

PENGOLAHAN LIMBAH CAIR PABRIK PENYAMAKAN KULIT SECARA BIOLOGI DENGAN AERASI

Ahmad T. Yuliansyah¹⁾, Sarto²⁾, Kholid Mawardi³⁾, Inamullah Afian N.⁴⁾, dan Meilana Dharmaputra⁵⁾

ABSTRACT

Yogyakarta has many leather industries. To process a hide, these industries use many chemicals such as natrium salt, dyes, and other organic materials. Some of these chemicals will be wasted and will become an environmental pollution-problem.

The main objective of this study is to investigate the effect of time, air flow rate, the amount of nutrition and sludge to the effectiveness of leather wastewater treatment. Waste was added with an amount of NPK, TSP and sludge, and then bubbled with air continuously. Sample of waste was taken every 2 hour, then its pH, BOD and COD were analyzed.

The result of the experiments showed that the decrease of BOD and COD were influenced by air flow rate, the amount of nutrition and sludge. For 1200 mL of wastewater with the BOD about 170 mg/L and COD 410 mg/L, the optimum condition of air flow rate, NPK, TSP, and sludge are 2776 mL/min, 2 g, 1 g, and 500 mL respectively. After the treatment has been operated during 8 hours, the BOD of product was about 45 mg/L and COD about 137 mg/L. The rate equation for this biological process was also obtained.

Keywords: leather wastewater, effectiveness, BOD, COD, biological process

PENGANTAR

Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) memiliki banyak industri penyamakan kulit. Selain menghasilkan kulit sebagai produk, industri tersebut juga menghasilkan limbah yang berpotensi untuk mencemari lingkungan. Limbah tersebut berasal dari air dan berbagai bahan kimia yang digunakan dalam proses penyamakan kulit.

Menurut Ogiwara dalam Mulyadiarto (1997), teknologi penyamakan kulit memiliki tahap-tahap proses yang berurutan dan tidak dapat dipisahkan antara tahap yang satu dengan yang lain. Tahap-tahap proses penyamakan kulit tersebut meliputi: perendaman (*soaking*), pengapuran (*liming*), penghilangan kapur (*deliming*), penetralan (*bating*), pengasaman (*pickling*), penghilangan lemak (*degreasing*), penyamakan (*tanning*), *retanning*, pewarnaan (*dying*), dan *finishing*. Pada setiap tahapan proses ditambahkan bahan kimia atau bahan organik dengan jenis dan jumlah tertentu sesuai dengan tujuan tahapan proses yang dilakukan. Sebagian bahan tersebut terbuang bersama limbah cair sehingga dapat menurunkan kualitas lingkungan.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengolah limbah penyamakan kulit. Pengolahan dengan cara presipitasi mampu menurunkan kadar *chrom* dalam limbah. (Kurniawan, B.D., 2002 dan Yulianto, E.R., 2002). Pengolahan dengan cara koagulasi/ flokulasi dua langkah mampu mengurangi kadar COD limbah sampai 87 % dengan hasil olahan

tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak mengandung suspensi padat. (Garrote dkk, 1995)

Metoda lain yang sering digunakan untuk mengolah limbah organik adalah proses lumpur aktif. Lumpur aktif adalah materi tidak larut yang tersusun oleh serat-serat organik yang kaya akan selulosa, dan di dalamnya terhimpun kehidupan mikroorganisme. Mikroorganisme yang biasa terdapat adalah jenis *flagellate*, *ciliate*, dan *rotaria*. Mikroorganisme ini memanfaatkan zat-zat organik sebagai sumber energi dan pertumbuhan sel.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh waktu proses, pH, kecepatan udara, jumlah nutrisi tambahan dan kadar lumpur aktif terhadap efektivitas pengolahan limbah dalam hal ini penurunan BOD dan COD limbah cair pabrik penyamakan kulit. Selain itu ingin diketahui pula bentuk persamaan kecepatan reaksi biologis yang sesuai dengan proses tersebut.

