Kinerja Reaktor Hibrid Anaerob pada Kecepatan Tinggi dalam Mengolah Air Limbah Molasse

(Performance of High Rate Anaerobic Hybrid Reactor on Treatment of Molasse)

Gede H. Cahyana, Asis H. Djajadiningrat

Abstract

This research describes the performance of a laboratory scale anaerobic hybrid reactor (so called as Rehan) that combines an upflow anaerobic sludge blanket (UASB) in lower part and AF (anaerobic filter) filled with gravel or pebble in upper part of the reactor. It was operated at ambient temperature and high organic loading rate that varied from 8.26 to 34.05 g/l.day with average hydraulic retention time of 30 hours. The results showed that Rehan could achieve COD conversion of 50.19% to 79.34% with no sludge recirculation and 79.88% to 85.72% in mode of returned sludge. And so, a special phenomenon came up in the bottom of Rehan i.e. in suspended growth zone where the reduction of organic pollutant up to 65%. In this zone, the sludge concentration or volatile suspended solid was very high. But, when the organic loading about 40,000 mg/l COD, the performance of Rehan steeply came down, its efficiency became 50.19%. Nevertheless, in general, Rehan could treat the organic waste up to 25,000 mg/l COD.

Keywords: *Rehan, hybrid, organic loading, suspended, attached growth.*

Pendahuluan

Selain bioproses aerob, dalam pengolahan air limbah juga bisa dan biasa diterapkan bioproses anaerob khususnya reaktor modern atau berkecepatan tinggi (*high rate*) seperti UASB (*upflow anaerobic sludge blanket*), AF (*anaerobic filter*), dan hibrid. Semua reaktor anaerob modern tersebut memiliki alur degradasi zat organik yang sama dengan reaktor anaerob kuno seperti digester. Yang berbeda hanyalah laju degradasinya.

Reaktor hibrid, dalam riset ini disebut Rehan (reaktor hibrid anaerob), adalah reaktor bastar antara UASB dan AF yang dikembangkan untuk mereduksi biomassa hanyut (*washout*) yang terjadi pada UASB. Namun demikian, grup Wageningen, yaitu kumpulan pakar anaerob khususnya UASB dari Universitas Wageningen Belanda menyatakan gagal mengolah air limbah dengan reaktor hibrid ini. Sebaliknya Reynold dan Colleran melaporkan keberhasilannya mengolah air limbah dengan Rehan yang COD-nya 10.000 mg/l. Mereka memperoleh efisiensi yang lebih tinggi daripada reaktor *upflow* atau *downflow fixed bed* (Lettinga, Hulshoff, 1991). Adapun Ozturk *et.al.*, (1993) membebani Rehannya dengan air limbah pabrik susu yang efisiensinya pada

kecepatan pembebanan organik (KPO) 8,5 g/l.hari adalah 87%. Kesuksesan Rehan juga ditulis oleh Speece (1996) dengan mengutip observasi Patrick *et.al.* pada Rehan bervolume 3.400 m³, yang 1/3 bagiannya tersuspensi dan 2/3 bagiannya bermedia plastik (125 m²/m³). Efisiensinya 80% pada COD 18.000 mg/l dengan waktu tinggal hidrolis 50 jam.

Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa Rehan menawarkan penggabungan kelebihan atau keuntungan UASB dan AF dan berhasil mengolah limbah yang terlarut (*soluble*) maupun sebagian taklarut (*insoluble*) daripada reaktor jenis lain. Di antara kelebihanannya itu adalah KPO-nya lebih besar daripada yang mampu diterima oleh AF, biobutirnya lebih mudah dikultivasi (ditanam dan dikelola) daripada UASB dan *start up*-nya lebih singkat daripada *fluidized bed*. Mediana dapat dipilih yang punya kapasitas pelekatan tinggi (*high biomass attachment capacity*) seperti porus dan rasio luas per volumenya juga tinggi.

