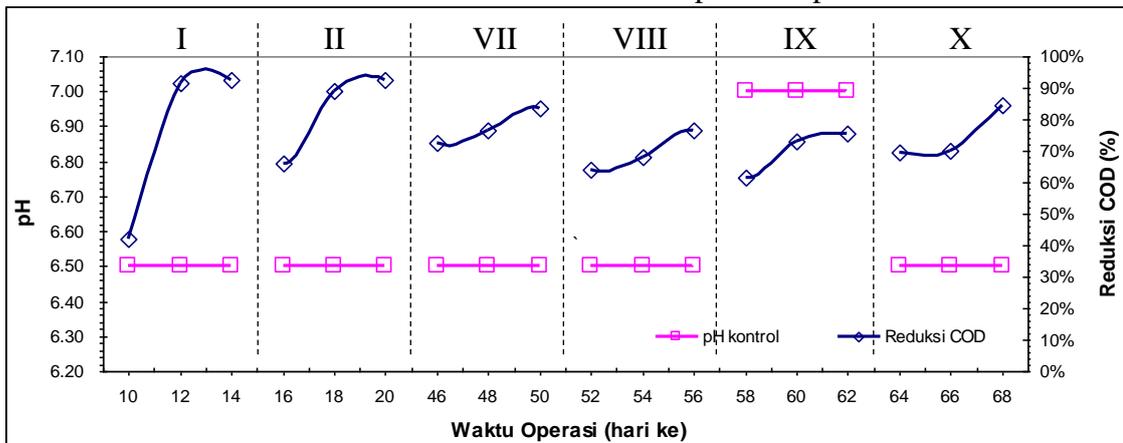
5.2.3.5. Karakteristik Degradasi Pada Variasi pH

Kondisi reduksi COD terhadap variasi pH secara keseluruhan dapat diamati pada Gambar 5.22 berikut. Tingkat reduksi COD yang sebesar 67,07%-82,52% (rata-rata, lihat Tabel 5.13) dihasilkan oleh proses biodegradasi yang berada pada rentang 5,0-7,0. dari gambar dapat diamati bahwa nilai pH 5,5 dan 6,5 menghasilkan nilai reduksi COD sebagian besar diatas 70%, sedangkan pada kelompok pH 5,0 dan 7,0 nilai reduksi COD mayoritas berada pada level 70%. Terlihat bahwa pada kondisi pH 5,5-6,5 proses degradasi COD limbah cair campuran berjalan lebih maksimal daripada biodegradasi dengan kondisi pH yang cenderung asam atau mendekati 7. Mikroba dalam lumpur anaerobik dapat bekerja secara optimal pada rentang pH 5,5-8, namun masih dapat

beraktivitas pada pH dibawah pH 5,5. Pada penelitian ini pengaruh pH influen terhadap proses degradasi COD effluen diamati dengan cara memvariasikan pH influen, yaitu pH kontrol 6,5 dan 7,0 dan pH alami 5,0 dan 5,5 seperti dipaparkan pada Gambar 5.23.



Gambar 5.22. Kondisi reduksi COD terhadap variasi pH keseluruhan



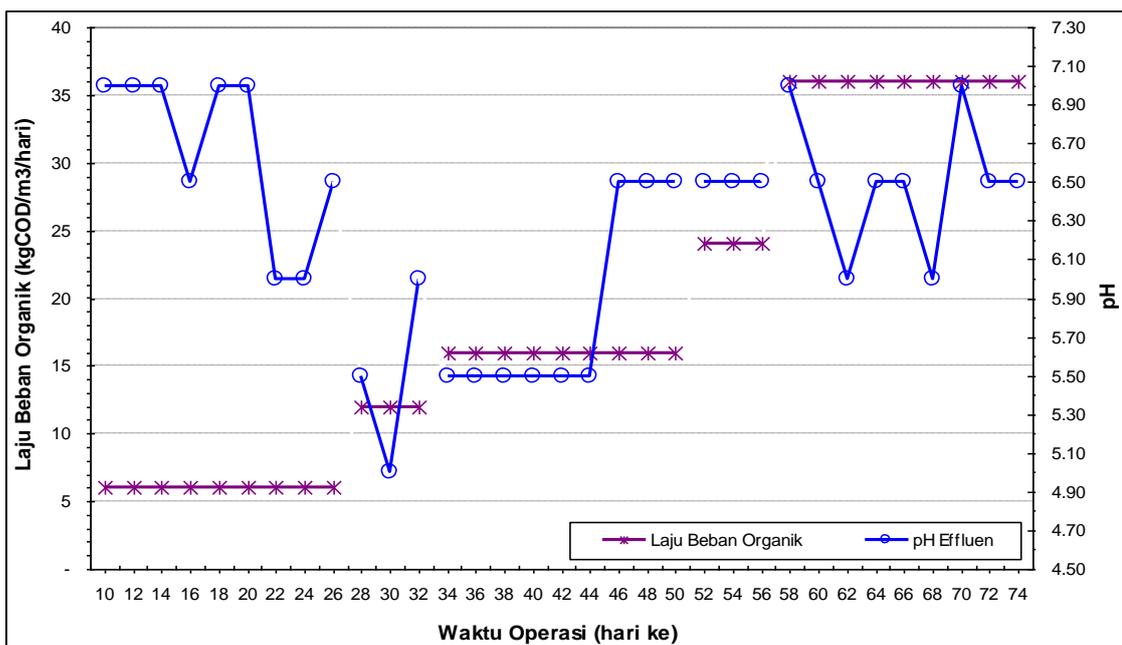
Gambar 5.23. Perbandingan kondisi pH terhadap reduksi COD (atas: pH kontrol; bawah: pH alami)

Pada proses biodegradasi dengan pH kontrol, nilai reduksi COD yang dihasilkan berada pada rentang 42-92%, sedangkan pH alami menghasilkan nilai reduksi COD yang lebih tinggi, yaitu sebesar 61-97%. Reduksi COD dengan pH kontrol pada nilai 6,5 memiliki tingkat reduksi yang lebih besar dibandingkan dengan reduksi COD dengan pH kontrol 7,0, sedangkan tingkat reduksi COD pada pH alami 5,5 adalah lebih besar daripada tingkat reduksi pada kelompok 5,0. Dan jika dibandingkan kedua kondisi diatas dapat ditemui bahwa pH alami 5,5 dan pH kontrol 6,5 memiliki nilai yang lebih baik dari kelompok pH lainnya, dengan tingkat reduksi berada pada rentang 70-80%.

5.2.3.6. Profil Laju Beban Organik Terhadap pH Effluen

Secara umum, pH effluen setelah keluar dari bioreaktor UASB berada pada rentang 5,5-7,0, seperti dijabarkan pada Gambar 5.24. Sebagian besar nilai pH effluen berada pada pH diatas 6,0. Hal tersebut mengindikasikan bahwa proses metanasi di reaktor berlangsung dengan baik.

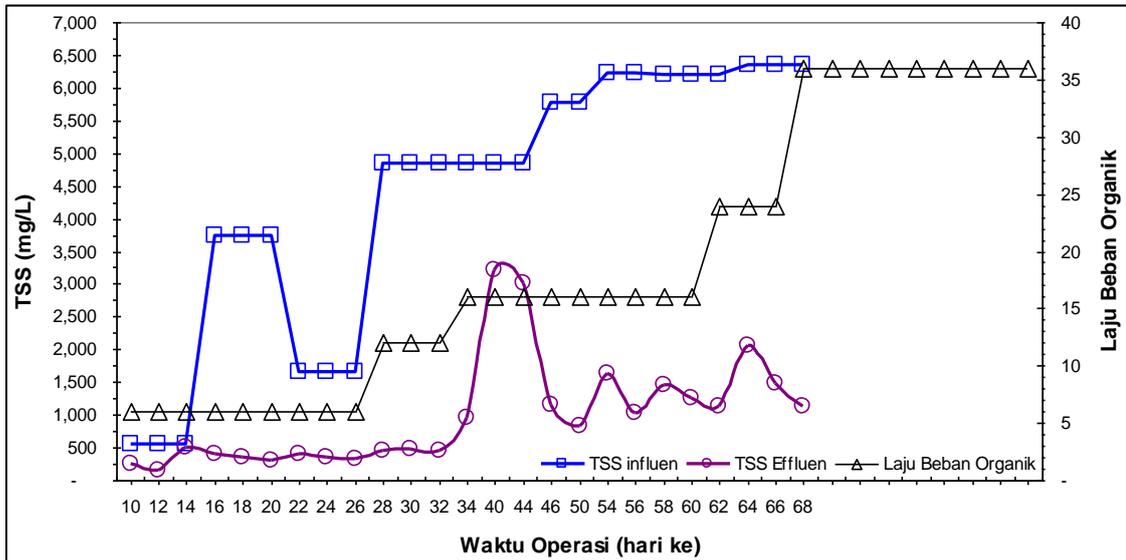
Dalam eksperimen didapatkan bahwa laju beban organik belum terlalu mempengaruhi perubahan pH effluen. Mayoritas nilai pH effluen berada pada nilai diatas 6,0. Peningkatan laju alir effluen diawal proses biodegradasi mengakibatkan turunnya pH sampai dibawah nilai 6,0, tetapi jika diamati pada proses selanjutnya ditemukan bahwa peningkatan laju beban organik tidak menurunkan pH effluen sampai dibawah 6,0. Hal tersebut mengindikasikan bahwa proses hidrolisis-fermentasi dan metanasi berjalan dengan kesetimbangan yang baik.



Gambar 5.24. Perubahan pH effluen akibat pengaruh laju beban organik

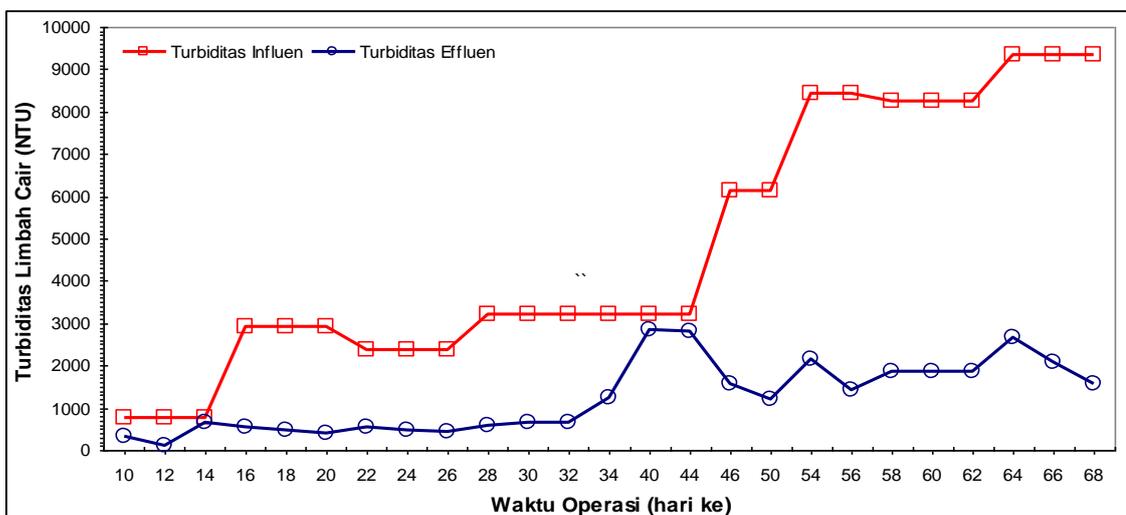
5.2.3.7. Kandungan TSS dan Faktor Kekeruhan Limbah Cair

TSS yang terkandung pada limbah cair yang digunakan cukup besar. Kandungan TSS yang terdapat di influen dan effluen diperlihatkan pada Gambar 5.25.



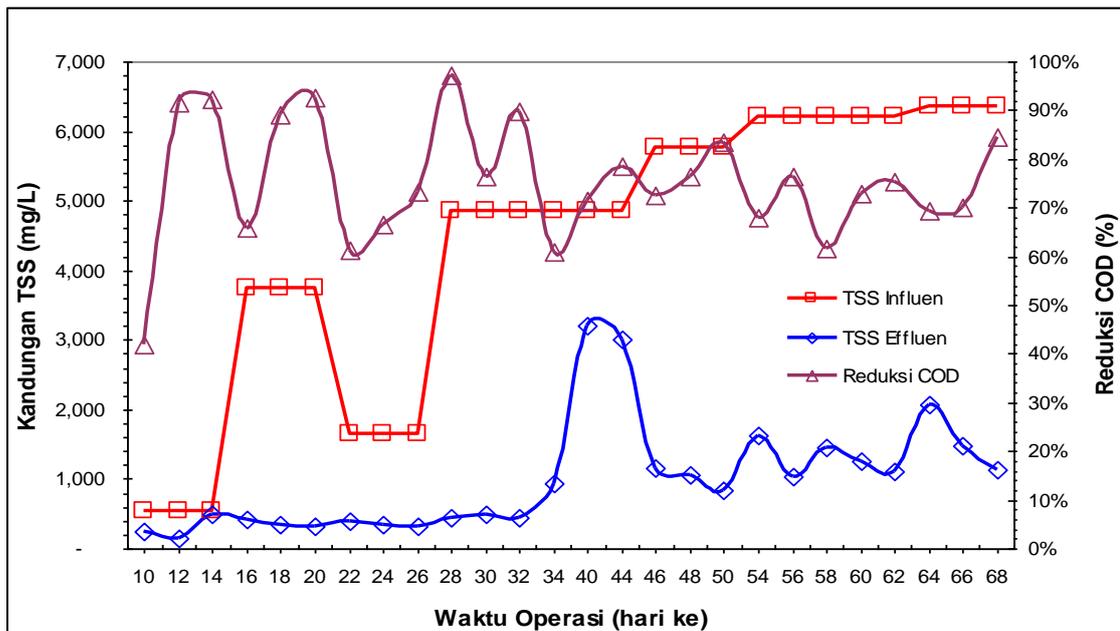
Gambar 5.25. Hubungan kandungan TSS Influen-Effluen dengan laju beban organik

Dari gambar dapat diamati bahwa kandungan TSS effluen berada pada rentang 315-3.113,5 mg/L (lihat Tabel 5.13). Unggun lumpur anaerobik yang terdapat di reaktor UASB cukup efektif dalam menyaring kandungan TSS influen. Tetapi kandungan TSS effluen tersebut adalah tinggi jika dibandingkan dengan standar baku mutu industri (lihat Tabel 2.1), sehingga dibutuhkan penanganan lebih lanjut akan hal tersebut. Demikian juga dengan tingkat kekeruhan effluen limbah cair, seperti diilustrasikan dalam Gambar 5.26 berikut.



Gambar 5.26. Tingkat kekeruhan influen-effluen

Seperti diuraikan sebelumnya, batasan aman konsentrasi SS didalam influen limbah cair untuk umpan reaktor UASB adalah tidak lebih dari 1.000 mg/L (Anh, 1998). Dalam eksperimen ini, kandungan TSS yang diumpankan ke bioreaktor UASB adalah 553-6.350 mg/L, yang ternyata masih dapat ditolerir oleh unggun mikroorganisme anaerobik, sehingga tingkat reduksi COD masih tinggi pada kandungan TSS yang tinggi seperti diuraikan dalam Gambar 5.27 berikut.



Gambar 5.27. Hubungan TSS dengan dengan reduksi COD

Dari gambar dapat diamati bahwa tingkat reduksi pada saat beban COD tinggi (> 4.000 mg/L) adalah tetap tinggi (60-85%), sehingga dapat disimpulkan bahwa dalam eksperimen didapatkan bahwa bioreaktor UASB masih dapat mengolah limbah cair campuran industri dengan tingkat efisiensi yang cukup tinggi pada saat kandungan TSS > 4.000 mg/L).