LANDASAN TEORI

Sebagai industri yang mengolah bahan organik dan menggunakan banyak air, industri kulit mempunyai potensi menghasilkan limbah cair yang mengandung banyak bahan organik. Bahan organik dalam air limbah biasanya dinyatakan sebagai *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD). BOD menyatakan jumlah oksigen yang dibutuhkan

¹⁾ Ahmad T. Yuliansyah, S.T., M.T., Dosen Jurusan Teknik Kimia FT UGM

²⁾ Dr. Ir. Sarto, M.Sc., Dosen Jurusan Teknik Kimia FT UGM

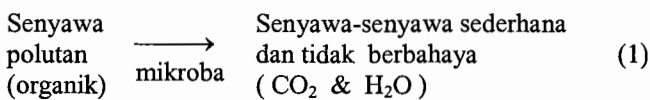
³⁾ Kholid Mawardi Mahasiswa S-1 Jurusan Teknik Kimia FT UGM

⁴⁾ Inamullah Afian N. Mahasiswa S-1 Jurusan Teknik Kimia FT UGM

⁵⁾ Meilana Dharmaputra Mahasiswa S-1 Jurusan Teknik Kimia FT UGM

oleh mikroorganisme untuk mengoksidasi bahan organik dalam cuplikan air limbah. Prinsip dasar pengujiannya adalah bahwa semua bahan organik dapat diurai dengan cara dioksidasi menjadi CO₂ dan H₂O. Sedangkan pengukuran *Chemical Oxygen Demand* menggunakan prinsip bahwa sebagian besar senyawa organik dapat dioksidasi menjadi CO₂ & H₂O oleh oksidator kuat pada kondisi asam. Hasil pengukurannya menunjukkan jumlah oksigen yang diperlukan untuk oksidasi mikrobal aerobik menjadi CO₂ & H₂O, dengan anggapan bahwa semua bahan organik dapat terdegradasi (*biodegradable*).

Pengolahan limbah secara biologi berdasarkan pada eksploitasi kemampuan mikroba dalam mendegradasi senyawa-senyawa polutan dalam air, yang dapat dinyatakan sebagai berikut.



Faktor-faktor yang mempengaruhi efektivitas dan efisiensi pengolahan limbah secara biologi adalah kondisi lingkungan, sifat-sifat limbah (polutan), dan jenis mikroba (Benefield dan Randall, 1980). Suhu sangat mempengaruhi pertumbuhan mikroba. Ada 3 kelompok mikroba berdasarkan pada suhu optimumnya, yaitu *psychrophiles* (4–10°C), *mesophiles* (20–40°C), dan *thermophiles* (50–55°C). Yang biasa digunakan adalah jenis *mesophiles*. Derajat keasaman (pH) yang optimum berkisar antara 6 dan 8.

Berdasarkan keberadaan oksigen, mikroba dikelompokkan sebagai aerob, anaerob, dan fakultatif. Mikroba aerob hanya dapat hidup bila cukup O₂, mikroba jenis anaerob hanya dapat hidup bila tak ada O₂, sedangkan mikroba fakultatif dapat hidup dalam keadaan ada atau tidak ada O₂. Oleh karena itu, pada pengolahan limbah secara aerob, kebutuhan oksigen sangat mempengaruhi kinerjanya.

Sebagaimana makhluk hidup yang lain, mikroba juga memerlukan nutrisi untuk pertumbuhan dan aktifitasnya. Kebutuhan unsur C, H, O, N, dan P harus disediakan dalam bentuk sederhana. Kandungan dan jenis nutrisi sangat berpengaruh pada kinerja sistem pengolahan limbah secara biologi (Corbit, 1989).

Di antara proses pengolahan limbah cair dengan BOD tinggi, yang paling banyak digunakan adalah proses lumpur aktif (*Activated Sludge*). Ada beberapa keuntungan proses lumpur aktif diantaranya air hasil olahan jernih dan tidak berbau, efisiensi relatif tinggi, tempat yang diperlukan relatif kecil, dan lumpur dapat

dipakai kembali. Adapun kekurangannya diantaranya lumpur yang dihasilkan banyak, biaya operasional relatif tinggi, dan agak peka terhadap perubahan beban (Benefield dan Randall, 1980).