Metode dan bahan

Rehan dibuat dari pipa PVC, terdiri atas dua bagian, yaitu bagian bawah berdiameter 20 cm, tinggi 35 cm yang difungsikan sebagai pertumbuhan tersuspensi (identik dengan UASB). Di bawah segmen ini dipasang distributor aliran berbentuk kerucut setinggi 15 cm dan inletnya berupa pelat berlubang (*perforated plate*). Volume total bagian bawah ini 14,4 l. Segmen atasnya berdiameter 25 cm, tinggi efektif 110 cm, berisi kerikil ukuran 2 – 3 cm sebagai media pertumbuhan lekat (identik dengan *anaerobic filter* atau *fixed bed* atau *biofilter*). Porositas bagian lekat ini 0,50 sehingga volume efektifnya 27,15 l. Rasio volume segmen tersuspensi terhadap terlekat kira-kira 1 : 2 dan jumlah kedua volume tersebut adalah volume total sebesar 41,55 l. Waktu tinggal hidrolisnya didesain 30 jam sehingga debit umpan dari pompa peristaltisnya 23 ml/menit.

Rehan dibebani air limbah sintesis yang dibuat dari molasse dengan cara pengenceran hingga konsentrasi yang diinginkan, lalu diberi nutrisi dari NH₄Cl dan K₂HPO₄. Sebagai larutan penyangga (*buffer*) pH ialah NaHCO₃ yang dosisnya bervariasi, bergantung pada beban organik influennya. Dimasukkan juga mineral runtu (*trace mineral*) ke dalam umpan dengan formula van Lier (1995). Dalam risetnya, van Lier menggunakan reaktor UASB dan campuran sukrose (komponen utama molasse) dengan asam lemak volatil (*volatile fatty acid*) sebagai substrat dengan konsentrasi sangat tinggi (135.000 mg/l COD) pada kondisi termofilik. Mineral runtu yang

ditambahkan pada COD 135.000 mg/l adalah 26,7 ml/l umpan dan 13,3 ml/l umpan pada COD 67.500 mg/l. Pada Rehan ini untuk COD 10.000 mg/l, 25.000 mg/l dan 40.000 mg/l dosisnya masing-masing: 2 ml/l, 5 ml/l dan 8 ml/l umpan.

Hasil dan pembahasan

Ada lima konsentrasi atau beban organik riil dalam bentuk COD yang diumpankan ke dalam Rehan, yaitu 10.650 mg/l, 25.200 mg/l, 42.560 mg/l, 10.330 mg/l dan 11.755 mg/l. Tiga beban pertama bermodus tanpa resirkulasi efluen dan dua yang terakhir dengan resirkulasi efluen (lumpur). Semua beban organik dan kecepatan pembebanan organik (KPO) yang diterapkan pada Rehan tersebut ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Beban organik dan kecepatan pembebanan organik Rehan.

Beban organik (COD, mg/l)	Kecepatan pembebanan organik kg/m ³ .hari atau g/l.hari
10.650	8,52
25.200	20,16
42.560	34,05
10.330	8,26
11.755	9,40

Sumber: Rancangan penelitian.

Pengaruh KPO dan resirkulasi terhadap efisiensi

Setiap beban organik yang diaplikasikan ke Rehan mengalami evolusi penurunan konsentrasi ke arah efluen seperti diperlihatkan pada tabel 2. Data ini menunjukkan bahwa beban dan tingkat KPO mempengaruhi efisiensi pengolahan (lihat juga Tabel 3 dan Tabel 4).

Tabel 2. Evolusi COD (mg/l) di sepanjang Rehan.

Titik sampling	influen	P1	P2	P3	P4	efluen
Jarak, cm	0	22.5	32.5	50	100	160
nir-R	10.650	3.550	2.480	2.410	2.350	2.200
nir-R	25.200	7.330	6.200	5.950	5.900	5.520
nir-R	42.560	24.000	21.600	22.800	21.600	21.200
R=0,71	10.330	1.760	1.755	1.710	1.475	1.475
R=1,58	11.755	2.440	2.425	2.420	2.400	2.365

Keterangan :

nir-R = tanpa resirkulasi

R = rasio resirkulasi.

