



Penyisihan Karbohidrat dari Limbah Cair PKS dengan Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Cangkang Sawit

Adrianto Ahmad, Yelmida, Arjunita

Jurusan Teknik Kimia Universitas Riau
Jl. HR Subrantas Km. 12,5 Kampus Bina Widya Panam Pekanbaru 28293
email: adri@unri.ac.id

Abstract

Carbohydrates in liquid waste palm oil industry contained concentration of 2.000 mg/L. If the liquid waste directly discharged into the waters will contaminate aquatic ecosystems. Handling liquid waste palm oil industry using by a anaerobic hybrid bioreactor. Anaerobic hybrid bioreactor is a combination of suspended growth and attached growth systems with palm shell as attachment media. Bioreactor operated by varying the hydraulic retention time (HRT) in 1, 2, 3, 4 and 5 days. Parameters was observed in this research are the amount of the allowance and the hydrolysis rate constant (k_h) total and soluble carbohydrates of liquid waste palm oil industry. The results showed that the removal efficiency and the hydrolysis rate constant (k_h), total and soluble carbohydrates on HRT 1 to 5 days the increases percentage. On 1 day of HRT the efficiency total of removal carbohydrate is 66,18% with k_h 0,06 day^{-1} and soluble carbohydrate 69,86%, with k_h 0,064 day^{-1} increased to 79,86% for total carbohydrate removal k_h 0,135 day^{-1} and soluble carbohydrate 81,36%, with k_h 0,143 day^{-1} on HRT 5 days. The results showed that 4 days of HRT provide the highest removal efficiency with the hydraulic time optimum 78,42% and 80,23% and the value of a total carbohydrate k_h is 0,104 day^{-1} with k_h soluble 0,107 day^{-1} .

Keywords: anaerobic hybrid bioreactor, shell oil, hydrolysis, carbohydrate.

Pendahuluan

Limbah cair industri minyak sawit mengandung karbohidrat sebesar 2.000 mg/L (Ahmad, 2004). Jika limbah cair tersebut langsung dibuang ke perairan akan mengganggu ekosistem perairan karena karbohidrat adalah senyawa organik kompleks yang tidak dapat dimanfaatkan secara langsung oleh bakteri di dalam proses metabolismenya, membran sel bakteri hanya dapat dilewati oleh senyawa organik sederhana yaitu glukosa (Ahmad, 2001). Oleh karena itu, perlu dilakukan pengolahan terhadap limbah cair industri minyak sawit sebelum dibuang ke badan air atau perairan.

Penanganan yang sesuai untuk mengolah limbah cair industri minyak sawit adalah dengan proses anaerob karena proses ini mempunyai kelebihan dibandingkan proses aerob, antara lain tidak membutuhkan biaya untuk aerasi, lumpur yang dihasilkan relatif sedikit dan menghasilkan gas metan yang dapat digunakan sebagai sumber bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar minyak (Ahmad, 2009). Akan tetapi, proses anaerob juga mempunyai kelemahan yaitu sulitnya dalam mempertahankan dan mengendalikan bioreaktor yang mengakibatkan waktu tinggal biomassa di dalam bioreaktor menjadi singkat dan mengurangi jumlah biomassa yang ada sehingga kinerja bioreaktor menjadi rendah (Ahmad, 2001). Oleh karena itu, dirancang suatu bioreaktor untuk mengatasi kelemahan tersebut dengan menggabungkan dua sistem pertumbuhan mikroorganisme, yaitu

tersuspensi dan melekat di dalam satu bioreaktor yang disebut bioreaktor hibrid anaerob dengan cangkang sawit sebagai media imobilisasi sel.

Bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit dirancang dengan tujuan untuk mencegah terjadinya kehilangan biomassa dari sistem dengan cara menjebak biomassa pada ruang penyekat dan media pendukung (cangkang sawit) sehingga relatif sedikit biomassa yang terbuang. Akibatnya konsentrasi biomassa dalam sistem akan meningkat dan kinerja bioreaktor juga akan meningkat dalam menyisihkan karbohidrat.

Biodegradasi anaerob senyawa kompleks organik melalui tiga tahap proses yaitu hidrolisis, asidogenesis dan metanogenesis dan proses penguraian senyawa kompleks organik menjadi senyawa organik sederhana berlangsung pada proses hidrolisis yang dilakukan oleh kelompok bakteri hidrolitik (Ahmad, 2009). Ahmad dkk. (2001) menyatakan bahwa limbah cair yang mengandung bahan-bahan kompleks organik, pengendali proses terletak pada tahap hidrolisis karena proses hidrolisis bahan-bahan kompleks organik lebih lambat dibandingkan dengan tahap proses lain sehingga hidrolisis akan mempengaruhi kinetika proses keseluruhan. Makalah ini bertujuan untuk menentukan penyisihan optimal dan konstanta laju reaksi hidrolisis karbohidrat pada bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit.

Landasan Teori

Limbah cair industri minyak sawit mengandung bahan-bahan organik yang sangat tinggi, seperti karbohidrat dengan konsentrasi sebesar 2.000 mg/L, protein sebesar 3.000 mg/L, dan minyak-lemak sebesar 6.390 mg/L, sehingga penanganan yang sesuai untuk mengolah limbah cair industri minyak sawit adalah dengan proses anaerob (Ahmad, 2004). Proses anaerob merupakan proses degradasi senyawa organik seperti karbohidrat, protein dan lemak yang terdapat dalam limbah cair oleh bakteri anaerob tanpa kehadiran oksigen menjadi biogas (Ahmad, 2009).

