

KARAKTERISASI PEROMBAKAN SUBSTRAT MULTI KARBON MENGGUNAKAN 2 REAKTOR SERI UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET (UASB) UNTUK PRODUKSI GAS METAN

Panca Nugrahini F

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung
Jl. Sumantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung 35145
email:panca_nugrahini@yahoo.com

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk melanjutkan dalam mempelajari fenomena proses pengolahan campuran limbah cair tapioka, limbah cari gula dan limbah cair pengolahan kelapa sawit dengan proses biologi anaerobik menggunakan reaktor *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB), dengan menggunakan lumpur aktif anaerobik (*anaerobic activated sludge*) sebagai *starter* mikroorganisme pendegradasi limbah cair serta mengetahui karakteristik dari proses perombakan campuran limbah cair industri dengan variasi beban COD yang tinggi pada kondisi optimum.

Limbah cair industri gula berasal dari PTPN VII. Bunga Mayang, limbah cair tapioka berasal dari Industri Tepung Tapioka Rakyat (Ittara) di Desa Bumima Kec. Batanghari Lampung Timur dan limbah cair sawit dari PTPN VII. Rejosari.

Pada penelitian ini dipelajari pengaruh peningkatan kadar COD umpan dengan waktu tinggal (HRT) yang lebih cepat pada kondisi yang optimum (pH dan nutrisi alami) terhadap efisiensi pengolahan campuran limbah. COD umpan diatur pada 5.000, 10.000, 15.000, dan 20.000 mg/L, dan HRT diatur pada 12, 10, 8, dan 6 jam.

Efisiensi reduksi COD limbah cair campuran yang dihasilkan cukup baik, hingga mencapai rentang 63,20%-82,90%. Akumulasi gas rata-rata yang dihasilkan tiap eksperimen besar, mencapai rentang 155-370 mL/hari. pH alami influet yang bersifat asam tidak terlalu mempengaruhi proses degradasi dan effluent dari reaktor ini mempunyai pH yang mendekati netral dengan rentang pH 5.01-6.94.

Kata kunci : Anaerobik, reaktor UASB, biogas, mikroorganisme, limbah cair campuran.

1. PENDAHULUAN

Industri gula tebu, industri tepung tapioka dan pabrik pengolahan minyak kelapa sawit menghasilkan limbah cair dalam jumlah besar dengan konsentrasi karbon masing-masing sebesar ± 4.000 mg COD/L, ± 30.000 mg COD/L 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 limbah cair (Djarwati dkk, 1993), produksi 1 ton kelapa sawit mengeluarkan limbah cair sekitar 2.500-3.500 liter (Ahmad dkk, 2003) dan pengolahan 1 ton tebu per hari menghasilkan limbah cair sebesar 5000 liter (Mintati, 2002).

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. Pengolahan dengan cara tersebut membutuhkan kolam yang banyak dan besar sehingga memerlukan lahan yang luas

Selain gas metan, dispersi produk gas lain seperti CO₂ ke lingkungan terbuka berpotensi menimbulkan pemanasan global dan meningkatkan polusi. Gas metan yang dihasilkan dari proses pengolahan limbah cair pabrik-pabrik tersebut dapat dijadikan sebagai sumber bahan bakar alternatif. Karena dapat menghasilkan biogas yang dapat diperbaharui dari sistem pengolahan anaerobik, limbah cair dipandang sebagai salah satu bahan yang dapat menyediakan sumber energi terbarukan (Chaiprasert dkk, 2003).

Perombakan sistem pengolahan limbah cair secara konvensional dapat dilakukan dengan penerapan sistem aerobik (*full aerobic*), tetapi proses tersebut butuh 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. Tetapi proses CIGAR masih sangat baru. Proses evaporasi telah dikembangkan untuk pengolahan limbah cair pengolahan CPO 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 instalasi pengolahan air limbah (IPAL) khusus menggunakan teknologi proses sel terimobilisasi. Dengan cara tersebut, pihak industri hanya diwajibkan mengirim limbah ke kompleks IPAL khusus, sehingga pabrik 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.