Pada modus tanpa resirkulasi, lihat Tabel 3, Rehan mencapai efisiensi tertinggi sebesar 79,34% yang terjadi pada beban COD 10.650 mg/l atau KPO 8,52 kg/m³.hari

dengan kecepatan penyisihan 6,76 kg COD/m³.hari. Pada beban 25.200 mg/l atau KPO 20,16 kg/m³.hari, Rehan masih mampu mencapai efisiensi 78,09% yang relatif tidak jauh berbeda dengan efisiensi pada beban 10.650 mg/l dengan kecepatan penyisihan 15,74 kg COD/m³.hari. Artinya, meski efisiensinya lebih kecil namun penyisihannya lebih cepat 2,3 kali daripada beban pertama. Juga berarti bahwa lebih banyak substrat yang diolah per harinya karena konsentrasi VSS pada beban 25.200 mg/l lebih besar daripada konsentrasi VSS pada beban 10.650 mg/l.

Tabel 3. Dosis NaHCO₃ dan efisiensi pengolahannya, tanpa resirkulasi.

Beban organik (COD, mg/l)	KPO kg/m ³ .hari	Dosis NaHCO ₃ g/l	Efisiensi %
10.650	8,52	5	79,34
25.200	20,16	9	78,09
42.560	34,05	12	50,19

Namun hal serupa tidak terjadi pada beban 42.560 mg/l COD atau KPO 34,05 kg/m³.hari. Pada beban ini efisiensinya turun tajam menjadi 50,19% dengan kecepatan penyisihan 17,09 kg COD/m³.hari. Meskipun nilai ini melebihi kedua nilai sebelumnya, namun tampak tanda-tanda penurunan kinerja reaktor karena konsentrasi asam-asam volatilnya tinggi dan produksi gas serta persentase metananya turun menjadi 41,65%.

Dengan kinerja seperti itu dapat dikatakan bahwa Rehan mampu mengolah zat organik hingga kisaran 25.000 mg/l atau KPO 20 kg/m³.hari tanpa penurunan efisiensi yang signifikan. Tetapi Rehan kurang mampu mendegradasi molasse pada COD 40.000 mg/l atau KPO 34 kg/m³.hari. Sebab, jika beban ini dilanjutkan maka reaktor akan *sour* atau “masam” atau pH-nya turun ke tingkat yang tidak nyaman bagi metanogen dan bahkan mematkannya sehingga mengancam operasi reaktor.

Selain akibat KPO-nya yang tinggi, penurunan kinerja juga bisa disebabkan oleh konsentrasi natrium bikarbonatnya yang tinggi (12 g/l). Sebab, batas maksimum konsentrasi natrium di reaktor anaerob konvensional, menurut Speece (1996), adalah 5.000 mg/l. Sedangkan pada reaktor *high rate*, menurut pakar bioproses ini, dibolehkan hingga 15.000 mg/l dengan satu syarat, adaptasi biomasnya sudah baik.

Selanjutnya adalah tahap dua, dengan resirkulasi. Pada tahap ini Rehan diberikan resirkulasi efluen dengan rasio R1 = 0,71 dan R2 = 1,58 seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Efisiensi pengolahan dengan resirkulasi lumpur

Beban organik (COD, mg/l)	Rasio resirkulasi	KPO kg/m ³ .hari	Efisiensi %
10.330	0,71	8,26	85,72
11.755	1,58	9,40	79,88

Beban organik pada tabel 4 ialah nilai COD di tangki umpan (*fresh feed*). Adapun COD campuran yang masuk ke reaktor dipengaruhi juga oleh COD di aliran resirkulasi yang diasumsikan mendekati nilai efluen reaktor sehingga nilainya menjadi lebih rendah daripada COD di tangki umpan. Namun biasanya nilai COD efluen dianggap nol sehingga rumus yang digunakan ialah COD influen efektif, $COD_e = COD_{umpan} / (1 + R)$. Simbol R ini untuk rasio resirkulasi.