Biodegradasi senyawa organik secara anaerob melalui beberapa tahap yakni tahap pembentuk asam (terdiri dari proses hidrolisis, proses asidogenesis, proses asetogenesis) dan tahap pembentuk metan (proses metanogenesis) (Ahmad, 2001). Tahap pembentuk asam merupakan tahap penguraian senyawa organik menjadi asam lemak volatil seperti asam asetat, asam propionat, asam butirat dan gas berupa CO₂ dan H₂. Selanjutnya, tahap pembentuk metan merupakan tahap perubahan (konversi) asam asetat, CO₂ dan H₂ menjadi biogas yang terdiri dari CH₄ (50-70%) dan CO₂ (25-45%), serta N₂, H₂, H₂S dalam jumlah kecil (Firmansyah dan Adi, 2001). Diantara beberapa proses tersebut yang bertindak sebagai laju pembatas pada proses biodegradasi senyawa organik kompleks adalah proses hidrolisis karena hidrolisis berlangsung paling lambat dibandingkan proses lainnya sehingga akan mempengaruhi kinetika proses keseluruhan.

Untuk menentukan kinetika hidrolisis terlebih dahulu harus diketahui orde reaksi hidrolisis karbohidrat pada bakteri anaerob. Untuk menentukan orde reaksi yang sesuai dengan proses hidrolisis tersebut dapat ditinjau dari hubungan antara laju reaksi dengan konsentrasi substrat yang dinyatakan dengan persamaan (Ahmad, 2001):

$$dC/dt = k C^n \quad (1)$$

Persamaan 1 dapat diubah menjadi,

$$dC/C^n = k dt \quad (2)$$

dengan asumsi bahwa reaksi hidrolisis memenuhi persamaan orde satu maka $n = 1$, persamaan 2 berubah menjadi,

$$dC/C = k dt \quad (3)$$

dan bila diintegrasikan diperoleh:

$$\ln C_0/C = kt \quad (4)$$

Kecocokan model tersebut ditentukan oleh besarnya kesalahan realatif antara data percobaan dan hasil perhitungan model. Kesalahan relatif antara data percobaan dengan data hasil perhitungan model kinetik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dari Dinopoulou dkk (1990) yaitu:

$$RE = \frac{\sum_{i=1}^n [(R_{s,T} - R_{SM,T}) / R_{s,T}]}{N} \times 100\% \quad (5)$$

Salah satu pengolahan limbah cair secara anaerob dapat dilakukan dengan menggunakan bioreaktor

hibrid anaerob. Bioreaktor hibrid anaerob merupakan penggabungan antara sistem pertumbuhan mikroorganisme tersuspensi dan pertumbuhan melekat. Pada sistem pertumbuhan tersuspensi (*suspended growth*), mikroorganisme tumbuh dan berkembang dalam keadaan tersuspensi di dalam fasa cair. Sedangkan di dalam sistem pertumbuhan melekat (*attached growth*), mikroorganisme tumbuh dan berkembang melekat di atas media pendukung dengan membentuk lapisan *biofilm* (Ahmad, 2009). Media pendukung yang digunakan adalah cangkang sawit, karena cangkang sawit mudah didapat, memiliki permukaan yang kasar dan kuat.

Metode Penelitian

Karakteristik Limbah Cair

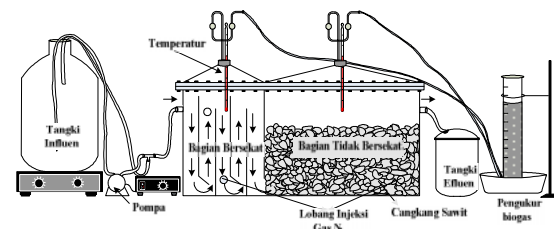
Limbah cair yang digunakan adalah limbah cair industri minyak sawit PTPN V Sei. Pagar dengan karakteristik seperti ditampilkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Limbah Cair Industri Minyak Sawit PTPN V Sei. Pagar

Parameter	Satuan	Rentang	Rata-rata
pH	-	5,4 – 5,8	5,6
Suhu	°C	42 - 56	49
Karbohidrat Total	mg/L	6.850 – 6.950	6.900
Karbohidrat Terlarut	mg/L	5.750 – 5.900	5.825

Bioreaktor Hibrid Anaerob

Bioreaktor hibrid anaerob yang digunakan memiliki volume kerja 11.340 ml dengan berat cangkang sawit yang dibutuhkan sebesar 3938,4 gram. Pada bagian bioreaktor yang bersekat, dimasukkan kultur campuran hasil aklimatisasi sampai batas atas sekat dan pada bagian bioreaktor yang tidak bersekat dimasukkan juga kultur campuran tersebut kemudian ditambahkan cangkang sawit sampai tinggi cairan antara ke dua bagian bioreaktor sama. Tinggi cangkang sawit di dalam bioreaktor $\frac{3}{4}$ tinggi cairan di dalam bioreaktor. Kemudian diinjeksikan gas nitrogen ke dalam sistem yang bertujuan untuk mengusir oksigen terlarut dalam cairan. Peralatan bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit dalam mengolah limbah cair dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit.