Dalam perancangan sistem pengolahan limbah yang melibatkan mikroorganisme perlu diketahui kecepatan reaksi biologi yang terjadi. Salah satu model persamaan kecepatan reaksi biologi yang digunakan secara luas adalah model Monod, yaitu:

$$\mu = \frac{\mu_{\max} C}{K_s + C} \quad (2)$$

dengan :

μ = kecepatan pertumbuhan mikroorganisme

μ_{\max} = kec. pertumbuhan maksimum

C = konsentrasi substrat

K_s = konstanta

Untuk sistem *batch*, kecepatan reaksi biologis dapat dinyatakan sebagai kecepatan berkurangnya konsentrasi substrat sebagai berikut:

$$-\frac{dC}{dt} = \frac{\mu_{\max} C}{K_s + C} \quad (3)$$

Untuk konsentrasi substrat yang relatif kecil nilai ($K_s + C$) $\approx K_s$, sehingga persamaan di atas dapat disederhanakan menjadi:

$$\begin{aligned} -\frac{dC}{dt} &= \frac{\mu_{\max} C}{K_s} \\ -\frac{dC}{dt} &= K' C \end{aligned} \quad (4)$$

dengan : K' = konstanta kecepatan reaksi biologis *overall*

$$= \frac{\mu_{\max}}{K_s}$$

Persamaan (4) identik dengan persamaan kecepatan reaksi order satu semu terhadap konsentrasi substrat. Integrasi persamaan (4) dengan batas $t = 0, C = C_0$ menghasilkan :

$$\ln\left(\frac{C_0}{C}\right) = K' t \quad (5)$$

dengan :

C_0 = konsentrasi substrat mula-mula

C = konsentrasi substrat pada waktu = t

t = waktu proses

Konstanta kecepatan reaksi biologis *overall* (K') dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya rasio jumlah lumpur aktif terhadap jumlah limbah yang

diolah (R). Bila korelasinya dapat dinyatakan dengan persamaan empiris :

$$K' = \frac{a R}{b + R} \quad (6)$$

maka nilai konstanta *a* dan *b* dapat dievaluasi dengan cara linearisasi sebagai berikut:

$$\frac{1}{K'} = \frac{b + R}{a R}$$

$$\frac{1}{K'} = \frac{b}{a} \frac{1}{R} + \frac{1}{a} \quad (7)$$

Persamaan (7) merupakan persamaan garis lurus $\frac{1}{K'}$ vs $\frac{1}{R}$ dengan *slope* $\frac{b}{a}$ dan *intercept* $\frac{1}{a}$

METODOLOGI

Bahan

Bahan yang dipakai dalam penelitian antara lain limbah cair pabrik penyamakan kulit dan lumpur aktif diperoleh dari PT SINAR OBOR, Yogyakarta. Pupuk NPK dan TSP diperoleh dari toko pertanian di Yogyakarta, sedangkan reagen BOD, reagen COD serta *aquadest* diperoleh dari Laboratorium Proses Kimia, Jurusan Teknik Kimia UGM.

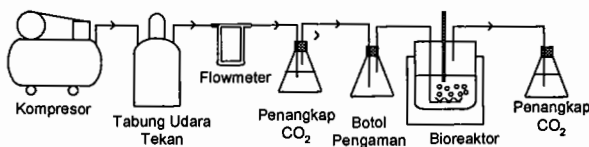
Limbah yang diolah memiliki karakteristik sebagai berikut :

Tabel 1. Karakteristik Awal Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit

No.	Parameter	Satuan	Kuantitas
1.	pH	-	5,4 – 5,8
2.	BOD	mg/L	162-176
3.	COD	mg/L	383-480
4.	TSS	mg/L	300-390

Alat

Skema peralatan yang dipakai dapat dilihat pada gambar 1



Gambar 1. Rangkaian Alat Percobaan

Jalan penelitian

Percobaan dilakukan dengan cara menuangkan limbah cair dan lumpur aktif dengan perbandingan tertentu ke dalam bioreaktor. Pupuk NPK dan TSP

dengan jumlah tertentu ditambahkan ke dalam bioreaktor dan selanjutnya aerator dinyalakan. Waktu proses dihitung sejak mulainya penggelembungan udara. Sampel diambil untuk dianalisis BOD dan COD-nya setiap waktu tertentu secara volumetrik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Laju Alir Udara