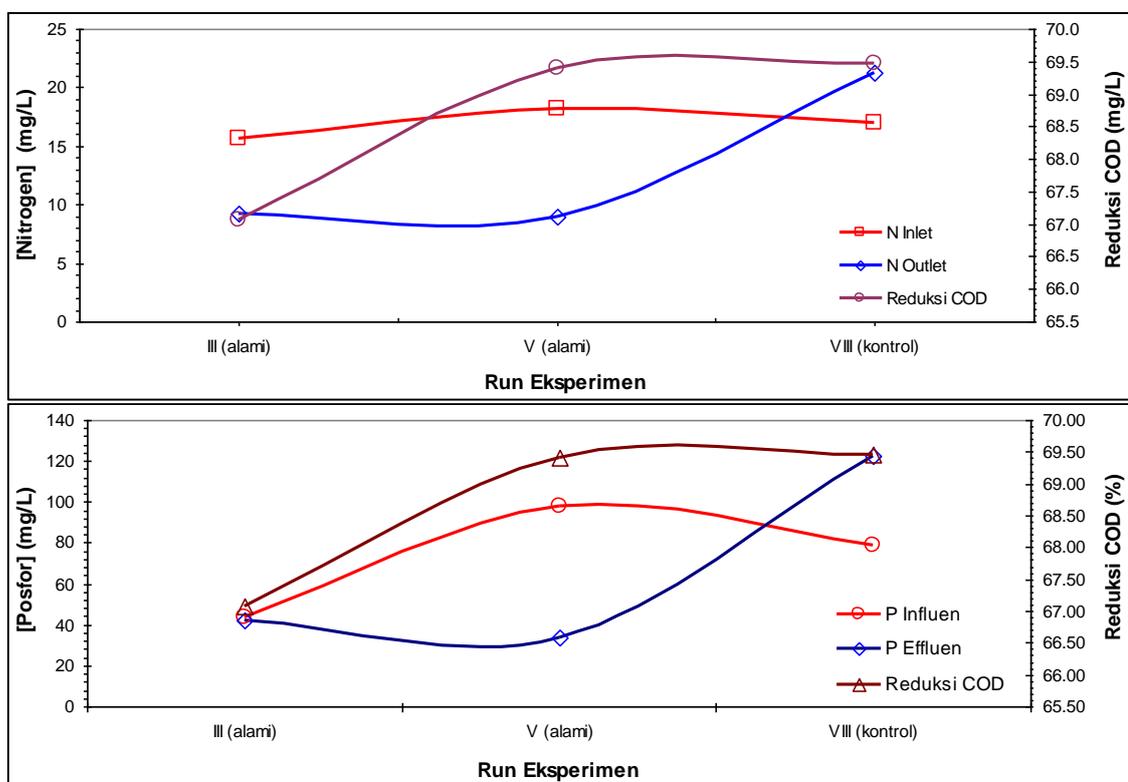
5.2.3.8. Kandungan TSS dan Faktor Kekeruhan Limbah Cair

Efektivitas penambahan nutrisi Nitrogen dan Posfor dalam limbah cair campuran dipaparkan dalam Gambar 5.28.

Dapat diamati bahwa pada kondisi nutrisi alami nilai kandungan elemen nitrogen dan posfor dapat direduksi dengan baik. Tetapi pada saat digunakan kontrol nutrisi kandungan elemen nitrogen dan posfor cenderung naik di akhir periode eksperimen. Akumulasi elemen nitrogen dan posfor di bioreaktor sebagai akibat dari pasokan

nitrogen dan posfor yang berlebihan (kontrol nutrisi) merupakan salah satu faktor yang mengakibatkan tingginya kandungan zat-zat tersebut di akhir periode kontrol nutrisi dalam penelitian ini.

Jika ditinjau dari segi reduksi COD didapatkan bahwa reduksi COD tetap tinggi pada saat bioreaktor beroperasi dengan pasokan nutrisi hanya yang berasal dari limbah cair, tidak ada suplai dari luar (kontrol nutrisi). Sehingga dapat disimpulkan bahwa kandungan nitrogen dan posfor yang terdapat dalam limbah cair (nutrisi alami) cukup menunjang aktivitas mikroorganisme anaerobik dalam mereduksi kandungan COD limbah cair gabungan.



Gambar 5.28. Profil kandungan nitrogen dan posfor

5.2.4. Permasalahan Operasi

5.2.4.1. Kebocoran Pada Reaktor

Kebocoran pada reaktor ini terjadi karena adanya tekanan gas yang cukup besar dari dalam reaktor. Tekanan ini tidak dapat keluar lewat saluran gas yang tersedia karena ukuran saluran yang agak kecil, sehingga gas yang ada di dalam reaktor menekan dinding reaktor dengan sangat kuat, dan terjadilah kebocoran pada reaktor tersebut. Setelah terjadi kebocoran reaktor tetap dapat dipergunakan karena pada saat

terjadi kebocoran pada reaktor langsung dilakukan perbaikan dengan cara mengelem bagian atas reaktor yang mengalami kebocoran.

5.2.4.2. Penyumbatan pada saluran keluaran dari reaktor menuju tangki sedimentasi.

Penyumbatan ini dapat terjadi karena adanya gaya tarik gas, akibat dari adanya tekanan yang sangat kuat di saat gas menuju saluran keluaran maka effluent yang seharusnya menuju saluran keluaran ke tangki sedimentasi, terbawa oleh aliran gas sehingga effluent masuk ke dalam saluran gas dan akhirnya menyumbat saluran gas keluar.

Dan ini juga merupakan salah satu penyebab terjadinya kebocoran pada reaktor. Setelah terjadi penyumbatan dilakukan penyedotan pada saluran keluaran dari reaktor menuju tangki sedimentasi dengan menggunakan pompa penyedot setelah aliran berjalan lancar, kemudian diatur bukaan valve sampai kira-kira 60% bukaan total.

5.2.4.3. Masuknya effluent ke dalam gas metering unit

Masuknya effluent ke dalam gas metering unit berkaitan dengan adanya penyumbatan pada saluran keluaran dari reaktor menuju tangki sedimentasi dan tekanan gas yang sangat kuat, akibat dari penyumbatan saluran keluaran dari reaktor effluent seharusnya menuju saluran keluaran ke tangki sedimentasi, terbawa oleh aliran gas sehingga effluent masuk ke dalam saluran gas dan terus mengalir melalui saluran gas hingga masuk ke dalam gas metering unit.

BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

1. Dalam eksperimen digunakan perbandingan volume 1:1:12 agar diperoleh kandungan COD campuran awal diatas 15.000 mg/L. Campuran ketiga jenis limbah cair pada penelitian ini menghasilkan limbah cair yang berwarna coklat keruh dengan pH sekitar 5.
2. Reduksi kandungan COD limbah cair pada periode start-up berlangsung dengan cepat. Mikroorganisme yang berasal dari lumpur anaerobik aktif yang diambil dari unit pengolahan limbah cair pabrik CPO dapat beraktivitas dengan tinggi dalam campuran limbah cair yang digunakan.
3. Reduksi kandungan COD limbah cair pada setiap kelompok eksperimen berada pada rentang yang cukup baik, yaitu sekitar 67,07%-82,52%.
4. Laju beban organik yang digunakan adalah 6-36 kgCOD/m³/hari, yang masih dapat diatasi oleh mikroorganisme anaerobik yang terimobilisasi di reaktor UASB untuk melakukan aktivitasnya, yang lebih besar daripada beberapa eksperimen yang terkait dengan proses degradasi limbah cair baik tapioka, gula maupun limbah cair pabrik CPO, sehingga proses degradasi limbah cair yang berasal dari campuran limbah cair industri menggunakan bioreaktor UASB merupakan alternatif yang cukup baik.
5. Kondisi pH-nutrisi alami berada pada rentang 60-90%, secara pH-nutrisi alami, mikroorganisme anaerobik membutuhkan waktu untuk beraktivitas kembali seperti semula setelah laju beban organik dinaikan, kecuali pada laju beban organik yang rendah dimana tidak terjadi penurunan aktivitas mikroorganisme.
6. Pada tahap pH-nutrisi terkendali tingkat reduksi COD berada pada rentang 42-92%. Dapat diamati bahwa laju beban organik yang lebih tinggi cenderung menghasilkan tingkat reduksi COD yang lebih rendah. Kondisi pH-nutrisi alami menghasilkan tingkat reduksi COD yang lebih besar daripada kondisi limbah cair yang memiliki pH dan nutrisi terkendali.

7. Jumlah gas yang diakumulasi berada pada rentang rata-rata 140-370 mL/jam, tetapi akumulasi gas tersebut tidak mengindikasikan total gas yang dihasilkan oleh proses biodegradasi, karena pada penelitian diamati juga aliran gas yang ikut bersama effluen menuju ke tangki settler.
8. Tingkat reduksi COD rata-rata sebesar 67,07%-82,52% dihasilkan oleh proses biodegradasi yang berada pada rentang 5,0-7,0. Pada kondisi pH 5,5-6,5 proses degradasi COD limbah cair campuran berjalan lebih maksimal daripada biodegradasi dengan kondisi pH yang cenderung asam atau mendekati 7.
9. Proses biodegradasi dengan pH kontrol menghasilkan reduksi COD sebesar 42-92%, sedangkan reduksi COD pada kondisi pH alami adalah lebih tinggi (sekitar 61-97%). Reduksi COD dengan pH kontrol pada nilai 6,5 memiliki tingkat reduksi yang lebih besar dibandingkan dengan reduksi COD dengan pH kontrol 7,0, sedangkan tingkat reduksi COD pada pH alami 5,5 adalah lebih besar daripada tingkat reduksi pada kelompok 5,0. Dan jika dibandingkan kedua kondisi diatas dapat ditemui bahwa pH alami 5,5 dan pH kontrol 6,5 memiliki nilai yang lebih baik dari kelompok pH lainnya, dengan tingkat reduksi berada pada rentang 70-80%.
10. Mayoritas nilai pH effluen berada pada nilai diatas 6,0. Hal tersebut mengindikasikan bahwa proses hidrolisis-fermentasi dan metanasi berjalan dengan kesetimbangan yang baik.
11. Unggun lumpur anaerobik yang terdapat di reaktor UASB cukup efektif dalam menyaring kandungan TSS influen dan mereduksi tingkat kekeruhannya, tetapi nilai TSS dan kekeruhan effluen adalah tinggi jika dibandingkan dengan standar baku mutu industri, sehingga dibutuhkan penanganan lebih lanjut akan hal tersebut.
12. Kandungan TSS yang diumpankan ke bioreaktor UASB adalah 553-6.350 mg/L. Bioreaktor UASB masih dapat mengolah limbah cair industri campuran dengan tingkat efisiensi yang cukup tinggi pada saat kandungan TSS > 4.000 mg/L).
13. Kandungan nitrogen dan posfor yang terdapat dalam limbah cair (nutrisi alami) cukup menunjang aktivitas mikroorganisme anaerobik dalam mereduksi kandungan COD limbah cair gabungan

6.2. Saran

1. Dibutuhkan pengamatan lebih panjang tentang tingkat reduksi yang terdapat pada satu perlakuan eksperimen agar dapat diketahui nilai reduksi maksimum COD yang dihasilkan oleh suatu perlakuan dalam penelitian ini.
2. Nilai COD, TSS dan tingkat kekeruhan effluen berada pada rentang yang lebih besar dari standar nilai akhir yang ditetapkan oleh Pemerintah untuk baku mutu limbah cair industri, sehingga perlu dipertimbangkan untuk pemenuhan standar baku mutu tersebut dengan studi lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- Adebowale, A.A., 1990, *Doctorate Thesis: Biomass stabilisation in the UASB reactor*, UMIST, Manchester –England, p. 50-80, 265-275
- Agustian, J., Pramono, D., dan Ryan, A.S., 2006, *Continous start-upstrategies of UASB operation degrading tapioca wastewater*, Proc. HEDS Sem Sci Tech, Jakarta
- Agustian, J. dan Santoso, B.I., 2006, *Proses degradasi limbah cair substrat ganda secara biologi anaerobik*, Laporan Penelitian Mandiri, Universitas Lampung
- Ahmad, AL., Ismail, S. dan Bhatia, S., 2003, *Water recycling from palm oil mill effluent (POME) using membrane technology*, Desalination, 157, p. 87-95
- Amatya, P L., 1996, *Anaerobic Treatment of Tapioca Starch Industry Wastewater by Bench scale Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) reactor*. Master Thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Amri, K., 1999. *Biokonversi Penangkal Bau*. Majalah Intisari.
- Anh, N.T. 1998. *Methods for UASB Reactor Design*. Camber Southeast, Inc. <http://www.waterandwastewater.com>
- Anonim, 1997,
- Annachatre, A. P. dan Amatya, P. L., 2000, *UASB Treatment Of Tapioca Starch Wastewater*, Journal Of Environmental Engineering. Dec. 2002: 1149-1152.
- APHA (1985), *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 16th ed., Washington DC: American Public Health Association
- Badan Pengendalian Dampak Lingkungan. 1996. *Buku panduan Teknologi Pengendalian Dampak Lingkungan Industri Tapioka di Indonesia*. Jakarta.
- Bengstone, B. E. dan Triet, T., 1994. *Tapioca-starch wastewater toxicity characterized by Microtox and Duckweed tests*, Ambio, 23(8), 473–477.
- BAPEDALDA Lampung, 2004, *Hasil analisis terhadap pengolahan gula di Lampung*, Lampung
- Borja, R.P. dan Banks, C.J., 1994, *Thermophillic semi-continous anaerobic treatment of palm oil mill effluent*, Biotech. Lett., Vol 15(7), pp. 761-766
- Blaszczyk, R., Gardner, D., dan Kosaric N., 1994, *Response and recovery of anaerobic granules from shock loading*, Wat. Res., Vol. 28(3), pp. 675-680
- Callander, I.J., Clark, T.A., dan McFarlane, P.N., 1987, *Anaerobic digestion of wood ethanol stillage using upflow anaerobic sludge blanket reactor*, Biotech. and Bioeng., Vol. 30, pp. 896-908
- Callander, I.J. dan Barford J.P., 1983, *Recent advances in anaerobic digestion technology*, Proc. Biochem., Vol. 8, pp. 24-30
- Chaiprasert, P., Nophanata, A., Chayawattana, T., Wangnai, C., Rukruem, W., Kullavanijaya, P., Bhumiratana, S., dan Tanticharoen, M., 2003, *The biogas planhts high rate anaerobic fixed film technology for agroindustrial wastewater*, KMUTT, Thailand
- Cohen, T., 2004, *Waste to energy: a waste solutions success in Thailand*, Press Release, Waste solutions Ltd., New Zealand
- Djarwati, Iffatul Fauzi, dan Sukani, 1993. *Pengolahan Air Limbah Industri Tapioka Secara Kimia Fisika*, Laporan Penelitian. Departemen Perindustrian RI, Semarang
- Fang, H.H.P. dan Chui, H.K., 1993, *Maximum COD loading capacity in UASB reactors at 37°C*, J. Env. Eng., Vol. 119(1), pp. 103-119

- Fang, H.H.P., Li, Y.Y. dan Chui H.K., 1995, *Performance and sludge characteristics of UASB process treating propionate-rich wastewater*, *Wat. Res.*, Vol. 29(3), pp. 895-898
- Field, J., 2002, *Anaerobic Granular Sludge Bed Technology*, *Anaerobic Biotechnology*. http://uasb.org/discover/anaerobic_biotechnologies.htm
- Ghangrekar, M.M. dkk, 1996, "Experience with UASB Reactor Start-up Under Different Condition." *Wat.Sci.Tech.* 34 (5-6): 421-428.
- Grotenhuis, J.T.C., Kissel, J.C., Plugge, C.M., Stams, A.J.M., dan Zehnder, A.J.B., 1991, *Role of substrate concentration in particle size distribution of methanogenic granular sludge in UASB reactors*, *Wat. Res.* Vol. 25(1), pp. 21-27
- Hien, P.G., Viet, N.T., Oanh, L.T.K. dan Lettinga, G., 1996, *Closed wastewater system in the tapioca industry in Vietnam*, *Wat. Sci. Tech.*, vol. 39(5), pp. 89-96
- Jeganaesan, J. dan Annachatre, A., 2002, *State of wastewater management in agro-based starch industry in Thailand*, *WWTM Newsletter*, March
- Kwong, T.S. dan Fang, H.H.P., 1996, *Anaerobic digestion of cornstarch in wastewater in two upflow reactors*, *J. Env. Eng.*, Vol. 122(1). pp. 9-17
- Kiely, 1997. *Environmental Engineering*. New York: McGraw-Hill.
- Kozariszczuk, M., 2002, *PhD Thesis: Anaerobic digestion of sugar cane molasses in fixed bed reactors with different immobilisation materials*, Technical University of Berlin
- Lettinga, G. dan Pol, L.H., 1986, *Advanced reactor design, operation and economy*, *Wat. Sci. and Tech.*, Vol. 18(12), pp. 99-108
- Lettinga, G., van Velsen, A.F.M., Hobma, S.W., de Zeeuw, W. dan Klapwijk A., 1980, *Use of the upflow sludge blanket (USB) reactor concept for biological wastewater treatment especially for anaerobic treatment*, *Biotech. and Bioeng.*, Vol. 27, pp. 699-734
- Lespito, S.S. dan Rintala, A.J., 1997, *Start-up and operation of laboratory scale thermophilic upflow anaerobi sludge blanket reactors treating vegetable processing wastewaters*, *J. Chem. Tech. Biotech.*, Vol 68, pp. 331-339
- Ma, A.N., 2000, *Palm Oil Developments*, Vol. 30, pp. 1-10
- Mai, H.N.P., Thai, L.N., Duong, H.T. and Viet, N.T. 2002. *Effect of Nutrient and Trace Element on Treatment Efficiency in UASB-Reactor.*" *J. ARPET. Asian Institute of Technology*. Vol: 3 March 2002. Vietnam.
- Metcalf dan Eddy, Inc., 1991, *Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse*, 3rd ed., New York, Mc Graw Hill Inc.
- Mintati, S., 2002. *Penjernihan Effluent IPAL Industri Gula Tebu dengan Bioreaktor*, Bandar Lampung.
- Ngoc, P.M.H., 2006, *Integrated treatment of tapioca processing industrial wastewater: based on environmental biotechnology*, Wageningen University Dissertation No. 4019
- Plevin, R. dan Donnelly, D., 2004, *Converting waste to energy and profit*, *Renewable Energy World*, September-October, p: 74-81
- Pohland, F.G. dan Malina Jr., J.F., 1992, *Design of anaerobic processes for the treatment of industrial and municipal waste*, Lancaster, Technomic Pub Co
- Pol, L.H., de Zeeuw, W., Dolfing, J., dan Lettinga, G., 1982, *Cultivation of well adapted pelletised methanogenic sludge*, *Biotech. Lett.*, Vol. 4(5), pp. 329-332
- Pol, L.H., Euler, H., Scroth, S., Wittur, T. dan Gros Ganz, D., 1998, *GTS seccoral project "promotion of anaerobic technology for the treatment of municipal and industrial*