Penelitian tentang pengolahan limbah cair campuran dari tiga jenis industri tersebut dengan menggunakan teknologi proses anaerobik UASB telah dilakukan dan berjalan dengan baik (Saputra, dkk.2007). Pada Riset tersebut, telah berhasil dieksplorasi kondisi operasi untuk pengolahan limbah cair gabungan. Reduksi COD limbah cair berada pada rentang yang baik, yaitu sekitar 67,07%-82,52% (rata-rata) dengan laju beban organik sebesar 6-36 kg COD/m³/hari, sehingga proses degradasi limbah cair yang berasal dari campuran limbah cair industri menggunakan bioreaktor UASB merupakan alternatif yang baik. Dalam riset tersebut juga didapatkan bahwa pada kondisi pH-nutrisi alami dengan nilai pH 5,5-6,5 proses degradasi COD limbah cair campuran berjalan lebih maksimal.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Analisis Awal Kondisi Limbah Cair

Masing-masing limbah cair dan limbah cair campuran diukur nilai suhu, pH, COD, kandungan zat padat (TSS), dan tingkat kekeruhan (APHA, 1992). Observasi inderawi juga dilakukan untuk mengetahui kondisi limbah cair secara cepat.

2.2 Karakterisasi Umpan

Stok limbah cair industri gula, limbah cair industri tapioka, dan limbah cair industri kelapa sawit yang disimpan dalam tangki penampungan dicampur dengan perbandingan volume optimal yaitu 1: 1: 12 untuk umpan ke reaktor UASB (Saputra dkk, 2007) dengan pH dan nutrisi alami (Metcalf dan Eddy, 1991).

2.3 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. Inokulum disimpan dalam lemari pendingin sebelum digunakan. Analisis fisik dan kimia kondisi mikroba starter difokuskan pada suhu asal dan suhu sebelum dilakukan *start-up*, observasi visual, pH.

2.4 Reaktor Start-Up

Seeding reaktor UASB dilakukan dengan menginokulasi lumpur inokulum sebesar 60% volume kerja reaktor. Selanjutnya umpan dengan konsentrasi awal sekitar 2.500 mg/L dengan pH alami dialirkan secara batch recycle untuk jangka waktu 12 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.

2.5 Eksperimen

Setelah 12 hari *start-up*, reaktor siap untuk dioperasikan pada kondisi yang divariasikan. Umpan dipersiapkan pada konsentrasi COD 2.500, 5000, 10.000, 15.000, 20.000 mg/l. Konsentrasi COD influen dinaikkan secara bertahap dari 2.500 hingga konsentrasi maksimum 20.000 mg/l sambil diperiksa konversi COD. Kondisi optimal untuk konsentrasi COD influen adalah 2.500-20.000 (Pandu, 2007). Variasi lain yang ditinjau adalah waktu limbah cair didalam reaktor (HRT) yaitu 6, 8, 10 dan 12 jam.

2.6 Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan dalam penelitian ini menggunakan metode rancangan acak kelompok (*Randomized Complete Block Design*). Kondisi yang dianggap sebagai kelompok adalah kelompok waktu pengamatan. Lama waktu pengamatan untuk setiap kondisi perlakuan adalah 8 hari, dan proses berlangsung secara berkesinambungan (*continue*), tanpa dilakukan replikasi (pengulangan). Kondisi perlakuan terdiri atas kondisi perlakuan dengan 6 faktor pengamatan, yaitu COD *influent dan effluent*, TSS *influent dan effluent*, pH *influent dan effluent*, Kekeruhan *influent dan effluent*, Suhu, dan produksi gas. Formulasi rancangan percobaan diuraikan dalam Tabel 2.1.

Parameter Percobaan :