Gambar 1. menunjukkan bahwa limbah cair industri minyak sawit yang akan diolah, dimasukkan ke dalam tangki influen. Kemudian, dengan menggunakan pompa, limbah cair tersebut dialirkan ke dalam bioreaktor sesuai dengan laju alir yang diinginkan hingga, akhirnya aliran akan keluar menuju tangki efluen. Pada bagian atas bioreaktor hibrid anaerob tersebut dilengkapi dengan leher angsa yang berfungsi sebagai tempat keluarnya biogas yang terbentuk dan selang yang menuju ke tabung penampungan biogas.

Start-up Bioreaktor Hibrid Anaerob

Selama proses *start-up* substrat dialirkan ke dalam bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit, kemudian diresirkulasi yang bertujuan untuk menaikkan dan menahan pertumbuhan *biofilm*. Analisa karbohidrat dilakukan pada saat keadaan tunak tercapai, yaitu fluktuasi COD 10 % dan proses ini berlangsung selama 42 hari.

Operasional Bioreaktor Hibrid Anaerob

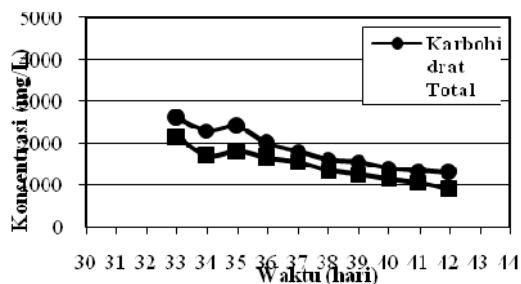
Setelah proses *start-up* dianggap selesai, dilanjutkan dengan pengoperasian bioreaktor dengan memvariasikan waktu tinggal hidrolis, yaitu 1 hari, 2 hari, 3 hari, 4 hari dan 5 hari. Parameter yang diamati adalah besarnya penyisihan dan konstanta laju hidrolisis karbohidrat total dan karbohidrat terlarut. Metoda analisa karbohidrat dilakukan dengan pereaksi Anthron.

Hasil dan Pembahasan

Hasil dan pembahasan yang diuraikan dibawah ini meliputi, pengamatan selama proses *start-up*, keadaan transien dan setelah kondisi tunak tercapai, menentukan orde reaksi dan menghitung nilai konstanta laju hidrolisis (k_h) pada proses operasional bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit.

Perubahan Konsentrasi Karbohidrat pada Tahap Start-up Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Cangkang Sawit.

Hubungan antara waktu *start-up* terhadap perubahan konsentrasi karbohidrat ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hubungan waktu terhadap konsentrasi karbohidrat pada tahap *start-up*.

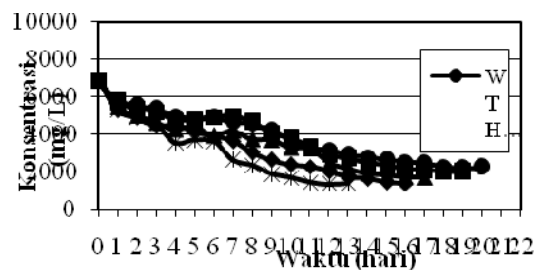
Gambar 2. menunjukkan bahwa fluktuasi konsentrasi karbohidrat total dan karbohidrat terlarut mulai hari ke-32 hingga ke-42 relatif konstan. Keadaan ini menunjukkan bahwa kondisi tunak sudah tercapai. Pada proses *start-up* terjadi penurunan konsentrasi karbohidrat total dari 6850 mg/L hingga 1300 mg/L dan karbohidrat terlarut dari 5850 mg/L hingga 900 mg/L. Penurunan konsentrasi karbohidrat menunjukkan bahwa bakteri telah mampu berkembang-biak dengan baik sehingga bakteri tersebut mampu membentuk flok dan membentuk lapisan *biofilm* pada media imobilisasi sel (cangkang sawit) dan diikuti dengan degradasi senyawa-senyawa organik kompleks yang menghasilkan gas metan dan CO_2 . Dari hasil pengamatan menunjukkan bahwa konsentasi karbohidrat total dan karbohidrat terlarut pada keadaan tunak sebesar 1350 mg/L dan 1033,3 mg/L.

Perubahan Konsentrasi Karbohidrat Selama Proses Operasional Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Cangkang Sawit

Setelah tahap *start-up* dianggap selesai, penelitian dilanjutkan dengan operasional bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit secara kontinu dengan memvariasikan waktu tinggal hidrolis (WTH), yaitu 1 hari, 2 hari, 3 hari, 4 hari dan 5 hari. Hasil pengamatan selama berlangsung proses kontinu bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit ditampilkan dalam 2 keadaan, yaitu keadaan transien dan setelah keadaan tunak tercapai.

a. Konsentrasi Karbohidrat Total dan Terlarut Efluen Bioreaktor pada Keadaan Transien

Perubahan konsentrasi karbohidrat total dan terlarut selama berlangsung proses operasional dengan berbagai waktu tinggal hidrolis (WTH) pada bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit ditampilkan pada Gambar 3.

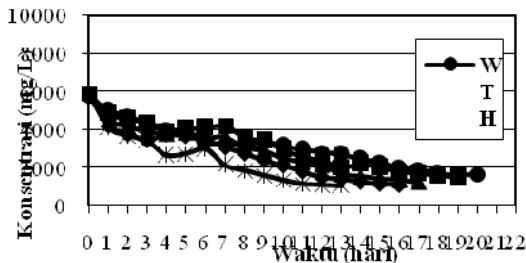


Gambar 3. Hubungan waktu terhadap konsentrasi karbohidrat total keluaran bioreaktor.