- wastes and wastewaters, Proc. 5th Lat. Am. Worksh-Sem. "Wastewater Anaerobic Treatment, Chile
- Quang, N.T., 1986. *Tapioca starch Wastewater Treatment by Aerobic Fluidized Bed Process. Master Thesis*, AIT, Bangkok : EV 86-4.
- Ragen, A.K., Hoi, W.S. dan Ramjeawon, T., 2001, *Pilot plant investigation of the treatment of synthetic sugar factory wastewater using the upflow anaerobic sludge blanket (UASB) process*, AMAS Food and Agricultural Research Council, Mauritius
- Salim, J., 2001, *Developing national capability to implement clean development mechanism (CDM) in ASEAN*, ASEAN CDM Ins. Program, UNIDO
- Schmidt, J.E. dan Ahring, K., 1996, *Granular sludge formation in UASB reactors*, Biotech. Bioeng., Vol. 49, pp. 229-246
- Singh, R.P., Kumar, S. dan Ojha, C.S.P., 1998, *A critique on operational strategy for start-up of UASB reactors: Effects of sludge loading rate and seed/biomass concentration*, Biochem. Eng. J., Vol. 1, pp. 107-119
- Singh, R.P., Kumar, S. dan Ojha, C.S.P., 1999, *Nutrient requirement for UASB process: A Review*, Biochem. Eng. J., Vol. 3, pp. 35-54
- Sutikno, Triwiyono, Irawan, B. dan Damayanthi, A., 1999, *Pembentukan pellet biomassa dan penurunan kadar pati media cair sintesis berkadar pati 0,5-2,5% oleh Aspergillus sp.*, J. Man. Kua. Ling., Vol 1(1), pp. 57-68
- Uemura, S. dan Harada, H., 1995, *Inorganic composition and microbial characteristic of methanogenic granular sludge grown in a thermophilic UASB reactor*, Appl. Micr. and Biotech., Vol. 43, pp. 358-364
- van Lier, J.B., 2006, *Anaerobic Industrial Wastewater Treatment: Prospectives for closing water and resource cycles*, Wageningen University and Lettinga Associates Foundation
- Wah, W.P., Sulaiman, N.M., Nachiappan, M., dan Varadaraj, B., 2002, *Pre-treatment and membrane ultrafiltration using treated palm oil mill effluent (POME)*, Songklanakarin J. Sci. Tech, Vol. 24 (suppl), pp. 891-898
- White, C. 2000. *Sewage Treatment-Solid in Wastewater*. Biotank Ltd. <http://biotank.co.uk>
- Wiegant, M.W. dan de Man, A.W.A., 1980, *Granulation of biomass in thermophilic UASB reactors treating acidified wastewaters*, Biotech. and Bioeng., Vol. 28, pp. 718-727
- Wu, W.M., Hu, J., Gu, X., Zhao, H. dan Gu, G., 1987, *Cultivation of anaerobic granular sludge in UASB reactors with aerobic activated sludge as seed*, Wat. Res., Vol. 21 No. 7. pp. 787-799
- Zinatizadeh, A.A.L., Mohamed, A.R., Abdullah, A.Z., Mashitah, M.D., Isa, M.H., dan Najafpour, G.D., 2006, *Process modelling and analysis of palm oil mill effluent treatment in an up-flow anaerobic sludge fixed film bioreactor using response surface methodology (RSM)*, J. Wat. Res., Vol. 07(005), pp.

LAMPIRAN



POMPA PERISTALTIK



PH METER



SPEKTROMETER



COD REACTOR



BIOREAKTOR UASB



UNIT LENGKAP SISTEM BIOREAKTOR UASB

KARAKTERISASI PROSES ANAEROBIK PEROMBAK SUBSTRAT MULTI-KARBON DENGAN TEKNOLOGI SEL TERIMOBILISASI UASB

Joni Agustian*, Lilis Hermida

ABSTRAK

Pengolahan limbah cair secara biologi anaerobik dengan umpan campuran limbah cair dari industri tapioka, industri gula dan pabrik pengolahan minyak kelapa sawit merupakan proses pengolahan dengan prospek yang baik karena kandungan senyawa karbon dalam limbah cair ketiga industri tersebut cukup tinggi. Umpan yang terdiri atas campuran limbah cair ketiga industri dengan perbandingan tertentu diolah dengan teknologi proses anaerobik sel terimobilisasi UASB. Penelitian ini menggunakan reaktor UASB skala laboratorium. Variasi konsentrasi COD dengan beban maksimal 15.000 mg/L, waktu tinggal hidrolis cairan 10-20 jam, kondisi pH dan nutrisi umpan yang alami dan terkontrol dievaluasi dalam penelitian.

Dalam eksperimen digunakan perbandingan volume 1:1:12 agar diperoleh kandungan COD campuran awal diatas 15.000 mg/L. Campuran ketiga jenis limbah cair pada penelitian ini menghasilkan limbah cair yang berwarna coklat keruh dengan pH sekitar 5. Reduksi kandungan COD limbah cair pada setiap kelompok eksperimen berada pada rentang yang cukup baik, yaitu sekitar 67,07%-82,52% pada laju beban organik 6-36 kgCOD/m³/hari. Kondisi pH-nutrisi alami menghasilkan tingkat reduksi COD yang lebih besar daripada kondisi limbah cair yang memiliki pH dan nutrisi terkendali. Jumlah gas yang diakumulasi berada pada rentang rata-rata 140-370 mL/jam. Pada kondisi pH 5,5-6,5 proses degradasi COD limbah cair campuran berjalan lebih maksimal daripada biodegradasi dengan kondisi pH yang cenderung asam atau mendekati 7. Proses biodegradasi dengan pH kontrol menghasilkan reduksi COD sebesar 42-92%, sedangkan reduksi COD pada kondisi pH alami adalah lebih tinggi (sekitar 61-97%). Jika dibandingkan kedua kondisi diatas dapat ditemui bahwa pH alami 5,5 dan pH kontrol 6,5 memiliki nilai yang lebih baik dari kelompok pH lainnya, dengan tingkat reduksi berada pada rentang 70-80%. Mayoritas nilai pH effluen berada pada nilai diatas 6,0, sehingga proses hidrolisis-fermentasi dan metanasi berjalan dengan kesetimbangan yang baik. Kandungan TSS yang diumpankan ke bioreaktor UASB adalah 553-6.350 mg/L, yang masih dapat diolah oleh bioreaktor UASB dengan tingkat efisiensi yang cukup tinggi pada saat kandungan TSS > 4.000 mg/L. Kandungan nitrogen dan posfor yang terdapat dalam limbah cair (nutrisi alami) cukup menunjang aktivitas mikroorganisme anaerobik dalam mereduksi kandungan COD limbah cair gabungan. Kesimpulan yang didapat adalah bioreaktor UASB dapat beroperasi dengan baik dalam mengolah limbah cair campuran dari tiga jenis industri tersebut.

1. PENDAHULUAN

Keberadaan industri gula tebu, tepung tapioka dan *crude palm oil* (CPO) telah meningkatkan pendapatan dan penyediaan lapangan kerja di propinsi Lampung. Tetapi proses produksi ketiga jenis industri ini menghasilkan limbah cair dalam jumlah besar dengan konsentrasi COD dan BOD yang tinggi, sehingga harus diolah sebelum dialirkan ke pembuangan akhir (lingkungan badan air) agar ramah lingkungan.

Instalasi pengolahan air limbah (IPAL) ketiga jenis industri tersebut bersifat open-circuit on-factory dimana limbah cair diolah dalam kolam-kolam terbuka (lagoon/pond) yang berlokasi di area pabrik secara anaerobik/anaerobik fakultatif untuk waktu tinggal yang cukup lama. Sistem proses biologi konvensional tersebut efektif menyisahkan kandungan karbon, nitrogen dan fosfor limbah cair.

Proses open-circuit tersebut sering menimbulkan masalah seperti bau busuk dan kebutuhan area kolam pengolahan yang relatif luas. Lebih dari itu, karena bersifat anaerobik, terjadi pelepasan gas metana (CH₄) ke udara terbuka sehingga dapat mencemari lapisan atmosfer. Oleh karena itu sangat dibutuhkan penerapan pengolahan limbah cair yang bersifat closed-circuit seperti teknologi proses berbasis reaktor UASB yang telah banyak dipakai didunia (Pol dkk, 1998; van Lier, 2006).

Penerapan pengolahan limbah cair secara on-factory didasarkan atas kewajiban pabrik untuk mengolah buangan/ limbah yang dihasilkan. Hal tersebut mengakibatkan pihak pabrik harus menyediakan pembiayaan investasi dan pengoperasian unit IPAL. Sistem pond/lagoon tersebut digunakan pihak industri dengan pertimbangan faktor biaya pengolahan yang relatif rendah dibandingkan metode pengolahan lainnya (Metcalf dan Eddy, 1991) dan unit IPAL menghasilkan produk yang tidak dapat dijual. Dengan beban pengeluaran tersebut, harga jual produk pabrik menjadi lebih tinggi. Agar proses produksi pabrik memiliki biaya yang relatif rendah dan pihak pabrik dapat lepas dari beban mutu limbah cair, salah satu cara adalah mengubah karakter IPAL dari on-factory menjadi off-factory. Hal tersebut sangat menguntungkan pihak pabrik. Lebih dari itu, lahan/area untuk unit IPAL dapat dikonversi ke lahan perkebunan, sehingga produksi dapat bertambah.

Berdasarkan uraian diatas, penelitian tentang karakterisasi proses anaerobik perombak substrat multi-karbon dengan teknologi sel terimobilisasi UASB (upflow anaerobik sludge blanket) berguna mengkaji pengembangan IPAL closed-circuit yang mengolah limbah cair dari industri-industri tersebut (off-factory), sehingga upaya untuk mewujudkan suatu industri dengan prinsip wastewater treatment, energy generation and water preparation suatu saat dapat diterapkan.

2. BIOREAKTOR UASB

Teknologi berbasis reaktor *upflow anaerobic sludge blanket* (UASB) sangat efektif dalam mengolah berbagai jenis limbah cair, seperti limbah cair industri makanan/minuman, pertanian, pulp/kertas, petrokimia dan farmasi (Fang dkk, 1995; Singh dkk, 1998). Reaktor UASB bergantung pada pengembangan konglomerat mikroba anaerobik (Lettinga dkk, 1980). Faktor limbah cair, kondisi operasi reaktor dan jenis inokulum juga mempengaruhi keberhasilan operasinya (Wu dkk, 1987).

2.1. Deskripsi Proses

Pada bioreaktor UASB, limbah cair yang akan diolah dialirkan dari bagian bawah reaktor dan mengalir keatas melalui *sludge bed* berbentuk granular atau partikel yang merupakan kumpulan mikroorganisme. Kontak kontinyu limbah cair dengan mikroba yang terimmobilisasi (*self-immobilised*) di reaktor memicu perombakan anaerobik (Schmidt dan Ahring, 1996). Proses asidogenesis dan metanogenesis berlangsung disepanjang reaktor (Annachatre dan Amatya, 2000). Effluen dan gas akan keluar dari bagian atas reaktor.

Selama degradasi anaerobik berlangsung, fluidisasi *sludge bed* dapat terjadi, yang disebabkan oleh aliran gas produk dan limbah cair. Aliran tersebut mengakibatkan mikroba terdistribusi ke bagian atas reaktor. Konglomerat mikroorganisme dengan

daya serap tinggi akan balik ke *sludge bed*, tetapi mikroba terflokulasi dan terdispersi akan mengalir bersama effluen ke peralatan hilir.

2.2. Start-Up Reaktor

Start-Up reaktor merupakan waktu awal untuk mencapai reduksi COD yang stabil (Ghangrekar dkk, 1996). Proses ini memegang peran signifikan untuk kestabilan operasi UASB (Lettinga dkk, 1980). Strategi inisiasi yang tepat merupakan syarat utama, sehingga harus dilakukan dengan hati-hati (Singh dkk, 1998). Reduksi waktu *start-up*, tetapi kultivasi dan granulasi mikroba berlangsung dengan baik akan meningkatkan kapabilitas sistem UASB, sehingga proses kontinu dengan beban tinggi dapat dijalankan dengan segera (Ghangrekar dkk, 1996). Faktor berpengaruh meliputi jenis, kualitas dan aktivitas sfesifik inokulum, faktor lingkungan dan operasi reaktor (Lettinga dkk, 1980; Wu dkk,1987; Ghangrekar dkk, 1996).

Sludge inokulum yang digunakan untuk *start-up* reaktor dapat berasal dari berbagai sumber. Inokulum terbaik adalah *sludge* yang mempunyai kandungan ion-ion kalsium dan mikroba filamen serta polisakarida yang tinggi, tetapi *capillary suction time* (CST) yang rendah (Adebowale, 1990). Kuantitas inokulum yang kecil (kurang dari 30 %) dapat mengakibatkan terbentuknya konglomerat yang rapuh terhadap pembebanan mendadak (Adebowale, 1990; Fang dan Chui, 1993), namun jumlah inokulum yang besar cenderung mengarah pada penurunan ukuran konglomerat (Adebowale, 1990).

Peningkatan laju beban organik dilakukan secara bertahap setelah proses degradasi berlangsung stabil, yakni mencapai 80-90 % konversi influen (Lettinga dkk, 1980). Beberapa gas yang terbentuk dalam *sludge blanket* mengalir ke bagian atas reaktor dapat mengakibatkan *sludge blanket* terangkat dan rapuhnya konglomerat mikroba (Metcalf dan Eddy, 1991). Penambahan zat anti busa atau pendistribusian influen yang merata membantu membebaskan gas yang terjebak.

2.3. Lumpur Granular Terimobilisasi

Mekanisme granulasi dimulai ketika sel mikroba menempel pada permukaan sel lainnya atau bahan inert yang membentuk prekursor granular yang kemudian tumbuh menjadi lumpur mikroba granular (Schmidt dan Ahring, 1996 ; Pol dkk, 1982; Callander dan Barford, 1983). Konglomerat granular tersebut terbentuk pada kondisi laju alir konstan. Granular mikroba merupakan butiran padat biofilm dengan ukuran diameter partikel sekitar 0,5-2 mm, dan 1 gram granular kering dapat mengkatalisis konversi 0,5-1 gram COD metan/hari (Anh, 1998). Lumpur granular tersebut tahan terhadap aliran zat di dalam reaktor sehingga mampu digunakan untuk beban tinggi (Ghangrekar dkk, 1996).

Granulasi dan immobilisasi sel ditentukan oleh faktor kecepatan supervisial, keberadaan elemen anorganik, penghambatan hidrogen (Uemura dan Harada, 1995), pH, inhibisi sulfat, efek *shock loading* (Blaszczyk dkk, 1994), suplai nutrisi, jenis nutrisi, laju pertumbuhan granular, tahanan geser, produksi polimer ekstraseluler, generasi gas, presipitasi zat anorganik (Grotenhuis dkk, 1991), jenis inokulum dan partikel pendukung (Wiegant dan de Man, 1980).

2.4. Faktor-faktor yang mempengaruhi operasi reaktor UASB

2.4.1. Pengaruh Komposisi Limbah

Zat-zat yang ada didalam limbah cair didegradasi oleh mikroba dengan kecepatan yang berbeda. Mikroba anaerobik menguraikan karbohidrat dan protein dalam waktu kurang dari 1 hari, sedangkan asam lemak diuraikan dengan lambat dengan waktu

sekitar 5 hari (Amatya, 1996). Dalam perkembangannya mikroorganisme akan memanfaatkan karbohidrat sebagai sumber energi (Amri, 1999).

Mikroorganisme juga membutuhkan garam-garam organik untuk mensintesis bahan-bahan pembangun sel. Kandungan nitrogen dan fosfor yang rendah menghambat pertumbuhan sel karena nitrogen dan fosfor merupakan nutrisi utama bagi mikroba untuk perkembangan sel (Singh dkk, 1999).

2.4.2. Temperatur

Kebanyakan proses pengolahan limbah biologi menggunakan rentang suhu *mesophilic* dan *thermophilic*. Namun, pada prakteknya proses operasi lebih banyak berada pada rentang *mesophilic*, hal ini didasarkan pada kenyataan bahwa kenaikan suhu hingga kondisi *thermophilic* tidak memberikan keuntungan signifikan dalam kinetika reaksi (Amatya, 1996).