Hydraulic Retention Time, (HRT) = 12 jam; 10 jam; 8 jam; 6 jam

Konsentrasi COD influen (mg/l) = 2.500, 5000, 10.000, 15.000, 20.000

Kandungan nutrisi = Nutrisi alami

pH umpan = pH alami

Tabel 2.1 Rancangan Percobaan

RUN	TIME	HRT	COD
START	1-10	12	2.500
1	11-17	12	5.000
2	18-24	10	5.000
3	25-31	10	10.000

4	32-38	8	10.000
5	39-45	8	15.000
6	46-52	6	15.000
7	53-59	6	20.000

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

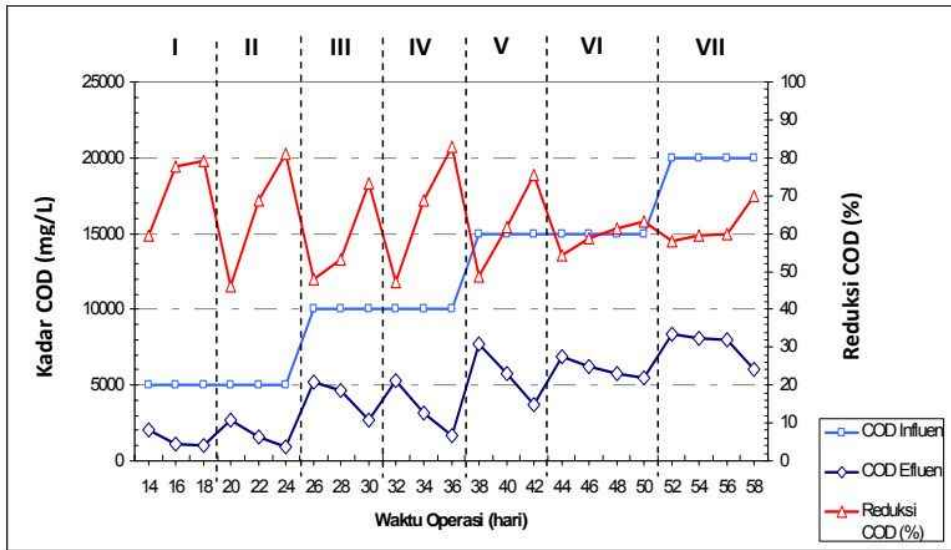
Nilai akhir dari setiap faktor yang diamati pada setiap kondisi dalam eksperimen dapat dilihat pada Tabel 4.10. Dari Tabel dapat diketahui bahwa nilai akhir reduksi kandungan COD limbah cair berada pada rentang 63.20 %-82.90 %, pH akhir berada pada interval 5,63-6,94, kandungan TSS adalah sekitar 145-1.490 mg/L dan turbiditas pada nilai 173-1.439 FAU, serta produksi gas rata-rata yang dihasilkan 155-350 (ml/hari).

Tabel 3.1 Hasil nilai faktor pada setiap run (perlakuan)

Run	Nilai Akhir Tiap Pengamatan				Nilai Rerata
	Reduksi COD	Turbiditas	TSS	pH	Produksi Gas
1	79.00 %	375	283	6,94	245
2	80.86 %	217	158	5,86	170
3	73.40 %	996	1490	5,81	280
4	82.90 %	173	145	6,3	350
5	75.33 %	996	1490	5,81	310
6	63.20 %	1439	1200	5,63	275
7	69.90 %	732	386	6,5	155

3.1 Hubungan Reduksi COD Terhadap COD Umpan

Profil reduksi kandungan COD limbah cair pada akhir proses degradasi di bioreaktor UASB untuk tiap run secara lengkap dapat diilustrasikan dalam Gambar 3.1 berikut.

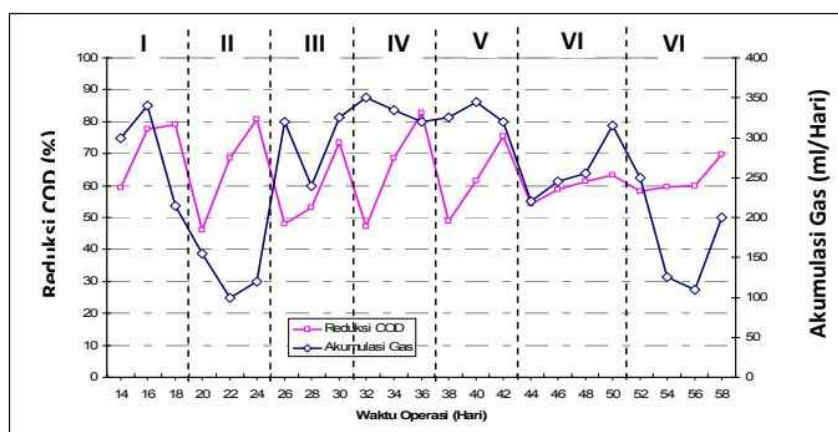


Gambar 3.1. Perubahan nilai COD limbah cair selama proses biodegradasi

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa nilai reduksi COD yang paling besar (>80%) berada pada run II dan IV dengan rentang COD influent pada 5.000-10.000 mg/L, sehingga dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa mikroorganisme yang berasal dari lumpur anaerobik aktif yang diambil dari unit pengolahan limbah cair pabrik CPO masih dapat beraktivitas dengan tinggi dalam campuran limbah cair yang digunakan, meskipun dalam campuran influent limbah sawit cairnya diambil dari IPAL kolam pertama yang masih mengandung bahan pencemar yang tinggi.