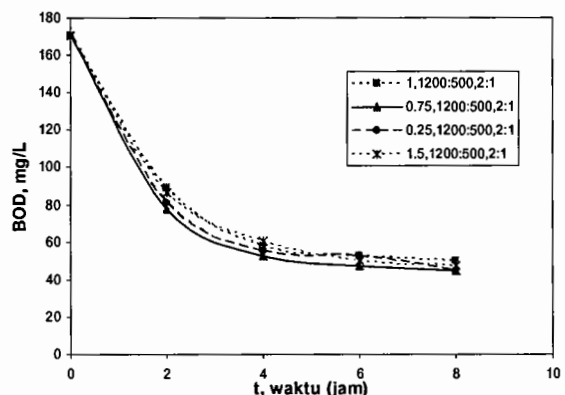
Untuk mengetahui pengaruh laju alir udara, dilakukan pengolahan limbah cair dengan komposisi limbah cair 1200 mL, lumpur aktif 500 mL, NPK 2 gram dan TSP 1 gram. Laju alir udara divariasikan dengan kisaran 1679-3097 mL/menit. Hasil pengukuran ditunjukkan pada tabel 2 dan 3 serta gambar 2 dan 3.

Tabel 2. Nilai BOD (mg/L) pada variasi laju alir udara (Jumlah limbah 1200mL, Lumpur 500 mL, NPK 2 g, dan TSP 1 g)

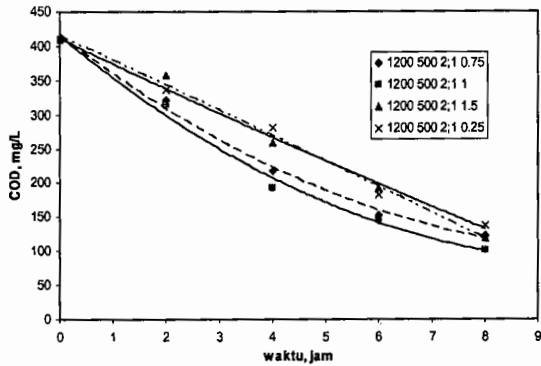
Waktu, jam	Laju alir udara, mL/menit			
	1679	2549	2776	3097
0	170,56	170,56	170,56	170,56
2	89,22	81,34	77,41	86,59
4	57,73	55,10	52,48	60,35
6	52,48	52,48	47,23	49,86
8	49,86	44,61	44,61	47,23

Tabel 3. Nilai COD(mg/L) pada variasi laju alir udara (Jumlah limbah 1200mL, Lumpur 500 mL, NPK 2 g, dan TSP 1 g)

Waktu, jam	Laju alir udara, mL/menit			
	1679	2549	2776	3097
0	410,18	410,18	410,18	410,18
2	335,50	321,71	314,82	357,33
4	280,35	218,31	193,03	259,67
6	182,69	151,66	144,77	193,03
8	137,88	122,94	101,11	119,49



Gambar 2. Penurunan BOD terhadap waktu variasi kecepatan udara.



Gambar 3. Penurunan COD terhadap waktu variasi kecepatan udara

Nilai BOD dan COD semakin lama semakin kecil dengan tidak banyak perbedaan untuk empat nilai kecepatan udara, yaitu 1679 mL/menit, 2549 mL/menit, 2776 mL/menit, dan 3097 mL/menit. Namun demikian kecepatan udara optimum dicapai pada 2776 mL/menit. Adanya nilai optimum ini disebabkan oleh luas perpindahan massa oksigen tidak selalu berbanding lurus dengan aliran kecepatan udara. Kecepatan udara yang tinggi akan menyebabkan bergabungnya gelembung-gelembung udara sehingga menjadi lebih besar. BOD terendah yang dicapai setelah proses berlangsung 8 jam sebesar 44 mg/L (turun sekitar 74 %), dan COD sebesar 137 mg/L (turun sebesar 66 %.)

Pengaruh Jumlah Nutrisi

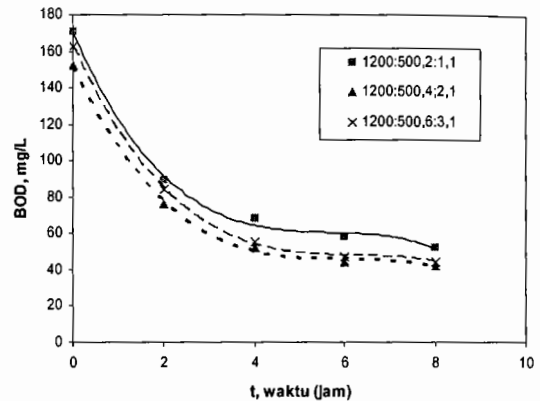
Limbah cair diolah dengan komposisi limbah cair 1200 mL, lumpur aktif 500 mL, dan laju alir udara 2776 mL/menit. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan jumlah NPK dan TSP yang digunakan. Hasil pengukuran ditunjukkan dalam tabel 4 dan 5 serta gambar 4 dan 5.