2.4.3. pH dan Alkalinitas

Pada umumnya, bakteri *methanogenic* sangat sensitif terhadap perubahan pH. Bakteri sangat cocok tumbuh pada rentang pH antara 6,5-7,8, dan bakteri penghasil asam dapat bekerja optimum pada rentang pH 5-6, karena langkah pembentukan senyawa metan merupakan langkah laju batas pH harus dapat dijaga sekitar 7 (Amatya, 1996).

pH rendah akan menurunkan aktifitas mikroorganisme penghasil metan (Amatya, 1996), sedangkan bila pH terlalu tinggi akan mengakibatkan terjadinya perpindahan proton dari sel ke lingkungan, sehingga menurunkan aktifitas mikroorganisme. Pengaturan pH dapat dilakukan dengan penambahan senyawa soda kaustik (Fang dan Chui, 1993; Callander dkk, 1987), sodium karbonat atau zat kalsium hidroksida (Amatya, 1996).

2.4.4. Nutrisi

Berbagai komposisi dan kuantitas zat-zat nutrisi dan *trace element* dapat digunakan sebagai suplemen limbah cair industri dengan sistem bioreaktor UASB, karena belum ada formulasi yang tepat (Singh dkk, 1999). Tetapi hal ini tergantung jenis *sludge* inokulum atau karakteristik limbah cair yang akan diproses (Metcalf dan Eddy, 1991).

Nutrisi utama yang dibutuhkan mikroorganisme adalah nitrogen dan fosfat yang disuplai dalam bentuk senyawa garam (Singh dkk, 1999). Rasio COD:N:P = 300:5:1 seringkali digunakan untuk mencukupi kebutuhan mikroorganisme sebagai fungsi *organic load* (Amatya, 1996). Selain itu perlu ditambahkan nutrisi lain berupa potassium, magnesium dan unsur-unsur lain seperti besi (Fe), mangan (Mn), seng (Zn), tembaga (Cu), kobalt (Co), nikel (Ni), molybdenum dan selenium yang kuantitasnya sekitar 1 mL/L (Amatya, 1996; Singh dkk, 1999).

2.4.5. Zat-zat toksik

Proses anaerobik dipengaruhi oleh keberadaan zat-zat toksik, seperti kandungan hidrokarbon halogen, sianida, logam berat dan senyawa sulfur ammonia, dalam konsentrasi yang tinggi, tetapi kandungan zat asam volatil dan asam lemak yang tinggi di reaktor merupakan inhibitor yang potensial untuk tingkat toksisitas dalam larutan limbah cair (Amatya, 1996).

2.4.6. Laju Alir Upflow

Reaktor UASB didesain dengan pengaliran limbah cair dari bagian bawah reaktor menuju ke atas (*up flow*) melalui *sludge bed* granular yang tertahan di dalam reaktor. Laju alir *up flow* harus selalu dipertahankan stabil di dalam reaktor dengan tujuan membantu terjadinya kontak *sludge* dengan limbah cair (Amatya, 1996). Kecepatan *up flow* tergantung pada karakteristik pengendapan partikel granular dan limbah cair. Kondisi kontak mikroorganisme-limbah cair masih dapat terjadi pada kecepatan *up flow* 2-5 m/jam (Anh, 1998).

Laju beban organik ke reaktor harus tepat sehingga konglomerat terimmobilisasi berkembang dengan baik (Lettinga dkk, 1980). Laju beban organik merupakan efisiensi penggunaan volume reaktor yang tersedia (Pohland dan Malina, 1992). Faktor ini dibatasi oleh jumlah mikroba yang dapat bertahan di reaktor dan kontak efektif antara biomassa dan substrat (Fang dan Chui, 1993). Lettinga dkk (1980) menyarankan laju beban organik sebesar 10-12 kgCOD/m³/hari digunakan pada eksperimen skala laboratorium.

2.4.7. Padatan Tersuspensi (Suspended Solid)

Pada umumnya, limbah cair mengandung padatan tersuspensi (*suspended solid/SS*) yang memberikan pengaruh antara lain: (1) menurunkan aktifitas metanogen spesifik, (2) kecenderungan terbentuknya lapisan busa yang mengakibatkan larutnya *sludge*, (3) kemungkinan kegagalan granulasi, dan (4) penghanyutan *sludge bed* secara tiba-tiba karena keberadaan busa dalam *sludge bed* (Lettinga dan Pol, 1986). Kandungan tersebut dapat dihilangkan dengan metode sedimentasi, koagulasi/flokulasi, *dissolved air flotation* (DAF), adsorpsi menggunakan karbon, filtrasi dan lain-lain. Batasan aman konsentrasi SS didalam influen limbah cair untuk umpan reaktor UASB adalah tidak lebih dari 1000 mg/L (Anh, 1998).

3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

- a) Menghasilkan nilai laju beban organik umpan/influen campuran limbah cair industri tapioka, pabrik pengolahan kelapa sawit dan industri gula yang mampu mendukung proses penyisihan karbon, nitrogen dan fosfor dari gabungan limbah cair tersebut
- b) Menghasilkan rasio campuran limbah cair yang memiliki efisiensi degradasi zat yang tinggi
- c) Menghasilkan nilai kondisi operasi lainnya (pH, rasio nutrisi, waktu tinggal hidrolis, suhu, konsentrasi mikroba) pada proses penyisihan karbon, nitrogen dan fosfor pada sistem teknologi berbasis UASB pengolah campuran limbah cair industri tersebut

4. METODE PENELITIAN

Sistem proses yang akan digunakan terdiri atas tangki influen (1 unit, 20L), pompa peristaltik (2 unit), reaktor UASB (akrilik, 1 unit, 2,5 L, ϕ 10 cm), tangki settler (1 unit, 1 L), tangki effluent (1 unit, 20L) dan unit pengukur gas (1 unit, 1 L). Reaktor UASB dilengkapi dengan unit kolektor gas (1 unit), sampling ports dan baffle.

Setiap limbah cair diukur nilai pH, COD (total), kandungan zat padat (TSS), kandungan nitrogen (total), kandungan fosfat (total fosfat) dan kekeruhan (APHA, 1992). Observasi inderawi juga dilakukan untuk mengetahui kondisi limbah cair secara cepat. Stok limbah cair industri yang disimpan dalam tangki penampungan dicampur

dengan perbandingan yang telah ditetapkan untuk umpan ke reaktor UASB, dan diatur pH-nya sekitar 6,5 (Metcalf dan Eddy, 1991) dengan penambahan sodium hidroksida 0,1 M (Fang dkk, 1993). Umpan limbah cair campuran diatur pada beban konsentrasi proses yang diperoleh dengan pengenceran larutan stok campuran. Kandungan nutrisi umpan diatur pada rasio COD:N:P = 300:5:1 dengan penambahan urea dan TSP sebagai sumber nitrogen dan fosfat (Anh, 1998). Lumpur berasal dari unit IPAL PPKS yang menggunakan proses anaerobik lagoon. Lumpur diambil dari bagian dasar dengan alat khusus sekitar 2 liter dan kemudian disimpan dalam jeriken yang ditutup rapat. Lumpur inokulum disimpan dalam lemari pendingin sebelum digunakan. Seeding reaktor UASB dilakukan dengan menginokulasi lumpur inokulum sebesar 40-60% volume kerja reaktor. Selanjutnya umpan dengan konsentrasi awal sekitar 2.500 mg/L dengan pH sekitar 6,5 dialirkan secara batch recycle untuk jangka waktu 15 hari. Selama proses start-up tersebut, observasi difokuskan pada reduksi konsentrasi COD. pH influen diamati setiap hari, jika pH umpan kurang dari 5 maka dialirkan umpan baru kedalam reaktor UASB.

Proses kontinyu baru dapat dilaksanakan setelah perombakan kandungan karbon mencapai 80%. Dalam tahap ini, dilakukan beberapa variasi untuk dilihat pengaruhnya terhadap kinerja proses anaerobik UASB, yaitu: a) konsentrasi COD umpan: 2.500, 5.000, 10.000, 15.000 ; b) kandungan nutrisi: kontrol nutrisi, nutrisi alami ; c) waktu tinggal hidrolis: 20 jam; 15 jam; 10 jam ; d) pH umpan: pH 6,5 ; pH alami. Pengamatan selama proses beroperasi dilakukan setiap 3 hari sekali terhadap konsentrasi COD umpan, konsentrasi COD effluent, kandungan zat padat (total solids, total dissolved solids, total suspended solids dan volatil suspended solids), total nitrogen dan total fosfat. pH dan temperatur umpan dan effluent diobservasi setiap hari.

5. PEMBAHASAN

Besarnya reduksi kandungan COD limbah cair merupakan parameter yang paling penting dalam menilai proses degradasi limbah cair industri yang menggunakan proses biologi seperti pada sistem bioreaktor UASB. Dalam penelitian, umpan limbah cair yang digunakan berasal dari campuran/gabungan dari 3 (tiga) jenis limbah cair industri, yaitu limbah cair industri tepung tapioka rakyat, limbah cair pabrik pengolahan CPO dan limbah cair pabrik gula. Umpan dialirkan pada konsentrasi 5.000, 10.000 dan 15.000 mg-COD/L, tetapi laju alir umpan untuk proses start up reaktor diatur pada konsentrasi 2500 mg-COD/L. Sedangkan waktu tinggal yang digunakan adalah 10, 15 dan 20 jam, dan kondisi pH adalah pada pH 5,5-8. Campuran limbah cair kontak dengan unggul mikroorganisme yang terimobilisasi di bagian bawah reaktor. Selama pengontakan berlangsung, reduksi kandungan zat organik dalam campuran limbah cair terjadi. Besarnya reduksi COD selama proses beroperasi bergantung pada pengaturan kondisi operasi di bioreaktor.

5.1. Observasi awal

5.1.1. Kondisi Influen

Limbah cair yang digunakan sebagai influen pada penelitian merupakan kombinasi limbah cair industri yang diperoleh dengan jalan mencampurkan limbah cair pabrik CPO, industri gula tebu dan industri tepung tapioka dengan rasio tertentu.

Secara visual, limbah pabrik gula berwarna kuning kecoklatan dengan kandungan padatan yang sedikit dan mudah mengendap, memiliki bau yang segar dan beraroma

manis serta nilai pH yang mendekati netral (> 6 , lihat Tabel 5.1). Sedangkan limbah cair industri tapioka berwarna putih kekuningan dengan kandungan padatan terlarut yang lebih besar daripada limbah cair pabrik gula dimana limbah ini berbau asam, dan dari hasil pengukuran pH didapatkan bahwa limbah cair tapioka memiliki nilai sekitar 4,03. Sedangkan limbah cair pabrik pengolahan sawit memiliki warna coklat pekat dengan jumlah padatan tinggi. Limbah sawit memiliki bau serupa dengan limbah cair gula yang beraroma manis dan tidak menyengat dengan pH yang cenderung asam, yaitu sekitar 5,02.

Dalam penelitian, campuran ketiga limbah cair industri inilah yang digunakan dengan terlebih dahulu memperhitungkan penetapan perbandingan volume limbah cair yang disesuaikan dengan target akhir beban COD yang diterapkan (perbandingan tetap). Perbandingan karakteristik limbah cair kombinasi pada rasio volume 1:1: 1 disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik limbah cair gabungan (rasio volume = 1:1:1)

Parameter	Penelitian Ini	Muvia (2007)
COD (mg/l)	8.800	13.000
TSS (mg/l)	2.500	1.940
Kekeruhan (FAU)	1.400	2.313
pH	5,00	6,34

Dari tabel diatas dapat diamati bahwa campuran limbah cair pada rasio volume cairan 1:1:1 menghasilkan nilai COD yang tidak terlalu tinggi, tetapi limbah cair gabungan memiliki nilai kekeruhan dan TSS yang cukup tinggi. Campuran ketiga jenis limbah cair pada penelitian ini menghasilkan limbah cair yang berwarna coklat keruh dengan pH sekitar 5.

Untuk memperbesar nilai COD umpan, maka dalam eksperimen digunakan perbandingan volume 1:1:12 agar diperoleh kandungan COD campuran awal diatas 15.000 mg/L yang kemudian dapat diencerkan sesuai dengan target penggunaan.

5.1.2. Kondisi Effluen

Pengamatan secara visual terhadap kondisi effluen menunjukkan karakteristik berbeda untuk kondisi operasi yang dilakukan. Pada tahap adaptasi mikroorganisme, yaitu pada periode start-up reaktor, effluen yang keluar reaktor berwarna coklat pekat. Warna coklat pekat tersebut disebabkan oleh adanya sejumlah lumpur yang terbawa oleh aliran effluen karena kondisi lumpur anaerobik yang belum mengendap dengan baik. Setelah start-up reaktor selama 10 (sepuluh) hari, kondisi effluen semakin jernih.

5.1.3. Kondisi Lumpur Anaerobik

Inokulum mikroorganisme yang digunakan sebagai bibit lumpur anaerobik aktif pada penelitian berasal dari lumpur anaerobik pengolahan limbah cair industri pengolahan CPO. Lumpur anaerobik yang berasal dari kolam pengolahan limbah sawit berwarna hitam pekat dengan sedikit kandungan air, sehingga lumpur terlihat kental.

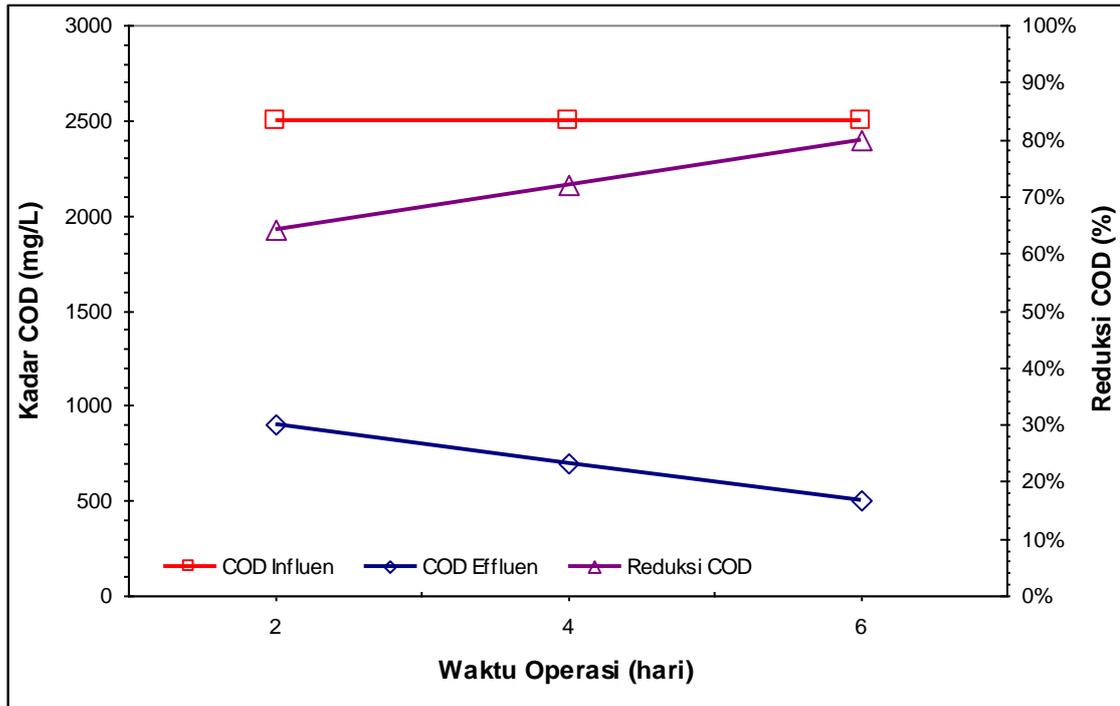
5.1.4. Kondisi Settler

Pada awal perjalanan reaktor UASB, terlihat banyak padatan terbawa ke aliran effluen yang selanjutnya mengendap di tangki sedimentasi. Observasi visual memperlihatkan bahwa partikel padat yang melayang juga terdapat didalam tangki

sedimentasi. Setelah proses kontinyu berjalan, aliran effluen yang keluar dari tangki sedimentasi tidak lagi terlihat membawa lumpur anaerobik.

5.2. Start-up Proses Bioreaktor UASB

Konsentrasi limbah cair yang digunakan untuk start-up proses proses di bioreaktor secara kontinyu adalah ± 2.500 mgCOD/L. Selama tahap inisiasi tersebut dilaksanakan, kondisi COD influen dan effluen dan pH diamati dengan cermat. Start-up proses diobservasi setiap hari, tetapi analisis COD dilakukan setiap 2 (dua) hari sekali yang hasilnya dapat diamati pada Gambar 2.