3.2 Hubungan Reduksi COD Terhadap Akumulasi Gas

Jumlah gas yang terakumulasi selama penelitian sebagai hasil reduksi dapat diilustrasikan dalam gambar 3.2 berikut.

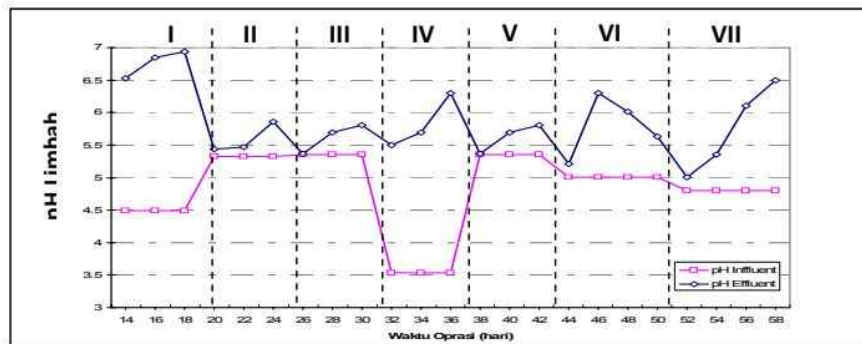


Gambar 3.2. Hubungan reduksi COD terhadap pembentukan gas

Gas yang terbentuk dalam penelitian merupakan hasil dari proses degradasi COD campuran limbah oleh mikroba dalam lumpur anerobik yang merupakan media utama pendegradasi dalam sistem UASB ini. Selama penelitian dilaksanakan, jumlah akumulasi gas yang didapatkan sangat fluktuatif. Dari gambar di atas dapat diamati bahwa jumlah gas yang terakumulasi tidak setabil untuk tiap run dan selalu berubah. Namun secara keseluruhan jumlah akumulasi gas yang dihasilkan masih sebanding dengan besarnya tingkat reduksi COD. Jumlah gas yang diakumulasi pada penelitian ini berada pada rentang rata-rata 155-370 mL/hari dimana akumulasi terendah berada pada run II dan VII, sedangkan yang paling tinggi berada pada run IV.

3.3 Profil pH dalam Penelitian.

Profil pH yang terjadi selama penelitian dapat dilihat pada gambar 3.3 berikut:

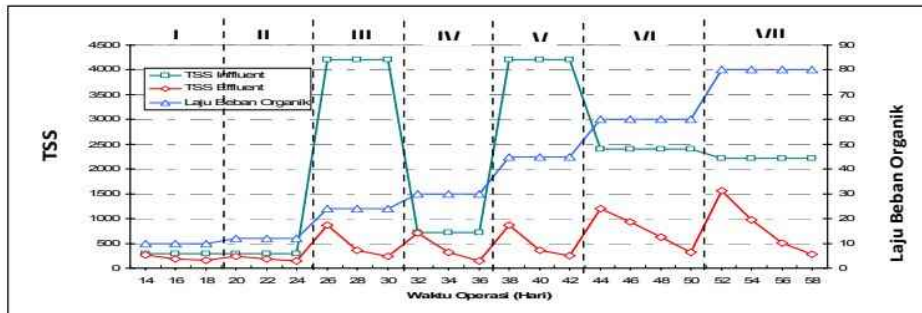


Gambar 3.3. Profil Perubahan pH Selama Penelitian.

Dari gambar 3.3 di atas dapat dilihat bahwa profil pH influent yang dibawa oleh campuran limbah cair langsung mengalami perubahan setelah mengalami degradasi oleh mikroba. Selain itu terlihat juga bahwa selama penelitian dari awal sampai akhir semua pH effluent berada di atas pH influent. Hasil dari proses degradasi terhadap campuran limbah cair industri yang memiliki pH influent alami (tanpa pengkondisian pH) dengan pH rata-rata 4,84, menghasilkan pH effluent yang mendekati pH yang netral dengan rentang pH 5.01-6.94. Hal ini telah mendekati standar baku mutu buangan limbah yang telah ditetapkan oleh pemerintah yaitu 6-9.