Hubungan beban COD, resirkulasi dengan VSS

Pada modus resirkulasi ini, dosis $NaHCO_3$ sebesar 5 g/l. Tersaji di Tabel 4, pada rasio resirkulasi 0,71 efisiensi reaktor meningkat menjadi 85,72% meskipun pada rasio resirkulasi 1,58 efisiensinya turun menjadi 79,88%. Fenomena ini berlawanan dengan teori yang menyatakan bahwa efisiensi pengolahan akan membesar jika rasio resirkulasi terus diperbesar. Itu terjadi karena beban organik influen pada R2 lebih besar dibandingkan dengan R1, yakni 11.755 mg/L sehingga kecepatan ke atasnya (*upflow velocity*) membesar, lalu merusak selimut (*blanket*) mikroba di bagian tersuspensi dan memecah biomassa butir (*granular, pellet*) menjadi flok atau bahkan suspensi. Henze *et.al.*, (1995) mencatat kisaran kecepatan aliran ke atas ini antara 0,01-0,15 m/jam. Pada penelitian ini nilainya 0,073 m/jam (tanpa resirkulasi) dan 0,125 m/jam (untuk R1) dan 0,189 m/jam (untuk R2). Jadi nilai R2 lebih besar daripada batas atas kisaran kecepatan Henze *et.al.*, (1995).

Alasan di atas didukung oleh data VSS di P1, P2, dan P3 pada Tabel 5 yang lebih rendah daripada VSS ketika debit R1 diterapkan di titik yang sama. Juga tercatat VSS tersuspensi di P4 (pertumbuhan lekat) relatif besar yang artinya terjadi erosi atau kikisan biofilm (*erosion washout*) pada batu dan VSS yang hanyut (*sludge bed washout*) akibat dari ekspansi atau kecepatan alirannya yang tinggi. Selain itu, juga karena tingginya akumulasi ion natrium di umpan campuran akibat resirkulasi. Semua hal tadi dapat mengganggu aktivitas mikroba kelompok sensitif, yakni metanogen.

Tabel 5. Konsentrasi VSS pada variasi COD dan resirkulasi

Titik sampling	VSS, mg/l				
	10.650 mg/l	25.200 mg/l	42.560 mg/l	10.330 mg/l	11.755 mg/l
efluen	508	540	1.020	500	214
P4	800	1.580	5.650	1.300	3.957
P3	2.562	1.820	57.450	4.035	1.520
P2	27.892	38.700	55.515	42.700	29.300
P1	28.238	39.530	55.070	49.320	41.242

Keterangan:

Pada P4 (pertumbuhan lekat), biomassa terukur hanya yang tersuspensi.

Secara umum, konsentrasi VSS pada mode resirkulasi lebih besar daripada mode tanpa resirkulasi. Namun ada kejanggalan pada beban 42.560 mg/l karena VSS-nya sangat tinggi melebihi konsentrasi VSS pada beban-beban yang lain namun efisiensinya justru paling rendah. Ini disebabkan oleh konsentrasi asidogennya lebih besar daripada metanogen yang ditunjukkan oleh persentase metananya yang rendah, hanya 41,65%.

Selanjutnya disajikan profil COD pada variasi beban organik yang polanya mengikuti pola evolusi COD pada reaktor aliran tusukan (*plug flow*). Pada Gambar 1 gradien dari titik influen ke titik P1 (22,5 cm) sangat besar. Inilah zone paling aktif dan degradasinya cepat. Nilai gradien terendah ini terjadi saat beban organik 10.650 mg/l karena konsentrasi VSS relatif kecil dan reaktor belum lama beroperasi (beban pertama setelah *start up*). Sedangkan gradien pada beban 25.200 mg/l lebih besar daripada beban pertama karena VSS-nya lebih besar sehingga lebih banyak mikroba yang mendegradasi substrat. Untuk beban 42.560 mg/l, gradiennya besar namun mulai terjadi inhibisi. Proses asidogenesis melaju cepat tetapi metanogen terinhibisi oleh natrium dan produk *intermediate* asam-asam volatil dan CO₂.

Gambar 1. Profil COD tanpa resirkulasi pada Rehan

Berikut ini adalah fenomena reaktor dengan resirkulasi, diperlihatkan pada Gambar 2. Gradien pada kedua nilai resirkulasi, antara titik influen dengan P1 (22,5 cm) sangat besar, bahkan lebih curam daripada gradien profil di Gambar 1. Artinya, resirkulasi meningkatkan laju penyisihan COD. Setelah titik P1, pada kedua gambar tersebut, gradiennya hampir nol yang berarti proses degradasi berjalan lambat atau hampir tidak ada penyisihan COD.