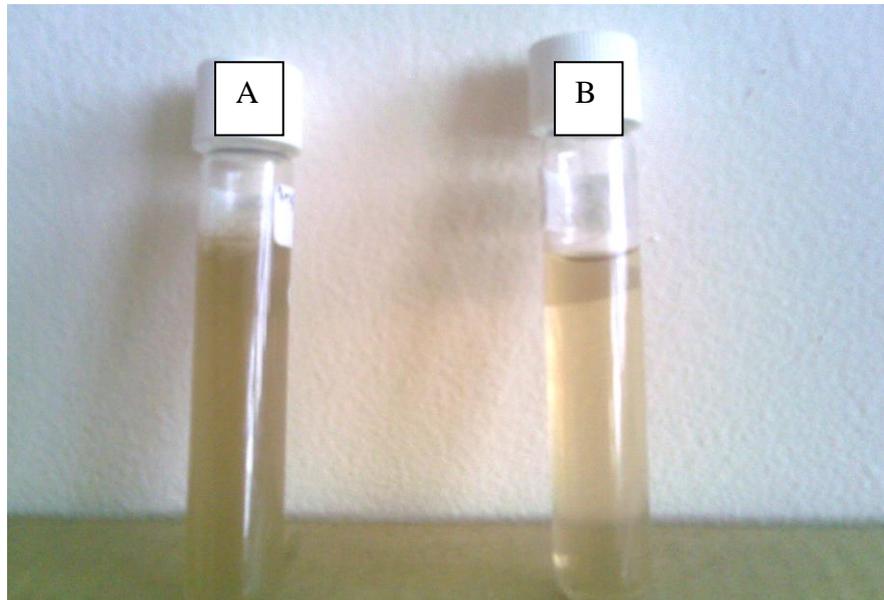


Gambar 2. Analisis reduksi COD selama fase start-up

Secara umum reduksi kandungan COD limbah cair pada periode start-up berlangsung dengan cepat. Pada hari kedua setelah reaktor beroperasi, nilai COD effluen adalah 900 mg/L (nilai reduksi COD $\pm 64\%$). Nilai tersebut semakin meningkat sejalan dengan hari operasi dimana pada hari keempat reduksi COD telah mencapai $\pm 72\%$ dan selanjutnya mencapai tingkat reduksi sebesar $\pm 80\%$ pada hari ke-enam. Pada hari selanjutnya, diamati bahwa nilai reduksi COD stabil diatas 80%, sehingga proses kontinyu dengan beban COD lebih besar dapat dilakukan.

Pada fase start-up, mulai diamati perubahan warna limbah cair. Perubahan warna yang sangat kontras diperlihatkan oleh limbah cair influen dan effluen. Warna coklat pekat yang mendominasi influen berubah menjadi keruh. Pada fase ini, juga mulai diamati terbentuknya gelembung-gelembung gas. Disamping itu, sejumlah lumpur anaerobik juga ikut terbawa ke aliran effluen, sehingga perubahan warna effluen juga diamati di tangki settler. Perbandingan kondisi warna influen limbah cair start-up dengan kondisi effluen pada akhir periode start-up diilustrasikan pada Gambar 3. Secara visual dapat dilihat warna limbah cair hari ke-tujuh start-up bioreaktor berwarna kuning terang dengan kandungan endapan yang lebih sedikit daripada kondisi awal limbah cair yang berwarna coklat pekat dan kandungan endapan yang tinggi.

Perbedaan bau juga diobservasi selama fase start-up tersebut. Bau menyengat yang terdapat pada influen limbah cair awal tidak ditemukan lagi pada effluen pada akhir fase start up.



Gambar 3. Perbandingan kondisi limbah cair pada fase start-up (A = Influen awal ; B = Effluen hari ketujuh)

5.3. Analisis Kinerja Proses Kontinyu

5.3.1. Profil Reduksi COD Terhadap COD Uman

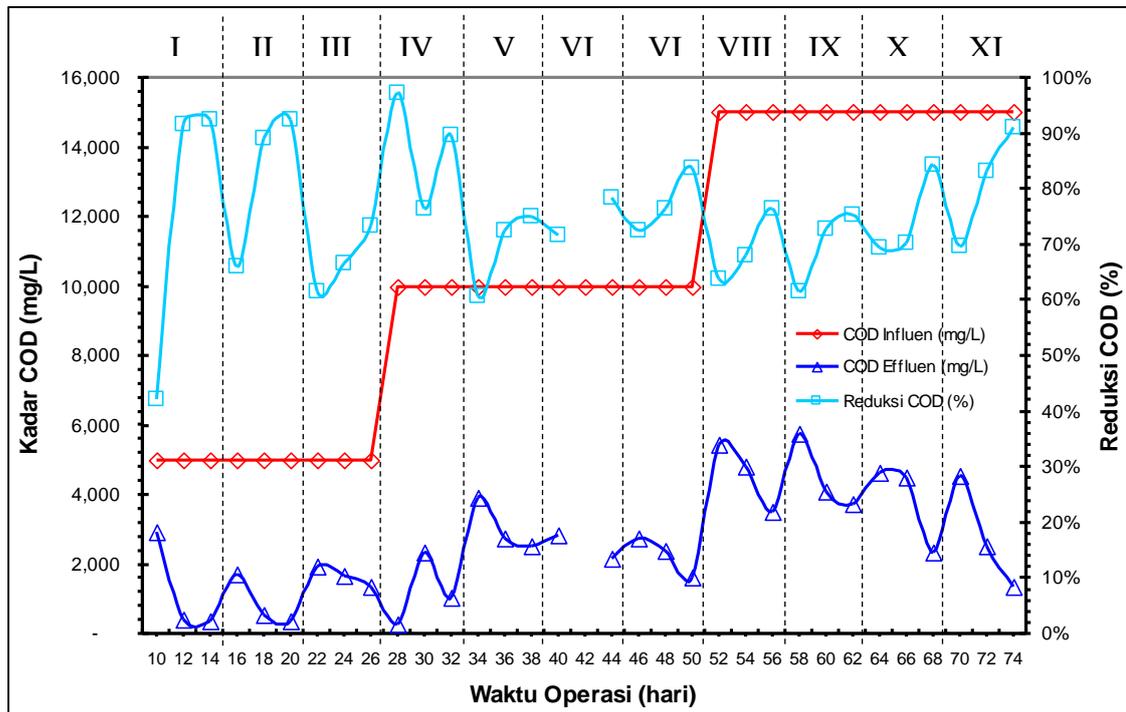
Perubahan kandungan COD limbah cair pada akhir proses degradasi di bioreaktor UASB diilustrasikan dalam Gambar 4 berikut. Reduksi kandungan COD limbah cair pada setiap kelompok eksperimen berada pada rentang yang cukup baik, yaitu sekitar 67,07%-82,52%. Dari Tabel 2 dapat diketahui bahwa nilai reduksi COD yang paling besar (>80%) berada pada run II (pH kontrol, nutrisi alami) dan XI (pH alami, nutrisi alami). Dapat disimpulkan bahwa mikroorganisme yang berasal dari lumpur anaerobik aktif yang diambil dari unit pengolahan limbah cair pabrik CPO dapat beraktivitas dengan tinggi dalam campuran limbah cair yang digunakan.

Peningkatan konsentrasi COD umpan cukup mempengaruhi aktivitas mikroorganisme. Dari gambar dapat diketahui bahwa peningkatan konsentrasi COD umpan mengakibatkan turunnya nilai reduksi COD limbah cair, tetapi hal tersebut berlangsung hanya dalam sementara dimana, seperti diuraikan dalam gambar diatas, mikroorganisme mulai menunjukkan peningkatan aktivitas reduksinya kembali 1 (satu) hari setelah dilakukan perubahan nilai COD umpan.

Nilai reduksi COD tersebut jika dibandingkan dengan reduksi kandungan COD untuk masing-masing limbah cair seperti diuraikan sebelumnya adalah cukup baik. Nilai COD influen berada pada rentang yang lebih besar dari standar nilai akhir yang ditetapkan oleh pemerintah untuk baku mutu limbah cair industri. Tetapi pada beberapa perlakuan (COD influen = 5.000 mg/L) terdapat nilai yang mendekati standar ambang batas maksimum yang ditetapkan pemerintah (<250 mg/L).

Jika dilihat pada data dapat diketahui bahwa pada setiap run eksperimen, nilai reduksi COD semakin meningkat dengan semakin bertambahnya waktu operasi. Sehingga dibutuhkan pengamatan lebih mendalam tentang tingkat reduksi yang terdapat

pada satu perlakuan eksperimen agar dapat diketahui nilai reduksi maksimum COD yang dihasilkan oleh suatu perlakuan dalam penelitian ini.



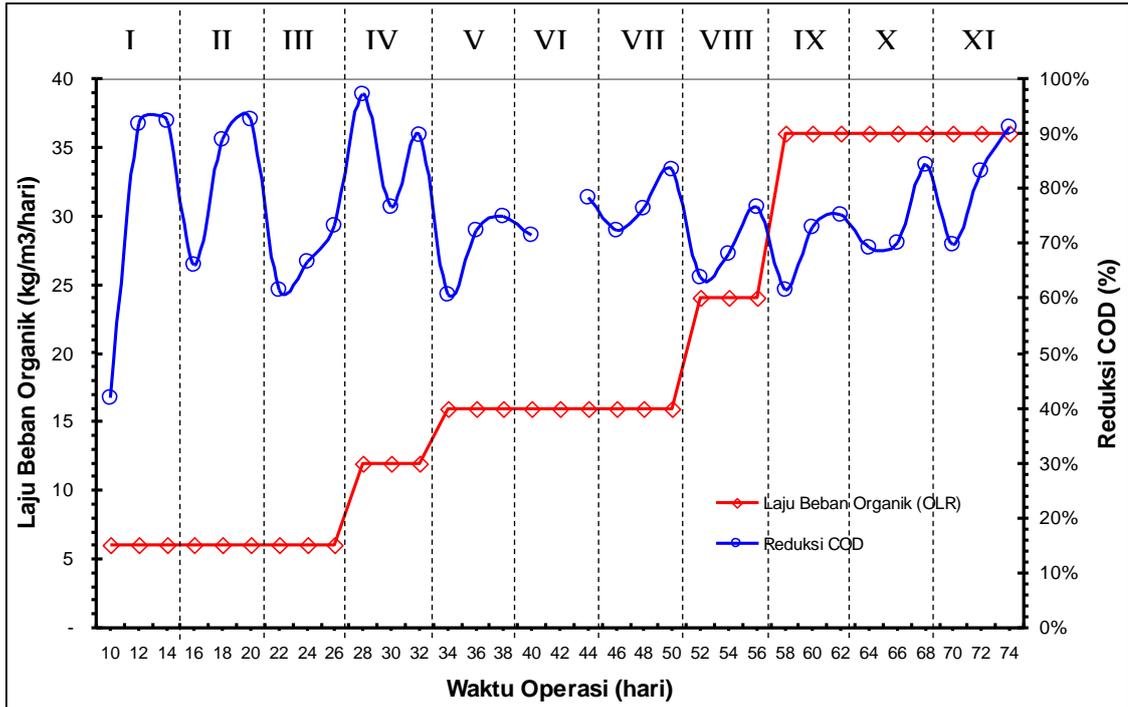
Gambar 4. Perubahan nilai COD limbah cair selama proses biodegradasi

5.3.2. Karakteristik Reduksi Pada Beragam Laju Beban Organik

Laju beban organik limbah cair menunjukkan efisiensi penggunaan volume reaktor yang tersedia (Pohland dan Malina, 1992), yang dibatasi oleh jumlah mikroorganisme yang dapat bertahan di reaktor dan kontak efektif antara biomassa dan substrat (Fang dkk, 1993). Karakteristik reduksi kandungan COD limbah cair terhadap variasi laju beban organik di reaktor dapat diamati pada Gambar 5 berikut.

Laju beban organik limbah cair ke reaktor harus tepat sehingga konglomerat terimmobilisasi berkembang dengan baik. Pada eksperimen, laju beban organik yang digunakan adalah 6-36 kgCOD/m³/hari dengan tingkat reduksi rata-rata berada pada rentang 67,07%-82,52%. Hal tersebut mengindikasikan bahwa laju beban organik yang diterapkan masih dapat diatasi oleh mikroorganisme anaerobik yang terimmobilisasi di reaktor UASB untuk melakukan aktivitasnya.

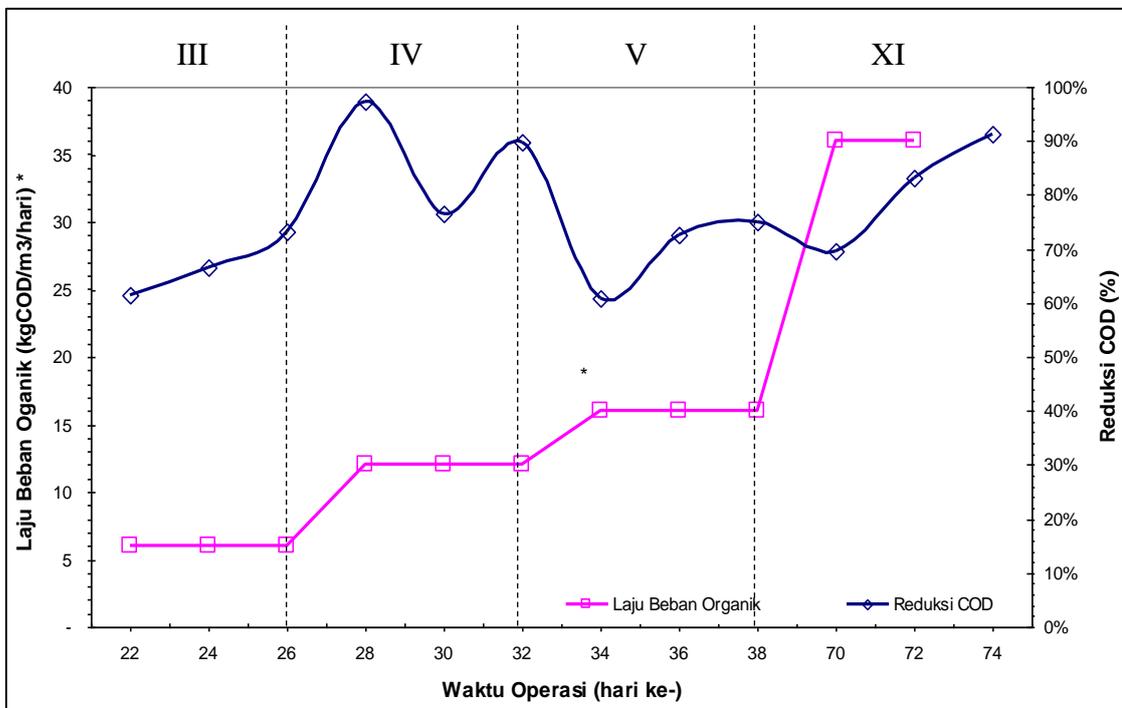
Nilai laju beban organik yang diterapkan juga lebih besar/tinggi daripada yang disarankan untuk eksperimen skala laboratorium, yaitu sebesar 10-12 kgCOD/m³/hari (Lettinga dkk, 1980). Nilai tersebut juga lebih tinggi jika dibandingkan dengan beberapa eksperimen yang terkait dengan proses degradasi limbah cair baik tapioka, gula maupun limbah cair pabrik CPO seperti dipaparkan dalam Tabel 2.5, sehingga proses degradasi limbah cair yang berasal dari campuran limbah cair industri menggunakan bioreaktor UASB merupakan alternatif yang cukup baik.



Gambar 5. Profil reduksi COD limbah cair pada beragam laju beban organik

5.3.3. Reduksi COD Pada Laju Beban Organik Kondisi Alami Versus Terkontrol

Kinerja reduksi kandungan COD limbah cair pada kondisi pH-nutrisi alami dan pH-nutrisi terkontrol ditampilkan pada Gambar 6 dan Gambar 7 berikut.

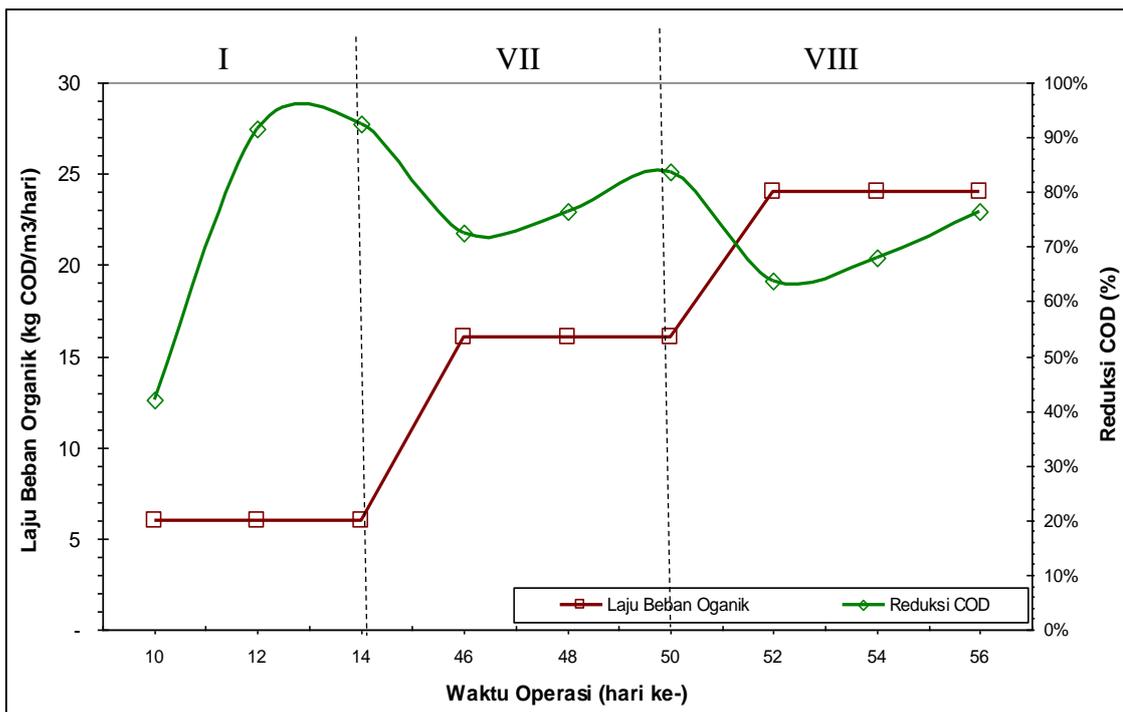


Gambar 6. Laju beban organik versus reduksi COD pada pH-nutrisi alami

Secara umum reduksi COD pada beragam laju beban organik untuk kondisi pH-nutrisi alami, seperti pada Gambar 6, berada pada rentang 60-90%. Peningkatan laju

beban organik cenderung memperbesar nilai reduksi COD limbah cair. Secara pH-nutrisi alami, mikroorganisme anaerobik membutuhkan untuk beraktivitas kembali seperti semula setelah laju beban organik dinaikan, kecuali pada laju beban organik yang rendah dimana tidak terjadi penurunan aktivitas mikroorganisme.