3.4 Profil Kandungan TSS dan Faktor Kekeruhan Limbah Cair terhadap Laju Beban Organik dan Reduksi COD

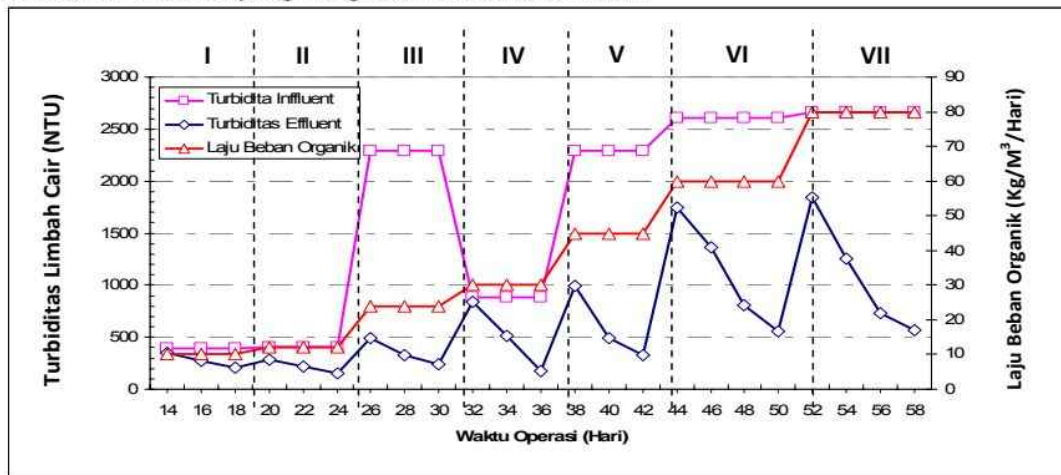
TSS yang terkandung pada influent limbah cair yang digunakan cukup besar. Nilainya berada pada rentang 289-4.200 mg/L. Kandungan TSS yang terdapat di influent dan effluent diperlihatkan pada Gambar 3.4 berikut. Dari gambar dapat diamati bahwa kandungan TSS effluent berada pada rentang 145-1.490 mg/L. Dari rentang TSS influent dan TSS effluent tersebut dapat dihitung nilai rata-rata keseluruhan reduksi terhadap TSS mencapai 61,73%. Hal ini menunjukkan bahwa unggun lumpur anaerobik yang terdapat di reaktor UASB cukup efektif dalam menyaring kandungan TSS influen. Selain itu besarnya nilai reduksi tersebut juga dipengaruhi oleh adanya aliran *recycle* yang mengembalikan aliran dari tangki sedimentasi ke dalam reaktor.



Gambar 4.18. Hubungan kandungan TSS Influen-Effluen dengan laju beban organik

Tetapi kandungan TSS effluent tersebut adalah masih cukup tinggi, sehingga dibutuhkan penanganan lebih lanjut untuk memperkecil nilai tersebut, sebelum effluent dibuang ke lingkungan. Karena kandungan tersebut masih dapat mengganggu kesetimbangan lingkungan.

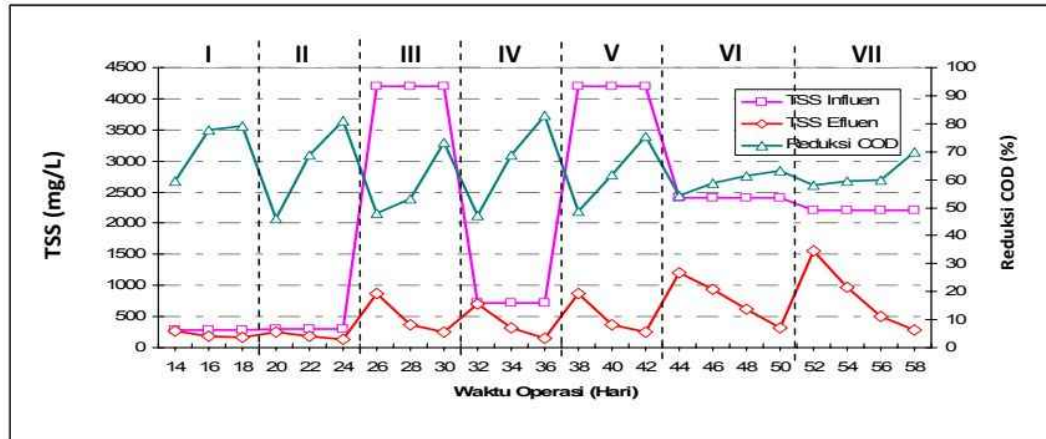
Demikian juga dengan tingkat kekeruhan effluent limbah cair, seperti diilustrasikan dalam Gambar 3.5 berikut. Dari gambar dapat dilihat bahwa pada awal-awal proses sistem dapat secara sempurna mereduksi nilai kekeruhan hingga nilai effluent di bawah 500 NTU mendekati ambang batas buangan limbah cair yang ditetapkan pemerintah yaitu 100 NTU. Sedangkan untuk dua run terakhir (run VI dan VII) nilai kekeruhan effluennya masih cukup besar di atas 1.000 NTU, hal ini dipengaruhi oleh faktor OLR yang cukup besar, sehingga unggun mikroba sudah tidak optimal lagi dalam mereduksinya. Sistem *recycle* juga tidak mampu membantu lagi untuk mencapai nilai kekeruhan effluent yang diinginkan dalam kondisi ini.