Gambar 2. Profil COD dengan resirkulasi pada Rehan

Dari kedua gambar di atas terlihat bahwa profil COD memiliki kecenderungan yang sama, yaitu menurun ke arah efluen. Inilah yang mengindikasikan rezim aliran reaktor sebagai sebuah sistem berupa *plug flow* meskipun partisinya masing-masing dapat diasumsikan sebagai reaktor teraduk sempurna.

Untuk profil biomassa (VSS) tersuspensi di sepanjang reaktor pada mode tanpa resirkulasi, bisa dilihat pada Gambar 3.

Gambar 3. Profil VSS Rehan pada modus tanpa resirkulasi

Umumnya (kecuali beban 42.560 mg/l), VSS di P1 dan P2 tak jauh berbeda. Gradiennya relatif kecil. Namun setelah P2 terjadi penurunan tajam konsentrasi VSS. Artinya, mikroba sudah membiobutirkan diri (*granular sludge*) sehingga menjadi berat dan mengendap di bagian bawah reaktor. Ini juga mendukung degradasi COD yang cepat di zone aktif bawah reaktor. Namun setelah P3, gradiennya relatif landai yang berarti penurunan konsentrasi VSS tidak terlalu tajam sehingga degradasi COD pun relatif kecil (zone lamban).

Perkecualian terjadi pada beban organik 42.560 mg/l atau KPO 34,05 kg/m³.hari yakni konsentrasi VSS justru naik di P1, P2 dan P3 (bagian tersuspensi). Hal ini sekali lagi membuktikan bahwa VSS didominasi oleh asidogen yang tumbuh cepat pada beban organik tinggi. Didukung pula oleh konsentrasi asam volatilnya yang sangat tinggi dan sekaligus penurunan produksi metana.

Selanjutnya adalah profil VSS pada mode resirkulasi yang diperlihatkan pada Gambar 4 di bawah ini.

Gambar 4. Profil VSS Rehan pada modus dengan resirkulasi

Pada Gambar 4 terlihat bahwa konsentrasi VSS tertinggi terjadi di titik P1 pada rasio resirkulasi $R1 = 0,71$. Pada beban inilah diperoleh efisiensi terbesar. Namun konsentrasinya turun tajam setelah P2. Alasannya sama dengan sebelumnya, yakni mikroba yang berbentuk biobutir cepat mengendap, menjadikannya aktif mendegradasi substrat di segmen bawah Rehan.

Kesimpulan

Pada beban yang relatif tinggi, yaitu 25.000 mg/l COD atau KPO 20 g/l.hari, Rehan mampu mencapai efisiensi sekitar 80% dan lebih besar lagi pada mode resirkulasi. Bahkan di zone bawah reaktor yang konsentrasi VSS-nya memang sangat tinggi, telah terjadi reduksi COD hingga 65%. Hasil ini memberikan indikasi bahwa media lekat tidak perlu terlalu tebal, cukup dapat menahan laju washout bioflok dan disesuaikan dengan kecepatan aliran air ke atas (*upflow velocity*).

Daftar Pustaka

1. Droste, R.L, (1997), *Theory And Practice Of Water & Wastewater Treatment*, John Wiley & Sons. Inc.
2. Henze M., *et al* (1995), *Wastewater Treatment. Biological and Chemical Processes*. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
3. Lettinga, G, Hulshof Pol (1991). "Application of Modern High Rate Anaerobic Treatment Processes for Wastewater Treatment." New Development in Industrial Wastewater. Series E, Vol. 191, Ed. Turkman, A., O. Uslu. Kluwer Academic Publishers.
4. Ozturk I., *et al*. (1993). "Hybrid Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor (HUASBR) Treatment of Dairy Effluents." *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 28, p. 77-85.
5. Speece R.E. (1996). *Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewater*. Archae Press, Vanderbilt University, England.
6. van Lier. (1995). *Thermophilic Anaerobic Wastewater Treatment: Temperatur Aspect and Process Stability*. Ph.D Thesis, Wageningen Agricultural University, The Netherlands

**Dipublikasikan di jurnal ISTEK, Volume III, hlm. 59-66,
Bulan Juni 2009. ISSN 1979-8911**