Pada run III hari ke-1 reduksi COD adalah sebesar 61,4%, yang meningkat menjadi 66,6% pada hari ke-3 dan menjadi 73,2% pada hari terakhir waktu run III. Ketika beban COD influen ditingkatkan dari 5.000 mg/L menjadi 10.000 mg/L dengan waktu tinggal yang tetap (20 jam) didapatkan peningkatan reduksi COD menjadi 89,65% pada hari terakhir operasi run IV. Hal ini membuktikan bahwa mikroba yang terdapat di dalam sludge telah beradaptasi terhadap laju beban organik yang besar dengan baik dengan waktu tinggal yang sama. Pada run V, ketika laju beban organik ditingkatkan dengan menurunkan waktu tinggal dan beban COD influen dibuat tetap ternyata berpengaruh terhadap menurunnya reduksi COD, yaitu 60,8% di hari ke-1 operasi kemudian 73,5% di hari ke-3 operasi serta 74,9% pada hari terakhir operasi. Ketika laju beban organik meningkat secara drastis dari 16 kg/m³hari menjadi 36 kg/m³hari ternyata menyebabkan meningkatnya reduksi COD yang disebabkan oleh mikroba dalam sludge telah beradaptasi dengan baik pada kondisi akhir run yang memiliki OLR tinggi, masa recovery mikroba dalam sludge juga terhitung cepat, pada hari ke-1 run XI dihasilkan reduksi COD 69,6 % menjadi 84,3 % pada hari ke-3 lalu meningkat menjadi 91,1% pada akhir run tersebut.



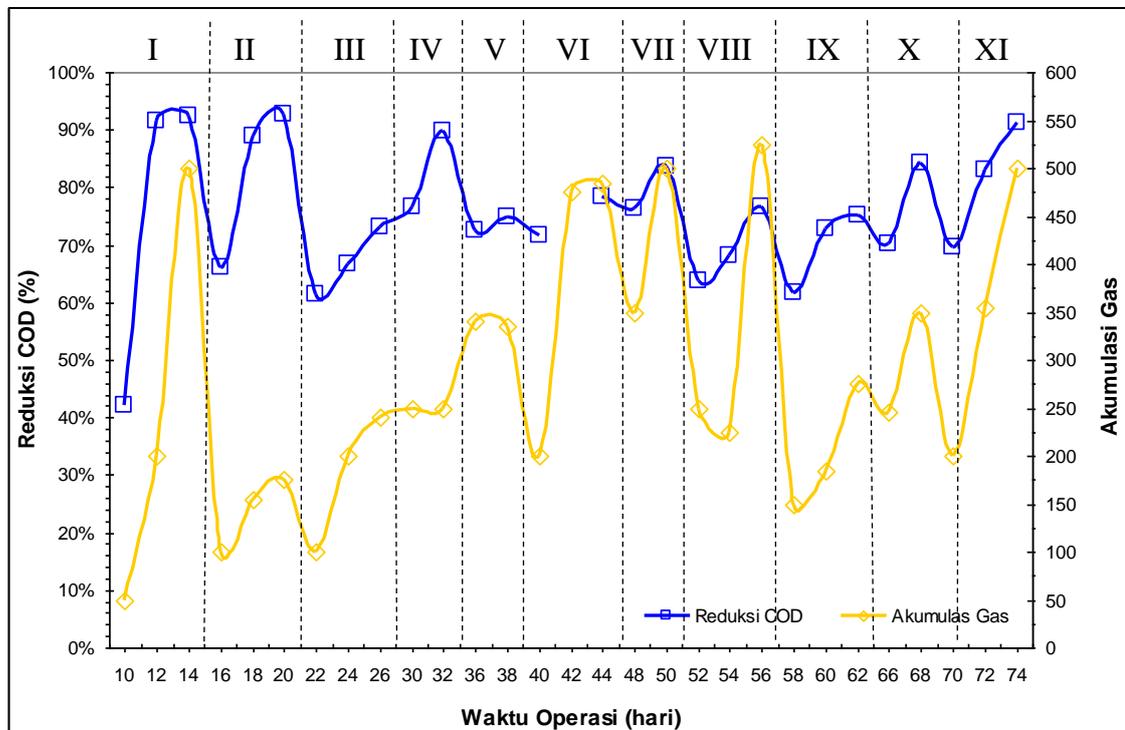
Gambar 7. Laju beban organik versus reduksi COD pada kontrol pH-nutrisi

Kondisi tingkat efisiensi biodegradasi COD limbah cair gabungan pada tahap pH-nutrisi terkendali dapat dilihat pada Gambar 7 berikut. Tingkat reduksi COD berada pada rentang 42-92%. Dapat diamati bahwa laju beban organik yang lebih tinggi cenderung menghasilkan tingkat reduksi COD yang lebih rendah

Dengan membandingkan kedua kondisi tersebut diatas dapat diketahui bahwa kondisi pH-nutrisi alami menghasilkan tingkat reduksi COD yang lebih besar daripada kondisi limbah cair yang memiliki pH dan nutrisi terkendali.

5.3.4. Tinjauan Akumulasi Gas Terhadap Reduksi COD dan Laju Beban Organik

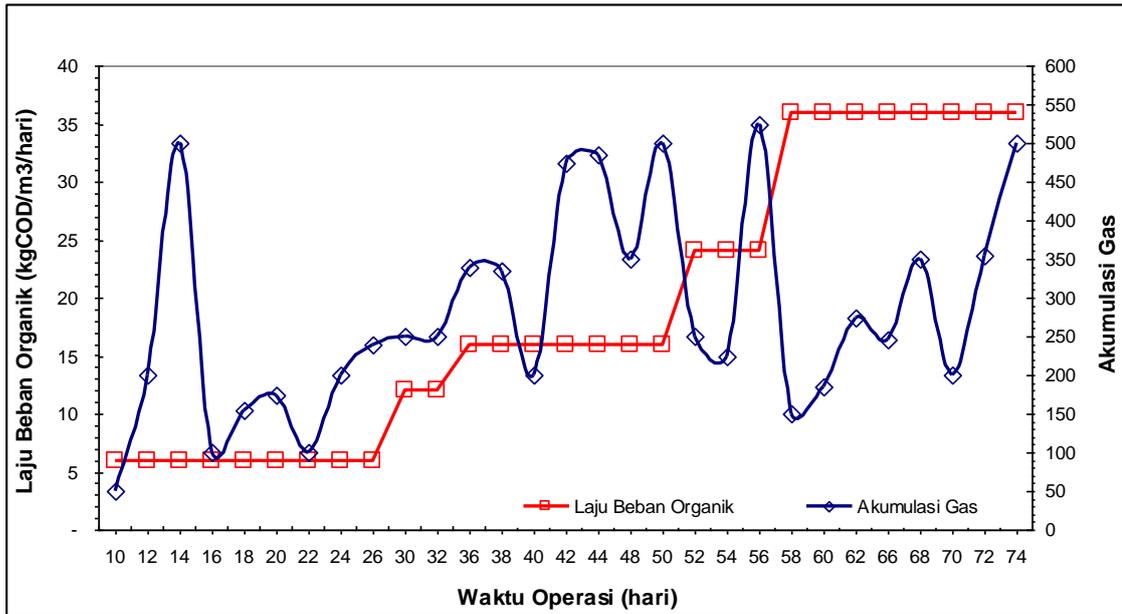
Pembentukan gas sangat terkait dengan proses biodegradasi yang berlangsung. Selama penelitian dilaksanakan, akumulasi gas yang didapatkan sangat fluktuatif, seperti diilustrasikan dalam Gambar 8.



Gambar 8. Hubungan reduksi COD terhadap pembentukan gas

Dari gambar dapat diamati bahwa jumlah gas yang terakumulasi bertambah dengan naiknya tingkat reduksi COD limbah cair. Tingkat reduksi yang rendah menghasilkan akumulasi gas yang kecil. Jumlah gas yang diakumulasi berada pada rentang rata-rata 140-370 mL/jam dimana akumulasi terendah berada pada run II, sedangkan yang paling tinggi berada pada run VI. Tetapi akumulasi gas selama eksperimen tidak mengindikasikan total gas yang dihasilkan oleh proses biodegradasi, karena pada penelitian diamati juga aliran gas yang ikut bersama effluen menuju ke tangki settler (kebocoran gas).

Pernyataan diatas dapat disimak dari hubungan diantara laju beban organik terhadap akumulasi gas yang diuraikan dalam Gambar 9 berikut. Pada laju beban organik yang rendah akumulasi gas yang dihasilkan cenderung rendah. Tetapi ketika laju alir ditingkatkan, jumlah akumulasi gas mulai meningkat. Namun hal yang bertolak belakang terjadi, yaitu ketika laju beban organik semakin diperbesar maka akumulasi gas justru semakin rendah. Hal tersebut mengindikasikan bahwa jumlah gas yang terbentuk ada yang terbawa ke aliran effluen.



Gambar 9. Kondisi Hubungan variasi OLR terhadap pembentukan gas keseluruhan

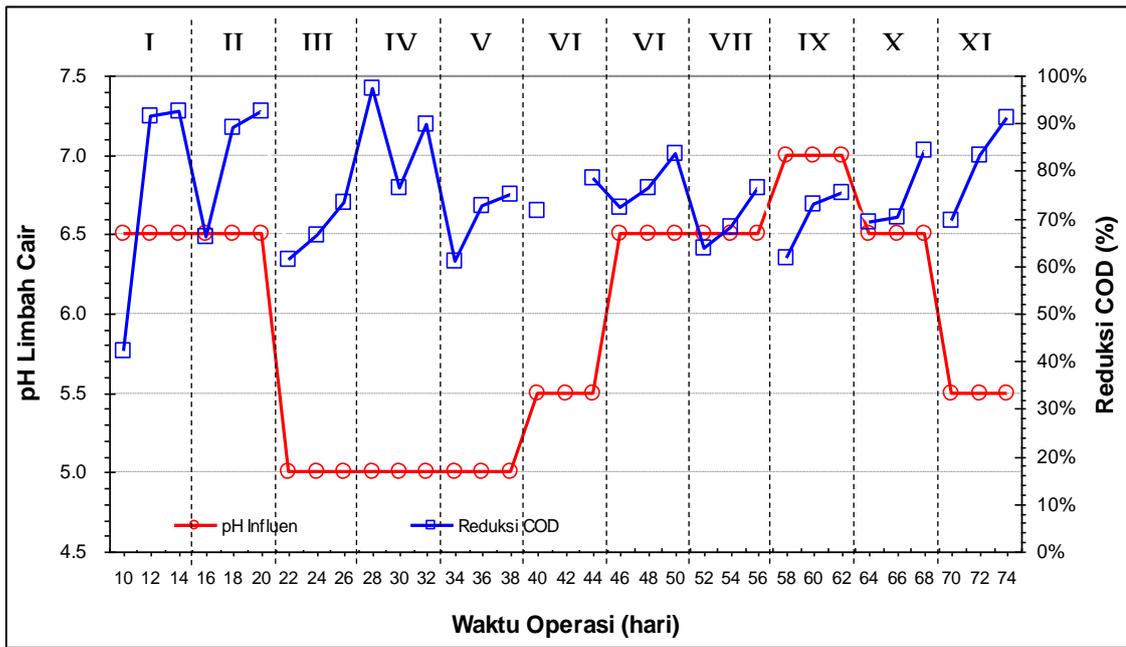
5.3.5. Karakteristik Degradasi Pada Variasi pH

Kondisi reduksi COD terhadap variasi pH secara keseluruhan dapat diamati pada Gambar 10 berikut. Tingkat reduksi COD yang sebesar 67,07%-82,52% (rata-rata) dihasilkan oleh proses biodegradasi yang berada pada rentang 5,0-7,0. dari gambar dapat diamati bahwa nilai pH 5,5 dan 6,5 menghasilkan nilai reduksi COD sebagian besar diatas 70%, sedangkan pada kelompok pH 5,0 dan 7,0 nilai reduksi COD mayoritas berada pada level 70%. Terlihat bahwa pada kondisi pH 5,5-6,5 proses degradasi COD limbah cair campuran berjalan lebih maksimal daripada biodegradasi dengan kondisi pH yang cenderung asam atau mendekati 7. Mikroba dalam lumpur anaerobik dapat bekerja secara optimal pada rentang pH 5,5-8, namun masih dapat beraktivitas pada pH dibawah pH 5,5. Pada penelitian ini pengaruh pH influen terhadap proses degradasi COD effluen diamati dengan cara memvariasikan pH influen, yaitu pH kontrol 6,5 dan 7,0 dan pH alami 5,0 dan 5,5 seperti pada Gambar 10 dan 11.

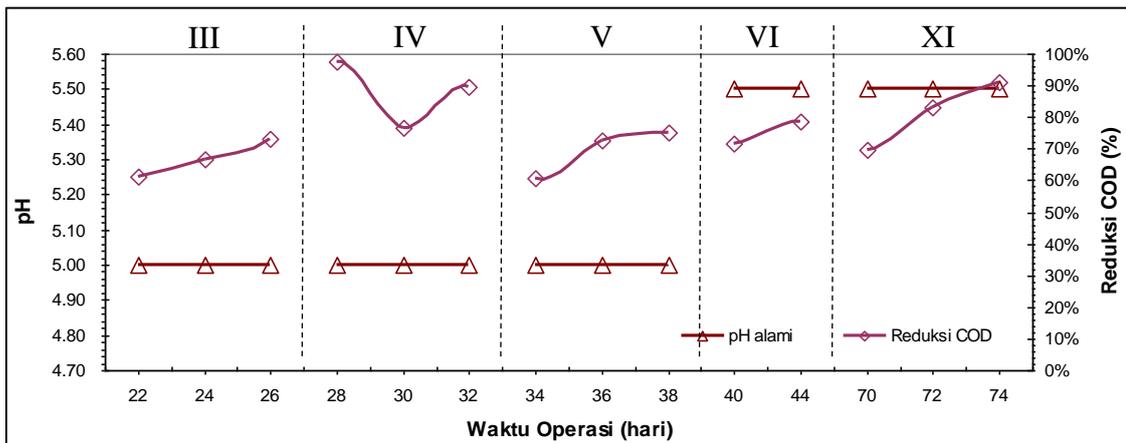
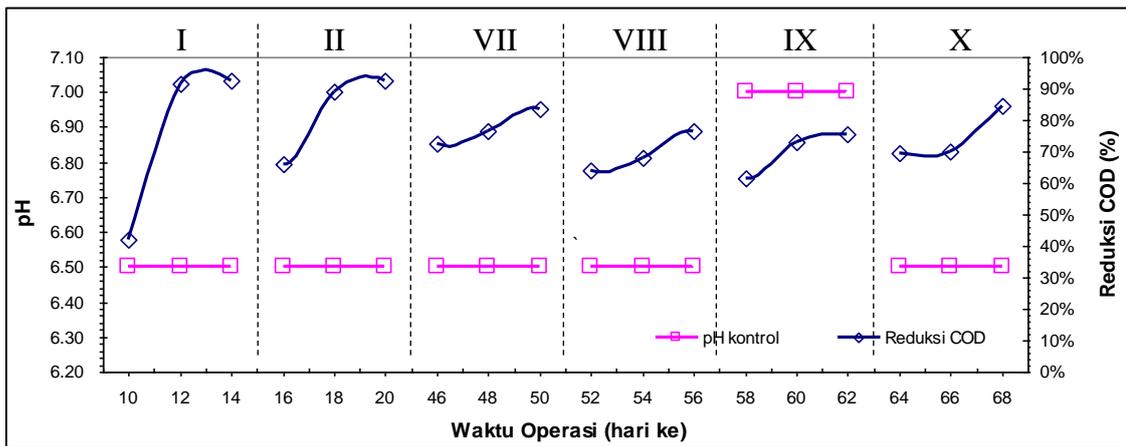
Pada proses biodegradasi dengan pH kontrol, nilai reduksi COD yang dihasilkan berada pada rentang 42-92%, sedangkan pH alami menghasilkan nilai reduksi COD yang lebih tinggi, yaitu sebesar 61-97%. Reduksi COD dengan pH kontrol pada nilai 6,5 memiliki tingkat reduksi yang lebih besar dibandingkan dengan reduksi COD dengan pH kontrol 7,0, sedangkan tingkat reduksi COD pada pH alami 5,5 adalah lebih besar daripada tingkat reduksi pada kelompok 5,0. Dan jika dibandingkan kedua kondisi diatas dapat ditemui bahwa pH alami 5,5 dan pH kontrol 6,5 memiliki nilai yang lebih baik dari kelompok pH lainnya, dengan tingkat reduksi berada pada rentang 70-80%.