Gambar 3.5. Tingkat kekeruhan influen-effluen

Pada eksperimen ini, kandungan TSS yang diumpankan ke bioreaktor UASB adalah 289-4.200 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 3.6 berikut. Dari gambar dapat diamati bahwa tingkat reduksi pada saat beban COD tinggi (TSS > 4.000 mg/L) adalah tetap tinggi (63.20-82.90 %), hal ini mendukung pernyataan penelitian sebelumnya (Saputra, dkk.2007), yang menyimpulkan bahwa pada sistem bioreaktor

UASB masih dapat mengolah limbah cair campuran industri dengan tingkat efisiensi yang cukup tinggi pada saat kandungan TSS > 4.000 mg/L).



Gambar 3.6. Hubungan TSS dengan reduksi COD

4. KESIMPULAN

1. Proses reduksi kandungan COD limbah cair campuran pada saat start-up berlangsung dengan cepat, meskipun limbah sawit di ambil dari kolam pertama, yang masih mengandung bahan pencemar yang tinggi. Hal ini menunjukkan mikroorganisme yang berasal dari lumpur anaerobik aktif masih dapat beraktivitas dengan tinggi dalam campuran limbah cair yang digunakan.
2. Rentang hasil reduksi kandungan COD limbah cair yang diumpankan pada setiap kelompok eksperimen masih cukup baik, yaitu sekitar 63.20%-82.90%. Rentang hasil nilai ini relatif masih dengan penelitian sebelumnya (Saputra, dkk.2007), namun pada penelitian ini digunakan limbah sawit yang mengandung COD yang lebih tinggi. Sehingga penggunaan bioreaktor UASB untuk proses degradasi campuran limbah cair industri masih merupakan alternatif yang cukup baik.
3. Jumlah gas yang terakumulasi berada pada rentang rata-rata 155-370 mL/hari, akumulasi gas tersebut juga tidak mengindikasikan total gas yang dihasilkan oleh proses biodegradasi seperti pada penelitian sebelumnya (Saputra, dkk.2007), karena kendala penelitian seperti aliran gas yang ikut terbawa bersama effluen menuju ke tangki settler masih terjadi. Selain itu pengukuran gas ini juga dipengaruhi oleh keakuratan penggunaan gas metering unit yang digunakan.
4. pH alami inffluent yang diumpankan cenderung bersifat asam dengan nilai rata-rata 4,84. Namun kondisi ini tidak mempengaruhi kinerja dari bioreaktor UASB. Dan effluent dari reaktor ini mempunyai pH yang mendekati netral dengan rentang pH 5.01-6.94.
5. 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.

UCAPAN TERIMA KASIH

1. Ibu Panca Nugrahini F., S.T., M.T, selaku dosen pembimbing penelitian yang telah memberi ide dan membimbing serta motivasi kepada penulis selama penulis merencanakan, melaksanakan dan penyusunan laporan penelitian ini.
2. Rekan-rekan penelitian, Hendi, Anita dan Kak Kiki, untuk kerjasamanya.

DAFTAR PUSTAKA

- 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.
- 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
- Djarwati, Iffatul Fauzi, dan Sukani, 1993. *Pengolahan Air Limbah Industri Tapioka Secara Kimia Fisika*, Laporan Penelitian. Departemen Perindustrian RI, Semarang
- Kiely, 1997. *Environmental Engineering*. New York: McGraw-Hill.
- 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
- 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.
- Saputra,dkk. 2007, *Karakterisasi Perombakan Anaerobik Campuran Limbah Cair Industri Menggunakan Reaktor Upflow Anaerobik Slugde Blanket (UASB)*, Laporan Penelitian. Universitas Lampung, Bandar Lampung
- Schmidt, J.E. dan Ahring, K., 1996, *Granular sludge formation in UASB reactors*, Biotech. Bioeng., Vol. 49, pp. 229-246
- 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