Gambar 3. menunjukkan bahwa konsentrasi karbohidrat total keluaran bioreaktor secara umum mempunyai kecenderungan menurun pada setiap peningkatan waktu tinggal hidrolis (WTH). Pada WTH 1 hari menunjukkan bahwa konsentrasi karbohidrat total keluaran bioreaktor menurun dari

6.850 mg/L hingga terendah 2.250 mg/L. Pada WTH 2 hari diperoleh konsentrasi karbohidrat total keluaran bioreaktor berkisar dari 6.850 mg/L hingga terendah 2000 mg/L. Pada WTH 3 hari diperoleh konsentrasi karbohidrat total keluaran bioreaktor berkisar dari 6.950 mg/L hingga terendah 1.700 mg/L. Pada WTH 4 hari diperoleh konsentrasi karbohidrat total keluaran bioreaktor berkisar dari 6.950 mg/L hingga terendah 1.400 mg/L. Sementara itu, pada WTH 5 hari diperoleh konsentrasi karbohidrat total keluaran bioreaktor berkisar dari 6.950 hingga terendah 1.350 mg/L.

Proses hidrolisis senyawa karbohidrat menjadi senyawa terlarut berlangsung atas bantuan enzim α -amilase yang dikeluarkan oleh kelompok bakteri hidrolitik (Ahmad dkk., 2001). Penurunan konsentrasi karbohidrat total keluaran bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit, menandakan bahwa bakteri yang terdapat di dalam bioreaktor telah mampu mendegradasi zat-zat organik yang ada pada limbah cair industri minyak sawit (Widjaja dkk., 2008).



Gambar 4. Hubungan waktu terhadap konsentrasi karbohidrat terlarut keluaran bioreaktor.

Gambar 4. menunjukkan bahwa konsentrasi karbohidrat terlarut keluaran bioreaktor secara umum mempunyai kecenderungan menurun pada setiap peningkatan waktu tinggal hidrolis (WTH). Pada WTH 1 hari menunjukkan bahwa konsentrasi karbohidrat terlarut keluaran bioreaktor menurun dari 5.750 mg/L hingga terendah 1.650 mg/L. Pada WTH 2 hari diperoleh konsentrasi karbohidrat terlarut keluaran bioreaktor berkisar dari 5.900 mg/L hingga terendah 1.450 mg/L. Pada WTH 3 hari diperoleh konsentrasi karbohidrat terlarut keluaran bioreaktor berkisar dari 5.900 mg/L hingga terendah 1.250 mg/L. Pada WTH 4 hari diperoleh konsentrasi karbohidrat terlarut keluaran bioreaktor berkisar dari 5.900 mg/L hingga terendah 1.100 mg/L. Sementara itu, pada WTH 5 hari diperoleh konsentrasi karbohidrat terlarut keluaran bioreaktor berkisar dari 5.900 hingga terendah 1.050 mg/L.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penguraian senyawa karbohidrat yang terdapat di dalam bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit semakin tinggi seiring dengan meningkatnya waktu tinggal hidrolis. Pada proses hidrolisis senyawa karbohidrat menjadi senyawa terlarut berlangsung atas bantuan enzim α -amilase yang dikeluarkan oleh kelompok bakteri hidrolitik (Ahmad dkk., 2001).

b. Konsentrasi Karbohidrat Total dan Terlarut Efluen Bioreaktor pada Keadaan Tunak.

Keadaan tunak bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit ditampilkan pada Tabel 2.

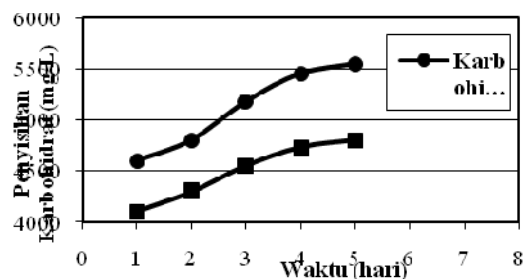
Tabel 2. Bermedia Cangkang Sawit dengan Berbagai Waktu Tinggal Hidrolis

WTH (Hari)	Konsentrasi mg/L	
	Karbohidrat Total	Karbohidrat Terlarut
1	2316,67	1733,33
2	2050	1583,33
3	1766,67	1350
4	1500	1166,67
5	1400	1100

Dari Tabel 2. dapat dilihat bahwa pada kondisi tunak konsentrasi karbohidrat total sebesar 2316,67 mg/L dan karbohidrat terlarut sebesar 1733,33 mg/L untuk WTH 1 hari, pada WTH 2 hari diperoleh konsentrasi karbohidrat total sebesar 2050 mg/L dan karbohidrat terlarut sebesar 1583,33 mg/L, pada WTH 3 hari diperoleh konsentrasi karbohidrat total sebesar 1766,67 mg/L dan karbohidrat terlarut sebesar 1350 mg/L. Sementara itu, pada WTH 4 hari diperoleh konsentrasikarbohidrat total sebesar 1500 mg/L dan karbohidrat terlarut sebesar 1166,67 mg/L, pada WTH 5 hari diperoleh konsentrasi karbohidrat total sebesar 1400 mg/L dan karbohidrat terlarut sebesar 1100 mg/L. Semakin lama waktu tinggal akan memberikan waktu kontak antara bahan organik yang terdapat dalam limbah cair dengan mikroorganisme juga semakin lama sehingga degradasi senyawa organik menjadi paling besar (Husin, 2008). Hal ini terbukti dengan konsentrasi karbohidrat untuk WTH 5 memiliki nilai yang paling rendah di dibandingkan WTH lainnya.