5.3.6. Profil Laju Beban Organik Terhadap pH Effluen

Secara umum, pH effluen setelah keluar dari bioreaktor UASB berada pada rentang 5,5-7,0, seperti dijabarkan pada Gambar 12. Sebagian besar nilai pH effluen berada pada pH diatas 6,0. Hal tersebut mengindikasikan bahwa proses metanasi di reaktor berlangsung dengan baik.



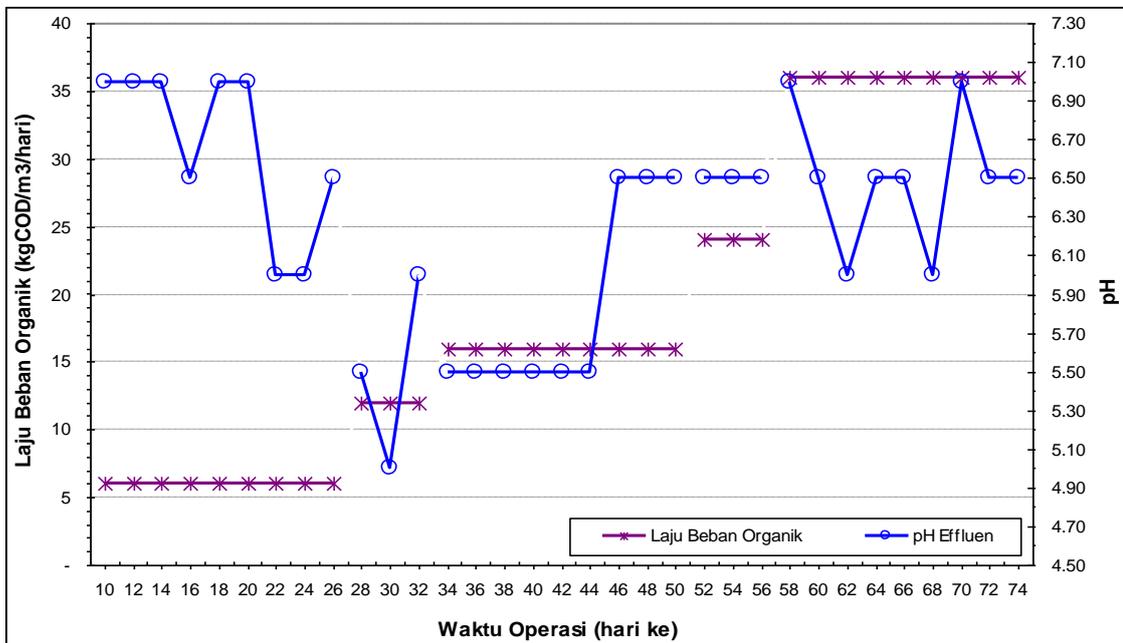
Gambar 10. Kondisi reduksi COD terhadap variasi pH keseluruhan



Gambar 11. Perbandingan kondisi pH terhadap reduksi COD (atas: pH kontrol; bawah: pH alami)

Dalam eksperimen didapatkan bahwa laju beban organik belum terlalu mempengaruhi perubahan pH effluen. Mayoritas nilai pH effluen berada pada nilai

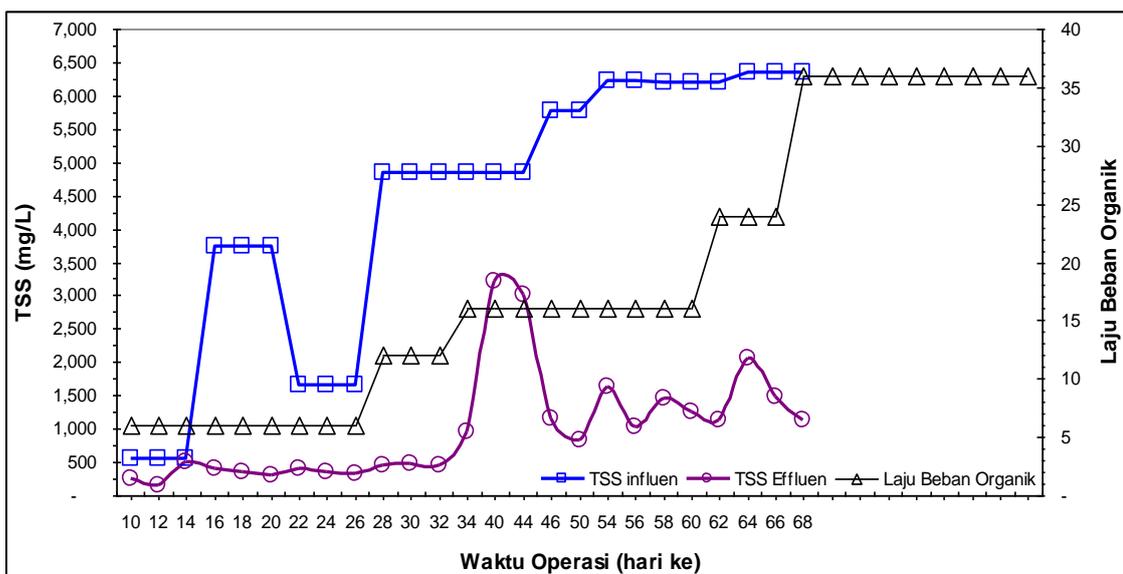
diatas 6,0. Peningkatan laju alir effluen diawal proses biodegradasi mengakibatkan turunnya pH sampai dibawah nilai 6,0, tetapi jika diamati pada proses selanjutnya ditemukan bahwa peningkatan laju beban organik tidak menurunkan pH effluen sampai dibawah 6,0. Hal tersebut mengindikasikan bahwa proses hidrolisis-fermentasi dan metanasi berjalan dengan kesetimbangan yang baik.



Gambar 12. Perubahan pH effluen akibat pengaruh laju beban organik

5.3.7. Kandungan TSS dan Faktor Kekeruhan Limbah Cair

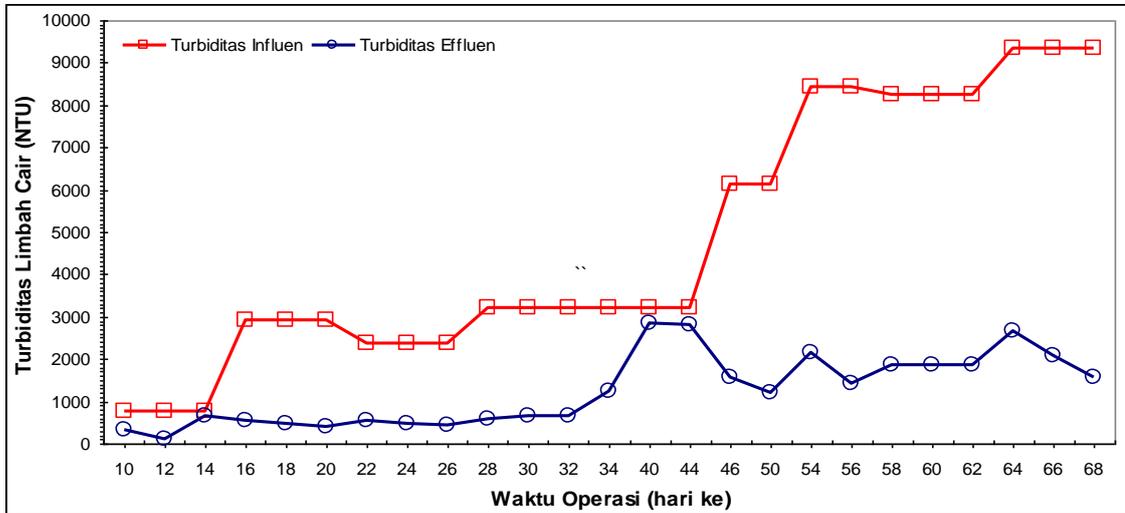
TSS yang terkandung pada limbah cair yang digunakan cukup besar. Kandungan TSS yang terdapat di influen dan effluen diperlihatkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Hubungan kandungan TSS Influen-Effluen dengan laju beban organik

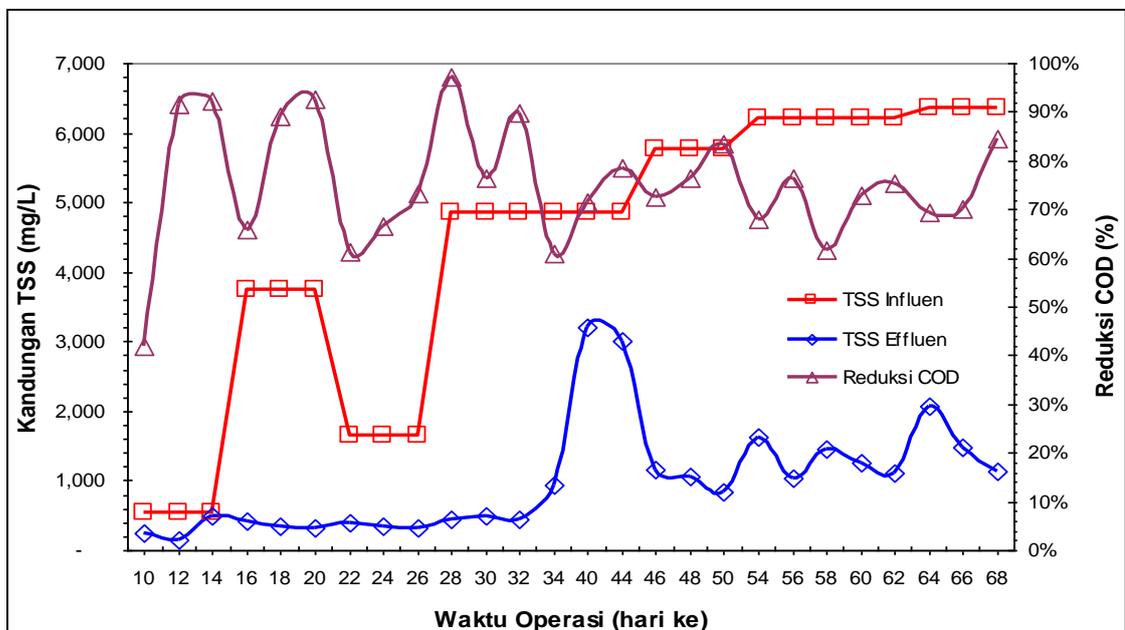
Dari gambar dapat diamati bahwa kandungan TSS effluen berada pada rentang 315-3.113,5 mg/L. Unggun lumpur anaerobik yang terdapat di reaktor UASB cukup

efektif dalam menyaring kandungan TSS influen. Tetapi kandungan TSS effluen tersebut adalah tinggi jika dibandingkan dengan standar baku mutu industri (lihat Tabel 2.1), sehingga dibutuhkan penanganan lebih lanjut akan hal tersebut. Demikian juga dengan tingkat kekeruhan effluen limbah cair, seperti diilustrasikan dalam Gambar 14.



Gambar 14. Tingkat kekeruhan influen-effluen

Seperti diuraikan sebelumnya, batasan aman konsentrasi SS didalam influen limbah cair untuk umpan reaktor UASB adalah tidak lebih dari 1.000 mg/L (Anh, 1998). Dalam eksperimen ini, kandungan TSS yang diumpankan ke bioreaktor UASB adalah 553-6.350 mg/L, yang ternyata masih dapat ditolerir oleh unggun mikroorganisme anaerobik, sehingga tingkat reduksi COD masih tinggi pada kandungan TSS yang tinggi seperti diuraikan dalam Gambar 15.



Gambar 15. Hubungan TSS dengan reduksi COD

Dari gambar dapat diamati bahwa tingkat reduksi pada saat beban COD tinggi (> 4.000 mg/L) adalah tetap tinggi (60-85%), sehingga dapat disimpulkan bahwa dalam eksperimen didapatkan bahwa bioreaktor UASB masih dapat mengolah limbah cair

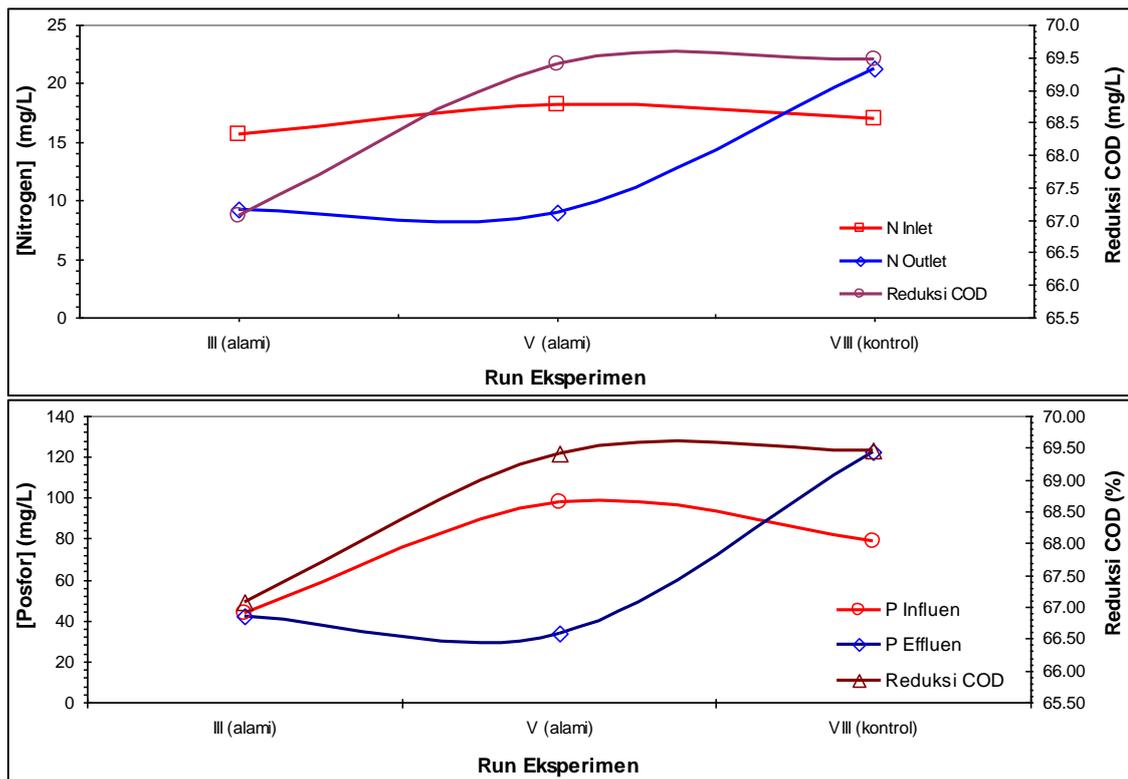
campuran industri dengan tingkat efisiensi yang cukup tinggi pada saat kandungan TSS > 4.000 mg/L).

5.3.8. Kandungan TSS dan Faktor Kekeruhan Limbah Cair

Efektivitas penambahan nutrisi Nitrogen dan Posfor dalam limbah cair campuran dipaparkan dalam Gambar 16.

Dapat diamati bahwa pada kondisi nutrisi alami nilai kandungan elemen nitrogen dan posfor dapat direduksi dengan baik. Tetapi pada saat digunakan kontrol nutrisi kandungan elemen nitrogen dan posfor cenderung naik di akhir periode eksperimen. Akumulasi elemen nitrogen dan posfor di bioreaktor sebagai akibat dari pasokan nitrogen dan posfor yang berlebihan (kontrol nutrisi) merupakan salah satu faktor yang mengakibatkan tingginya kandungan zat-zat tersebut di akhir periode kontrol nutrisi dalam penelitian ini.

Jika ditinjau dari segi reduksi COD didapatkan bahwa reduksi COD tetap tinggi pada saat bioreaktor beroperasi dengan pasokan nutrisi hanya yang berasal dari limbah cair, tidak ada suplai dari luar (kontrol nutrisi). Sehingga dapat disimpulkan bahwa kandungan nitrogen dan posfor yang terdapat dalam limbah cair (nutrisi alami) cukup menunjang aktivitas mikroorganisme anaerobik dalam mereduksi kandungan COD limbah cair gabungan.



Gambar 16. Profil kandungan nitrogen dan posfor

6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

1. Dalam eksperimen digunakan perbandingan volume 1:1:12 agar diperoleh kandungan COD campuran awal diatas 15.000 mg/L. Campuran ketiga jenis

limbah cair pada penelitian ini menghasilkan limbah cair yang berwarna coklat keruh dengan pH sekitar 5.