Tabel 4. Nilai BOD(mg/L) pada variasi jumlah nutrisi (Jumlah limbah 1200mL, Lumpur 500 mL, dan kecepatan udara 2776 mL/men)

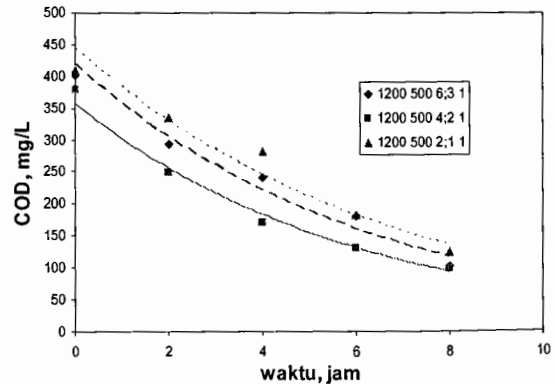
Waktu, jam	Jumlah NPK (g) : TSP (g)		
	2 : 1	4 : 2	6 : 3
0	152,19	162,69	170,56
2	76,10	83,97	89,22
4	52,48	55,10	68,22
6	44,61	47,23	57,73
8	41,98	44,61	52,48

Tabel 5. Nilai COD(mg/L) pada variasi jumlah nutrisi (Jumlah limbah 1200mL, Lumpur 500 mL, dan kecepatan udara 2776 mL/men)

Waktu, jam	Jumlah NPK (g) : TSP (g)		
	2 : 1	4 : 2	6 : 3
0	379,16	400,99	410,18
2	248,18	292,99	335,50
4	171,20	241,28	280,35
6	130,98	181,54	182,69
8	98,81	103,41	125,24



Gambar 4. Penurunan BOD terhadap waktu variasi jumlah nutrisi



Gambar 5. Penurunan COD terhadap waktu variasi jumlah nutrisi

Gambar 4 dan 5 menunjukkan bahwa penurunan BOD dan COD juga dipengaruhi oleh jumlah nutrisi yang ditambahkan. NPK dan TSP yang ditambahkan bervariasi sebesar 2 g dan 1 g; 4 g dan 2 g; 6 g dan 3 g. Hasil yang ditunjukkan oleh ketiga variasi jumlah nutrisi tersebut tidak banyak berbeda. Hal ini disebabkan kebutuhan mikroorganisme terhadap nutrisi tambahan (N, P, K, dll) hanya sedikit (jumlahnya terbatas). Nutrisi yang berlebihan tidak

akan dimanfaatkan sehingga pengaruhnya terhadap efektivitas mikroorganisme dalam degradasi BOD dan COD tidak signifikan.

Pengaruh Rasio Jumlah Lumpur Aktif – Limbah

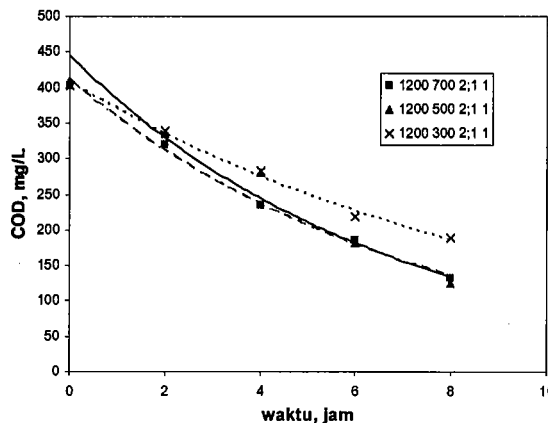
Untuk mengetahui pengaruh rasio jumlah lumpur aktif-limbah, 1200 mL limbah cair diolah dengan laju alir udara 2776 mL/menit, NPK 2 g dan TSP 1 g, dan jumlah lumpur aktif divariasikan pada 300, 500 dan 700 mL. Hasil pengukuran ditunjukkan dari tabel 6 dan 7 serta gambar 6 dan 7.