Hubungan Waktu Tinggal Hidrolis Terhadap Penyisihan Karbohidrat

Perubahan konsentrasi karbohidrat keluaran bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit pada keadaan tunak dapat dilihat pada Gambar 5.



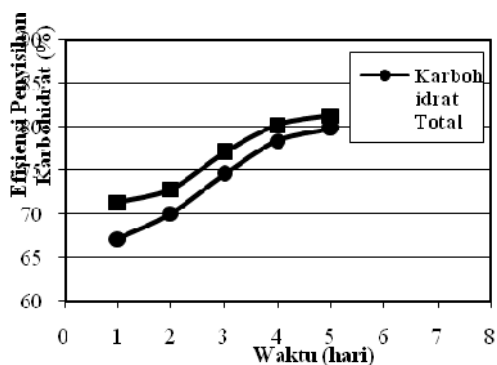
Gambar 5. Pengaruh waktu tinggal hidrolis terhadap penyisihan karbohidrat pada bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit.

Gambar 5. menunjukkan bahwa penyisihan karbohidrat secara umum mempunyai kecenderungan meningkat dengan meningkatnya waktu tinggal hidrolis (WTH). Pada WTH 1 hari menunjukkan bahwa penyisihan karbohidrat total sebesar 4533,33 mg/L dan karbohidrat terlarut sebesar 4016,67 mg/L, pada WTH 2 hari menunjukkan bahwa penyisihan karbohidrat total yang diperoleh sebesar 4800 mg/L dan karbohidrat terlarut sebesar 4316,67 mg/L dan pada WTH 3 hari menunjukkan bahwa penyisihan karbohidrat total sebesar 5183,33 mg/L dan karbohidrat terlarut sebesar 4550 mg/L. Sementara itu, pada WTH 4 hari menunjukkan bahwa penyisihan karbohidrat total sebesar 5450 mg/L dan karbohidrat terlarut sebesar 4733,33 mg/L, pada WTH 5 hari menunjukkan bahwa penyisihan karbohidrat total sebesar 5550 mg/L dan karbohidrat terlarut sebesar 4800 mg/L.

Dari Gambar 5. dapat dilihat bahwa penyisihan karbohidrat terbesar adalah pada WTH 5 hari karena bakteri pendegradasi limbah cair dapat bekerja secara optimal pada tahap ini. Hal ini disebabkan karena waktu tinggal hidrolis (WTH) yang cukup lama akan memberikan kesempatan kontak lebih lama antara bakteri dengan limbah cair, sehingga proses degradasi menjadi lebih baik dibandingkan dengan WTH lainnya yang penyisihan karbohidratnya lebih kecil (Nugraihini, 2008).

Hubungan Waktu Tinggal Hidrolik Terhadap Efisiensi Penyisihan Karbohidrat

Pengaruh waktu tinggal hidrolis terhadap efisiensi penyisihan karbohidrat ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Pengaruh waktu tinggal hidrolis terhadap efisiensi penyisihan karbohidrat pada bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit.

Gambar 6. menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan karbohidrat total dan terlarut secara umum mempunyai kecenderungan meningkat dengan meningkatnya waktu tinggal hidrolis. Pada WTH 1 hari menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan karbohidrat total sebesar 66,8 % dan karbohidrat

terlarut sebesar 69,86 %, pada WTH 2 hari menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan karbohidrat total sebesar 70,07 % dan karbohidrat terlarut sebesar 73,16 %, pada WTH 3 hari menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan karbohidrat total sebesar 74,58 % dan karbohidrat terlarut sebesar 77,12 %. Sementara itu, pada WTH 4 hari menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan karbohidrat total sebesar 78,42 % dan karbohidrat terlarut sebesar 80,23 %, pada WTH 5 hari menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan karbohidrat total sebesar 79,86 % dan karbohidrat terlarut sebesar 81,36 %.