2. Reduksi kandungan COD limbah cair pada periode start-up berlangsung dengan cepat. Mikroorganisme yang berasal dari lumpur anaerobik aktif yang diambil dari unit pengolahan limbah cair pabrik CPO dapat beraktivitas dengan tinggi dalam campuran limbah cair yang digunakan.
3. Reduksi kandungan COD limbah cair pada setiap kelompok eksperimen berada pada rentang yang cukup baik, yaitu sekitar 67,07%-82,52%.
4. Laju beban organik yang digunakan adalah 6-36 kgCOD/m³/hari, yang masih dapat diatasi oleh mikroorganisme anaerobik yang terimobilisasi di reaktor UASB untuk melakukan aktivitasnya, yang lebih besar daripada beberapa eksperimen yang terkait dengan proses degradasi limbah cair baik tapioka, gula maupun limbah cair pabrik CPO, sehingga proses degradasi limbah cair yang berasal dari campuran limbah cair industri menggunakan bioreaktor UASB merupakan alternatif yang cukup baik.
5. Kondisi pH-nutrisi alami berada pada rentang 60-90%, secara pH-nutrisi alami, mikroorganisme anaerobik membutuhkan waktu untuk beraktivitas kembali seperti semula setelah laju beban organik dinaikan, kecuali pada laju beban organik yang rendah dimana tidak terjadi penurunan aktivitas mikroorganisme.
6. Pada tahap pH-nutrisi terkendali tingkat reduksi COD berada pada rentang 42-92%. Dapat diamati bahwa laju beban organik yang lebih tinggi cenderung menghasilkan tingkat reduksi COD yang lebih rendah. Kondisi pH-nutrisi alami menghasilkan tingkat reduksi COD yang lebih besar daripada kondisi limbah cair yang memiliki pH dan nutrisi terkendali.
7. Jumlah gas yang diakumulasi berada pada rentang rata-rata 140-370 mL/jam, tetapi akumulasi gas tersebut tidak mengindikasikan total gas yang dihasilkan oleh proses biodegradasi, karena pada penelitian diamati juga aliran gas yang ikut bersama effluen menuju ke tangki settler.
8. Tingkat reduksi COD rata-rata sebesar 67,07%-82,52% dihasilkan oleh proses biodegradasi yang berada pada rentang 5,0-7,0. Pada kondisi pH 5,5-6,5 proses degradasi COD limbah cair campuran berjalan lebih maksimal daripada biodegradasi dengan kondisi pH yang cenderung asam atau mendekati 7.
9. Proses biodegradasi dengan pH kontrol menghasilkan reduksi COD sebesar 42-92%, sedangkan reduksi COD pada kondisi pH alami adalah lebih tinggi (sekitar 61-97%). Reduksi COD dengan pH kontrol pada nilai 6,5 memiliki tingkat reduksi yang lebih besar dibandingkan dengan reduksi COD dengan pH kontrol 7,0, sedangkan tingkat reduksi COD pada pH alami 5,5 adalah lebih besar daripada tingkat reduksi pada kelompok 5,0. Dan jika dibandingkan kedua kondisi diatas dapat ditemui bahwa pH alami 5,5 dan pH kontrol 6,5 memiliki nilai yang lebih baik dari kelompok pH lainnya, dengan tingkat reduksi berada pada rentang 70-80%.
10. Mayoritas nilai pH effluen berada pada nilai diatas 6,0. Hal tersebut mengindikasikan bahwa proses hidrolisis-fermentasi dan metanasi berjalan dengan kesetimbangan yang baik.
11. Unggun lumpur anaerobik yang terdapat di reaktor UASB cukup efektif dalam menyaring kandungan TSS influen dan mereduksi tingkat kekeruhannya, tetapi nilai TSS dan kekeruhan effluen adalah tinggi jika dibandingkan dengan standar baku mutu industri, sehingga dibutuhkan penanganan lebih lanjut akan hal tersebut.

12. Kandungan TSS yang diumpankan ke bioreaktor UASB adalah 553-6.350 mg/L. Bioreaktor UASB masih dapat mengolah limbah cair industri campuran dengan tingkat efisiensi yang cukup tinggi pada saat kandungan TSS > 4.000 mg/L).
13. Kandungan nitrogen dan posfor yang terdapat dalam limbah cair (nutrisi alami) cukup menunjang aktivitas mikroorganisme anaerobik dalam mereduksi kandungan COD limbah cair gabungan

6.2. Saran

1. Dibutuhkan pengamatan lebih panjang tentang tingkat reduksi yang terdapat pada satu perlakuan eksperimen agar dapat diketahui nilai reduksi maksimum COD yang dihasilkan oleh suatu perlakuan dalam penelitian ini.
2. Nilai COD, TSS dan tingkat kekeruhan effluen berada pada rentang yang lebih besar dari standar nilai akhir yang ditetapkan oleh Pemerintah untuk baku mutu limbah cair industri, sehingga perlu dipertimbangkan untuk pemenuhan standar baku mutu tersebut dengan studi lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- Adebowale, A.A., 1990, *Doctorate Thesis: Biomass stabilisation in the UASB reactor*, UMIST, Manchester –England, p. 50-80, 265-275
- Agustian, J., Pramono, D., dan Ryan, A.S., 2006, *Continous start-upstrategies of UASB operation degrading tapioca wastewater*, Proc. HEDS Sem Sci Tech, Jakarta
- Agustian, J. dan Santoso, B.I., 2006, *Proses degradasi limbah cair substrat ganda secara biologi anaerobik*, Laporan Penelitian Mandiri, Universitas Lampung
- Ahmad, AL., Ismail, S. dan Bhatia, S., 2003, *Water recycling from palm oil mill effluent (POME) using membrane technology*, Desalination, 157, p. 87-95
- Amatya, P L., 1996, *Anaerobic Treatment of Tapioca Starch Industry Wastewater by Bench scale Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) reactor*. Master Thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Amri, K., 1999. *Biokonversi Penangkal Bau*. Majalah Intisari.
- Anh, N.T. 1998. *Methods for UASB Reactor Design*. Camber Southeast, Inc.
- Anonim, 1997,
- Annachhatre, A. P. dan Amatya, P. L., 2000, *UASB Treatment Of Tapioca Starch Wastewater*, Journal Of Environmental Engineering, Dec. 2002: 1149-1152.
- APHA (1985), *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 16th ed., Washington DC: American Public Health Association
- Badan Pengendalian Dampak Lingkungan. 1996. *Buku panduan Teknologi Pengendalian Dampak Lingkungan Industri Tapioka di Indonesia*. Jakarta.
- Bengstone, B. E. dan Triet, T., 1994. *Tapioca-starch wastewater toxicity characterized by Microtox and Duckweed tests*, *Ambio*, 23(8), 473–477.
- BAPEDALDA Lampung, 2004, *Hasil analisis terhadap pengolahan gula di Lampung*, Lampung
- Borja, R.P. dan Banks, C.J., 1994, *Thermophillic semi-continous anaerobic treatment of palm oil mill effluent*, *Biotech. Lett.*, Vol 15(7), pp. 761-766
- Blaszczyk, R., Gardner, D., dan Kosaric N., 1994, *Response and recovery of anaerobic granules from shock loading*, *Wat. Res.*, Vol. 28(3), pp. 675-680
- Callander, I.J., Clark, T.A., dan McFarlane, P.N., 1987, *Anaerobic digestion of wood ethanol stillage using upflow anaerobic sludge blanket reactor*, *Biotech. and Bioeng.*, Vol. 30, pp. 896-908

- Callander, I.J. dan Barford J.P., 1983, *Recent advances in anaerobic digestion technology*, Proc. Biochem., Vol. 8, pp. 24-30
- Chaiprasert, P., Nophanata, A., Chayawattana, T., Wangnai, C., Rukruem, W., Kullavanijaya, P., Bhumiratana, S., dan Tanticharoen, M., 2003, *The biogas plants high rate anaerobic fixed film technology for agroindustrial wastewater*, KMUTT, Thailand
- Cohen, T., 2004, *Waste to energy: a waste solutions success in Thailand*, Press Release, Waste solutions Ltd., New Zealand
- Djarwati, Iffatul Fauzi, dan Sukani, 1993. *Pengolahan Air Limbah Industri Tapioka Secara Kimia Fisika*, Laporan Penelitian. Departemen Perindustrian RI, Semarang
- Fang, H.H.P. dan Chui, H.K., 1993, *Maximum COD loading capacity in UASB reactors at 37°C*, J. Env. Eng., Vol. 119(1), pp. 103-119
- Fang, H.H.P., Li, Y.Y. dan Chui H.K., 1995, *Performance and sludge characteristics of UASB process treating propionate-rich wastewater*, Wat. Res., Vol. 29(3), pp. 895-898
- Field, J., 2002, *Anaerobic Granular Sludge Bed Technology*, Anaerobic Biotechnology.
- Ghangrekar, M.M. dkk, 1996, "Experience with UASB Reactor Start-up Under Different Condition." *Wat.Sci.Tech.* 34 (5-6): 421-428.
- Grotenhuis, J.T.C., Kissel, J.C., Plugge, C.M., Stams, A.J.M., dan Zehnder, A.J.B., 1991, *Role of substrate concentration in particle size distribution of methanogenic granular sludge in UASB reactors*, Wat. Res. Vol. 25(1), pp. 21-27
- Hien, P.G., Viet, N.T., Oanh, L.T.K. dan Lettinga, G., 1996, *Closed wastewater system in the tapioca industry in Vietnam*, Wat. Sci. Tech., vol. 39(5), pp. 89-96
- Jeganaesan, J. dan Annachatre, A., 2002, *State of wastewater management in agro-based starch industry in Thailand*, WWTM Newsletter, March
- Kwong, T.S. dan Fang, H.H.P., 1996, *Anaerobic digestion of cornstarch in wastewater in two upflow reactors*, J. Env. Eng., Vol. 122(1). pp. 9-17
- Kiely, 1997. *Environmental Engineering*. New York: McGraw-Hill.
- Kozariszczuk, M., 2002, *PhD Thesis: Anaerobic digestion of sugar cane molasses in fixed bed reactors with different immobilisation materials*, Technical University of Berlin
- Lettinga, G. dan Pol, L.H., 1986, *Advanced reactor design, operation and economy*, Wat. Sci. and Tech., Vol. 18(12), pp. 99-108
- Lettinga, G., van Velsen, A.F.M., Hobma, S.W., de Zeeuw, W. dan Klapwijk A., 1980, *Use of the upflow sludge blanket (USB) reactor concept for biological wastewater treatment especially for anaerobic treatment*, Biotech. and Bioeng., Vol. 27, pp. 699-734
- Lespito, S.S. dan Rintala, A.J., 1997, *Start-up and operation of laboratory scale thermophilic upflow anaerobic sludge blanket reactors treating vegetable processing wastewaters*, J. Chem. Tech. Biotech., Vol 68, pp. 331-339
- Ma, A.N., 2000, *Palm Oil Developments*, Vol. 30, pp. 1-10
- Mai, H.N.P., Thai, L.N., Duong, H.T. and Viet, N.T. 2002. *Effect of Nutrient and Trace Element on Treatment Efficiency in UASB-Reactor."* *J. ARPET. Asian Institute of Technology*. Vol: 3 March 2002. Vietnam.
- Metcalf dan Eddy, Inc., 1991, *Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse*, 3rd ed., New York, Mc Graw Hill Inc.
- Mintati, S., 2002. *Penjernihan Effluent IPAL Industri Gula Tebu dengan Bioreaktor*, Bandar Lampung.

- Ngoc, P.M.H., 2006, *Integrated treatment of tapioca processing industrial wastewater: based on environmental biotechnology*, Wageningen University Dissertation No. 4019
- Plevin, R. dan Donnelly, D., 2004, *Converting waste to energy and profit*, Renewable Energy World, September-October, p: 74-81
- Pohland, F.G. dan Malina Jr., J.F., 1992, *Design of anaerobic processes for the treatment of industrial and municipal waste*, Lancaster, Technomic Pub Co
- Pol, L.H., de Zeeuw, W., Dolfing, J., dan Lettinga, G., 1982, *Cultivation of well adapted pelletised methanogenic sludge*, Biotech. Lett., Vol. 4(5), pp. 329-332
- Pol, L.H., Euler, H., Scroth, S., Wittur, T. dan Gros Ganz, D., 1998, *GTS secroral project "promotion of anaerobic technology for the treatment of municipal and industrial wastes and wastewaters*, Proc. 5th Lat. Am. Worksh-Sem. "Wastewater Anaerobic Treatment, Chile
- Quang, N.T., 1986. *Tapioca starch Wastewater Treatment by Aerobic Fluidized Bed Process. Master Thesis*, AIT, Bangkok : EV 86-4.
- Ragen, A.K., Hoi, W.S. dan Ramjeawon, T., 2001, *Pilot plant investigation of the treatment of synthetic sugar factory wastewater using the upflow anaerobic sludge blanket (UASB) process*, AMAS Food and Agricultural Research Council, Mauritius
- Salim, J., 2001, *Developing national capability to implement clean development mechanism (CDM) in ASEAN*, ASEAN CDM Ins. Program, UNIDO
- Schmidt, J.E. dan Ahring, K., 1996, *Granular sludge formation in UASB reactors*, Biotech. Bioeng., Vol. 49, pp. 229-246
- Singh, R.P., Kumar, S. dan Ojha, C.S.P., 1998, *A critique on operational strategy for start-up of UASB reactors: Effects of sludge loading rate and seed/biomass concentration*, Biochem. Eng. J., Vol. 1, pp. 107-119
- Singh, R.P., Kumar, S. dan Ojha, C.S.P., 1999, *Nutrient requirement for UASB process: A Review*, Biochem. Eng. J., Vol. 3, pp. 35-54
- Sutikno, Triwiyono, Irawan, B. dan Damayanthi, A., 1999, *Pembentukan pellet biomassa dan penurunan kadar pati media cair sintetis berkadar pati 0,5-2,5% oleh Aspergillus sp.*, J. Man. Kua. Ling., Vol 1(1), pp. 57-68
- Uemura, S. dan Harada, H., 1995, *Inorganic composition and microbial characteristic of methanogenic granular sludge grown in a thermophilic UASB reactor*, Appl. Micr. and Biotech., Vol. 43, pp. 358-364
- van Lier, J.B., 2006, *Anaerobic Industrial Wastewater Treatment: Prospectives for closing water and resource cycles*, Wageningen University and Lettinga Associates Foundation
- Wah, W.P., Sulaiman, N.M., Nachiappan, M., dan Varadaraj, B., 2002, *Pre-treatment and membrane ultrafiltration using treated palm oil mill effluent (POME)*, Songklanakarin J. Sci. Tech, Vol. 24 (suppl), pp. 891-898
- White, C. 2000. *Sewage Treatment-Solid in Wastewater*. Biotank Ltd.
- Wiegant, M.W. dan de Man, A.W.A., 1980, *Granulation of biomass in thermophilic UASB reactors treating acidified wastewaters*, Biotech. and Bioeng., Vol. 28, pp. 718-727
- Wu, W.M., Hu, J., Gu, X., Zhao, H. dan Gu, G., 1987, *Cultivation of anaerobic granular sludge in UASB reactors with aerobic activated sludge as seed*, Wat. Res., Vol. 21 No. 7. pp. 787-799
- Zinatizadeh, A.A.L., Mohamed, A.R., Abdullah, A.Z., Mashitah, M.D., Isa, M.H., dan Najafpour, G.D., 2006, *Process modelling and analysis of palm oil mill effluent*

teatment in an up-flow anaerobic sludge fixed film bioreactor using response surface methodology (RSM), J. Wat. Res., Vol. 07(005), pp.

SINOPSIS PENELITIAN **(lanjutan/tahun II)**

Judul Usulan : **Karakterisasi proses anaerobik perombak substrat multi karbon dengan teknologi sel terimobilisasi UASB**

Latar Belakang:

Penelitian tahun I (2007) telah berhasil mengeksplorasi kondisi operasi untuk pengolahan limbah cair gabungan, tetapi nilai parameter kinetika pada kondisi optimum yang didapatkan belum diperhitungkan.

Penelitian lanjutan (tahun II/2008) ini akan mencari nilai parameter kinetika pertumbuhan biologi dan untuk mengestimasi kelayakan finansial jika proses UASB pengolah campuran limbah cair industri tersebut akan diaplikasikan di lapangan.

Tujuan Penelitian Tahap II:

- a) Menghasilkan nilai laju beban organik umpan/influen campuran limbah cair industri tapioka, pabrik pengolahan kelapa sawit dan industri gula yang mampu mendukung proses penyisihan karbon, nitrogen dan fosfor dari gabungan limbah cair tersebut
- b) Menghasilkan nilai parameter kinetika pertumbuhan biologi (*yield coefficient, decay constant, half constant velocity, growth rate* dan laju utilisasi substrat) yang berguna untuk menghasilkan desain *scale-up* sistem pengolahan gabungan limbah cair tersebut
- c) Menghasilkan analisis kelayakan finansial terhadap kemungkinan aplikasi sistem pengolahan seperti tersebut

Metodologi Penelitian: Eksperimen Laboratorium
 Simulasi komputer

Sumber Pembiayaan: Dirjen Dikti = Rp. 42.530.000,-

Waktu Pelaksanaan: April – Desember 2008