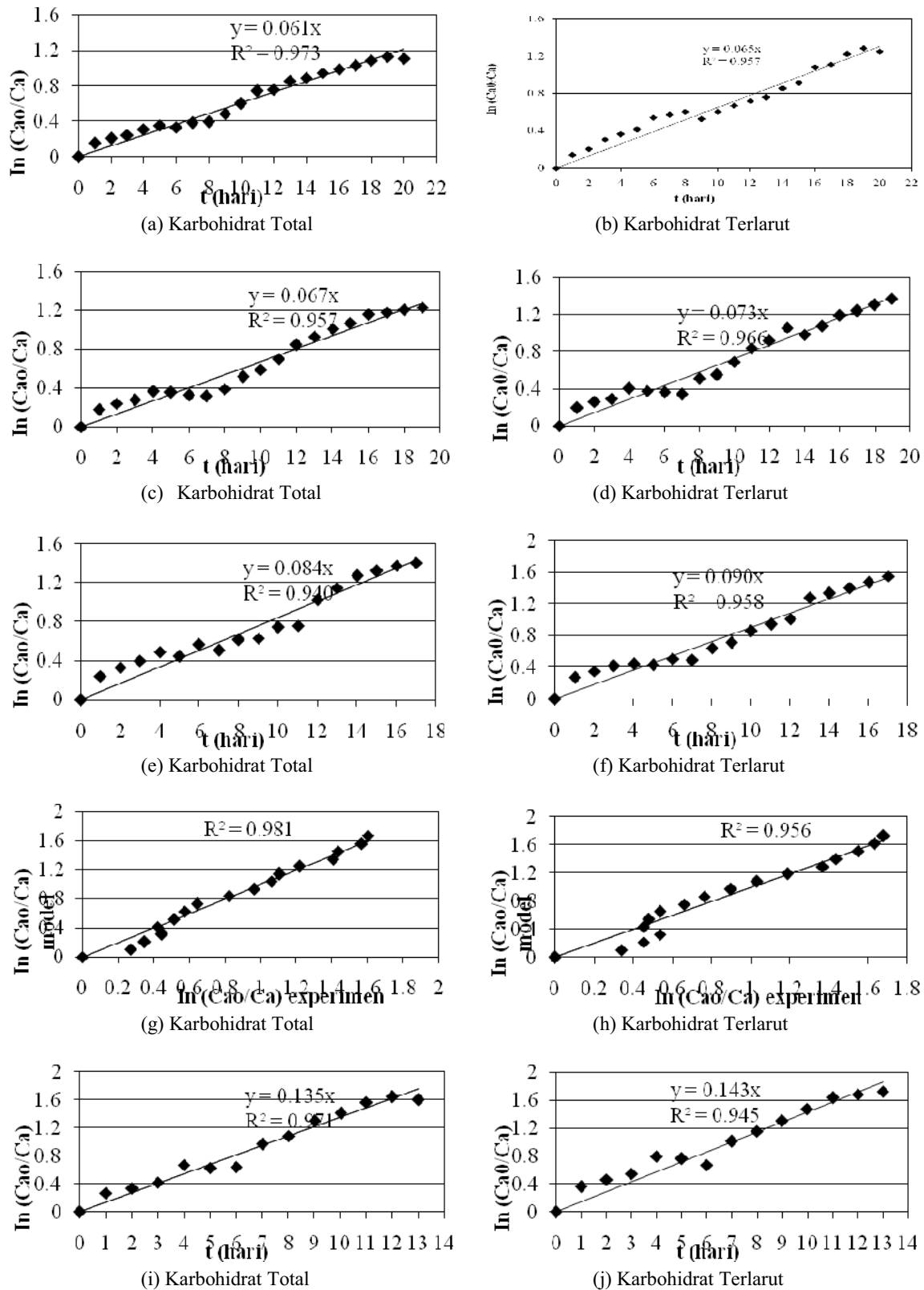
Dari Gambar 6. dapat dilihat bahwa efisiensi penyisihan karbohidrat terbesar adalah pada WTH 5 hari. Hal ini membuktikan bahwa semakin lama waktu tinggal cairan maka mikroorganisme memiliki waktu yang lebih lama untuk mendegradasi senyawa organik yang terkandung di dalam limbah cair yang diolah, sedangkan pada waktu tinggal hidrolis yang rendah, mikroorganisme tidak mendapatkan waktu yang cukup untuk mencerna senyawa organik yang merupakan nutrisi bagi mikroorganisme tersebut. Kinerja optimal bioreaktor bila ditinjau dari waktu pengolahan yang optimum adalah pada WTH 4 hari dengan efisiensi penyisihan karbohidrat total sebesar 78,42 % dan karbohidrat terlarut sebesar 80,23 %, karena perbandingan efisiensi penyisihan karbohidrat antara WTH 4 dan 5 hari mempunyai nilai kesalahan relatif yang kecil yaitu 1,8% untuk karbohidrat total dan karbohidrat terlarut 1,39%. Waktu pengolahan yang cukup singkat menunjukkan bahwa sistem bioreaktor hibrid anaerob lebih baik karena akan membutuhkan ukuran bioreaktor yang relatif kecil dan dengan sendirinya kebutuhan lahan untuk membangun instalasinya juga akan kecil, sehingga dapat menghemat biaya produksi.

Kinetika Hidrolisis Karbohidrat pada Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Cangkang Sawit

Kinetika reaksi hidrolisis ditinjau dari penguraian substrat oleh enzim yang dikeluarkan oleh bakteri anaerob. Studi kinetika hidrolisis dilakukan dengan memvariasikan waktu tinggal hidrolis (WTH), yaitu 1 hari, 2 hari, 3 hari, 4 hari dan 5 hari. Untuk menentukan orde reaksi yang sesuai dalam menghidrolisis karbohidrat digunakan persamaan 1 dengan asumsi bahwa reaksi hidrolisis memenuhi persamaan orde satu.

$$\ln \frac{Ca_0}{Ca} = kt \quad \dots \dots \dots (1)$$

Penentuan orde reaksi dengan memplotkan $\ln \frac{Ca_0}{Ca}$ terhadap t . Apabila diperoleh garis linier maka penguraian substrat tersebut memenuhi orde satu dan bila tidak linier berarti tidak memenuhi orde satu tersebut. Grafik antara $\ln \frac{Ca_0}{Ca}$ terhadap t untuk hidrolisis karbohidrat pada masing-masing waktu tinggal hidrolis ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 7 a – j. Pengujian orde reaksi hidrolisis karbohidrat pada bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit : (a&b) WTH 1 hari; (c&d) WTH 2 hari; (e&f) WTH 3 hari; (g&h) WTH 4 hari; (i&j) WTH 5 hari.

Gambar 7. (a sampai j) menunjukkan bahwa penguraian karbohidrat pada bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit memenuhi asumsi bahwa orde reaksi adalah orde satu. Hal ini dapat dipahami karena reaksi penguraian substrat tersebut menunjukkan hubungan yang linier terhadap substrat yang terhidrolisis. Menurut San Pedro dkk (1994) bahwa laju hidrolisis tidak dipengaruhi oleh konsentrasi biomassa, namun mempunyai hubungan orde satu dengan konsentrasi substrat. Konstanta laju hidrolisis yang diperoleh secara eksperimental ditampilkan dalam Tabel 2.

Validasi konstanta hidrolisis yang diperoleh diuji dengan membandingkan antara data percobaan dengan data hasil perhitungan model kinetik dan dilihat besarnya kesalahan relatif. Besarnya kesalahan relatif antara data hasil percobaan dengan hasil perhitungan model diperoleh relatif kecil ditampilkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Konstanta Laju Hidrolisis dan Kesalahan Relatif Model Kinetik Karbohidrat Keluaran Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Cangkang Sawit.

WTH	k_h (hari ⁻¹)		RE (%)	
	KH Total	KH Terlarut	KH Total	KH Terlarut
1	0,06	0,071	7,45	9,98
2	0,067	0,073	2,6	3,62
3	0,084	0,09	8,23	6,35
4	0,104	0,107	6,86	6,22
5	0,135	0,143	5,50	8,75

Keterangan: RE = relative error dan KH = Karbohidrat

Dari Tabel 2. dapat dilihat bahwa, laju reaksi hidrolisis masing-masing WTH baik pada karbohidrat total maupun pada karbohidrat terlarut menunjukkan bahwa laju reaksi hidrolisis karbohidrat semakin besar seiring dengan penambahan WTH. Pada WTH 1 hari menunjukkan bahwa konstanta laju hidrolisis karbohidrat total sebesar 0,06 hari⁻¹ dan karbohidrat terlarut sebesar 0,071 hari⁻¹, pada WTH 2 hari menunjukkan bahwa konstanta laju hidrolisis karbohidrat total sebesar 0,067 hari⁻¹ dan karbohidrat terlarut sebesar 0,073 hari⁻¹, pada WTH 3 hari menunjukkan bahwa konstanta laju hidrolisis karbohidrat total sebesar 0,084 hari⁻¹ dan karbohidrat terlarut sebesar 0,09 hari⁻¹. Sementara itu, pada WTH 4 hari menunjukkan bahwa konstanta laju hidrolisis karbohidrat total sebesar 0,104 hari⁻¹ dan karbohidrat terlarut sebesar 0,107 hari⁻¹, pada WTH 5 hari menunjukkan bahwa konstanta laju hidrolisis

karbohidrat total sebesar 0,135 hari⁻¹ dan karbohidrat terlarut sebesar 0,143 hari⁻¹.

Tabel 2. menunjukkan kecocokan model kinetika reaksi hidrolisis orde satu yang digunakan pada berbagai waktu tinggal hidrolis untuk senyawa karbohidrat pada bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit. Kecocokan model ini diperlihatkan oleh nilai kesalahan relatif antara data percobaan dengan data perhitungan model yang lebih rendah dari 10 %. Pada WTH 1 hari terlihat bahwa besarnya kesalahan relatif antara data hasil percobaan dengan hasil perhitungan model diperoleh relatif kecil yaitu 7,45 % untuk karbohidrat total dan 9,98 % untuk karbohidrat terlarut, pada WTH 2 hari menunjukkan bahwa kesalahan relatif karbohidrat total sebesar 2,6 % dan karbohidrat terlarut sebesar 3,62 %, pada WTH 3 hari menunjukkan bahwa kesalahan relatif karbohidrat total sebesar 8,23 % dan karbohidrat terlarut sebesar 6,35 %. Sementara itu, pada WTH 4 hari menunjukkan bahwa kesalahan relatif karbohidrat total sebesar 6,86 % dan karbohidrat terlarut sebesar 6,22 %, pada WTH 5 hari menunjukkan bahwa kesalahan relatif karbohidrat total sebesar 5,50 % dan karbohidrat terlarut sebesar 8,75 %. Kecocokan antara data percobaan dengan data model berarti model ini dapat menggambarkan perilaku proses biodegradasi limbah cair industri minyak sawit pada bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit.

Studi Komparatif Kinerja Bioreaktor Hibrid Anaerob

Studi komparatif kinerja bioreaktor hibrid anaerob ditinjau dengan membandingkan efisiensi penyisihan dan konstanta laju hidrolisis pada bioreaktor hibrid anaerob terhadap bioreaktor anaerob lainnya dalam mengolah limbah cair. Perbandingan efisiensi penyisihan dan konstanta laju hidrolisis bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit dengan bioreaktor lainnya disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan Kinerja Bioreaktor Hibrid Anaerob dengan Bioreaktor Anaerob lainnya

Jenis Bioreaktor	Limbah Cair	WTH (Hari)	Eff. Penyisihan KH (%)	k_h (hari ⁻¹)	Peneliti (Tahun)
Pencerna Anaerob	Sintetik	3	73,5	0,168	Ahmad dkk. (2000)
Pencerna Anaerob	Minyak dan Lemak	3	72,5	0,22	Ahmad dkk. (2001)
Bioreaktor Hibrid Anaerob	Minyak Sawit	4	78,42	0,135	Peneliti ini

Tabel 4. menunjukkan bahwa kinerja bioreaktor hibrid anaerob dalam menyisihkan karbohidrat memiliki kemampuan yang lebih tinggi tetapi konstanta laju hidrolisis lebih kecil dibandingkan dengan sistem bioreaktor yang ada di literatur. Peneliti sebelumnya melaporkan bahwa dalam pengolahan limbah cair sintetik dengan menggunakan *digester* anaerob, sistem ini mampu menyisihkan karbohidrat hingga 73,58 % dengan k_h 0,168 hari⁻¹ dalam waktu tinggal hidrolis 3 hari (Ahmad dkk., 2000). Ahmad dkk. (2001) telah melakukan penelitian dalam pengolahan limbah cair yang mengandung minyak dan lemak dengan menggunakan pencerna anaerob dan sistem ini mampu menyisihkan karbohidrat hingga 72,5 % dengan k_h 0,22 hari⁻¹ dalam waktu tinggal hidrolis 3 hari. Sedangkan pada penelitian ini bioreaktor hibrid anaerob mampu menyisihkan karbohidrat hingga 78,42 % dengan k_h 0,104 hari⁻¹ dalam waktu tinggal hidrolis 4 hari

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit dalam mengolah limbah cair relatif lebih baik dalam penyisihan karbohidrat dibandingkan dengan sistem bioreaktor yang ada di literatur karena mampu mencegah kehilangan biomassa dan penyisihan karbohidrat yang cukup tinggi.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Selama proses *start-up* konsentrasi karbohidrat total dan karbohidrat terlarut cenderung menurun. Proses ini berlangsung selama 42 hari
2. Kinerja optimal bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit didapat pada WTH 4 hari dengan efisiensi penyisihan karbohidrat total 78,42 % dengan k_h 0,104 hari⁻¹ dan karbohidrat terlarut sebesar 80,23 % dengan k_h 0,107 hari⁻¹.
3. Laju reaksi hidrolisis karbohidrat disimpulkan mengikuti kinetika reaksi orde satu karena kesalahan relatif antara data percobaan dengan data perhitungan lebih kecil dari 10 %.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pemerintah Republik Indonesia yang telah membiayai penelitian ini melalui Program Penelitian unggulan Strategis Nasional Bacth I Tahun 2010 dengan surat perjanjian Pelaksanaan Penelitian No. 163/SP2H/PP/DP2M/III/2010 tanggal 1 Maret 2010.

Daftar Notasi

C = konsentrasi substrat kompleks organik, mg/L

t = waktu, hari

k = konstanta laju hidrolisis, hari⁻¹

R_{S,T} = nilai hasil percobaan

R_{SM,T} = nilai hasil perhitungan model

N = jumlah data

Daftar Pustaka

- Ahmad, A., T. Setiadi, M. Syafila dan O.B. Liang, 2000, *Kinetika Reaksi Hidrolisis Senyawa Organik Kompleks pada Sistem Anaerob*, Prosiding Seminar Teknik Kimia Soehadi Reksowardojo 2000, TK-ITB, Bandung, 3-4 November.
- Ahmad, A., T. Setiadi, M. Syafila dan O.B. Liang, 2001, *Studi Kinetika Reaksi Hidrolisis senyawa Kompleks organik Dalam Proses Biodegradasi Anaerob*, Jurnal Biosains. Vol. 6 (1): 1-10.
- Ahmad, A., 2001, *Biodegradasi Limbah Cair Industri Minyak Sawit Dalam Sistem Bioreaktor Anaerob*, Disertasi-S3 ITB, Bandung.
- Ahmad, A., 2004, *Teknologi Bioproses dalam Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit*, Seminar Nasional Teknik Kimia Teknologi Oleo dan Petrokimia Indonesia.
- Ahmad, A., 2009, *Dasar-Dasar Teknologi Pengolahan Limbah Cair*, UNRI Press, Pekanbaru.
- Breure, A. M dan J. G Van Anel, 1989, *Microbiology of Anaerobic Digestion, International Course on Anaerobic Watewater Treatment*, dalam Ahmad, A., Tjandra S., Mindriany S., dan Oei B.L., 2001, *Studi Kinetika Reaksi Hidrolisis senyawa Kompleks organik Dalam Proses Biodegradasi Anaerob*, Jurnal Biosains. Vol. 6 (1): 1-10.
- Husin, A., 2008, *Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu dengan Biofiltrasi Anaerob Dalam Reaktor Fixed Bed*, Tesis-Magister USU, Medan.
- Nugrahini, P., T.M.R. Habibi dan A. D. Safitri, 2008, *Penentuan Parameter Kinetika Proses Anaerobik Campuran Limbah Cair Industri Menggunakan Reaktor Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)*, Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II 2008 Universitas Lampung, 17-18 November 2008, ISBN : 978-979-1165-74-7: II 521 -532
- Widjaja, T., A. Altway., P. Prameswarhi dan F. S. Wattimena, 2008, *Pengaruh HRT dan Beban COD Terhadap Pembentukan Gas Metan pada Proses Anaerobic Digestion Menggunakan Limbah Padat Tepung Tapioka*, Makalah Seminar Nasional Soebardjo Brotohardjono ITS, ISSN 1978 – 0427: 1-6
- San Pedro, D.C., T. Mino dan T. Matsuo, 1994, *Evaluation of the Rate of Hydrolysis of Slowly Biodegradable COD (SBCOD) Using Starch As Substrate Under Anaerobic, Anoxid and Aerobic Conditions*, Wat. Sci. Tech., 30(11), 191-199