Tabel 6. Nilai BOD(mg/L) pada variasi rasio jumlah lumpur aktif : limbah (kecepatan udara 2776 mL/men, NPK 2g, dan TSP1g)

Waktu, jam	Rasio Lumpur (mL) : Limbah (mL)		
	300 : 1200 = 0,250	500 : 1200 = 0,417	700 : 1200 = 0,583
0	162,69	170,56	162,69
2	128,58	104,96	123,33
4	118,08	78,72	91,84
6	112,83	62,98	62,98
8	91,84	47,23	59,04

Tabel 7. Nilai COD(mg/L) pada variasi rasio jumlah lumpur aktif : limbah (kecepatan udara 2776 mL/men, NPK 2g, dan TSP1g)

Waktu, jam	Rasio Lumpur (mL) : Limbah (mL)		
	300 : 1200 = 0,250	500 : 1200 = 0,417	700 : 1200 = 0,583
0	402,14	410,18	402,14
2	340,10	335,50	319,42
4	282,65	280,35	234,39
6	218,31	182,69	186,13
8	188,43	125,24	133,28

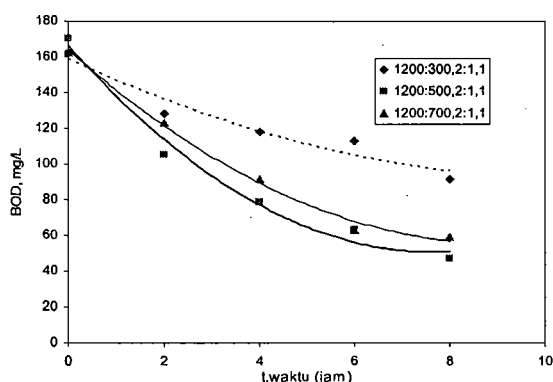


Gambar 7. Penurunan COD terhadap waktu variasi rasio lumpur aktif-limbah

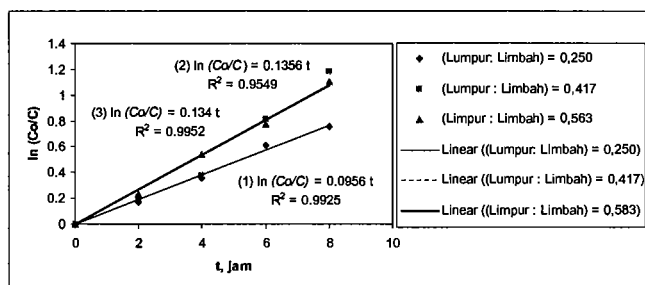
Gambar 6 dan 7 menunjukkan bahwa penurunan BOD dan COD pada penambahan lumpur aktif 500 mL lebih besar dibandingkan kedua nilai lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa ada nilai optimum dalam perbandingan lumpur aktif dengan limbah cair yang diolah. Perbandingan yang terlalu kecil mengakibatkan lambatnya proses peruraian, sedangkan pada perbandingan yang besar proses peruraian nampak lambat karena sebagian mikroorganisme dalam lumpur aktif mati dan berperan dalam meningkatkan BOD dalam campuran.

Evaluasi Konstanta Kecepatan Reaksi Biologi

Evaluasi ini menggunakan data penurunan COD pada tabel 7. Nilai COD menyatakan konsentrasi substrat yang akan didegradasi oleh mikroorganisme. Kecepatan reaksi biologis diasumsikan mengikuti model kinetika Monod untuk konsentrasi substrat yang rendah, seperti yang telah dijabarkan pada Landasan Teori. Data yang diperoleh diplotkan dalam grafik pada gambar 8.



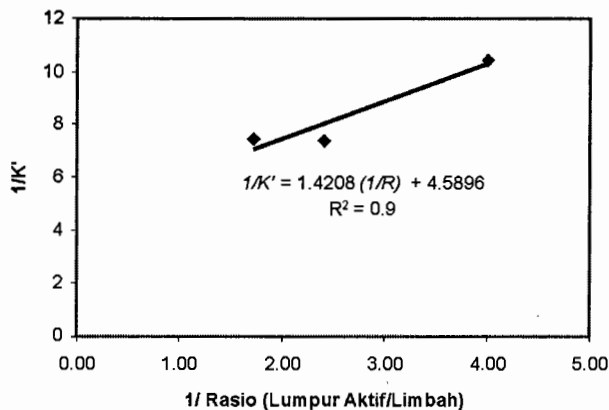
Gambar 6. Penurunan BOD terhadap waktu variasi rasio lumpur aktif-limbah



Gambar 8. Linearisasi Persamaan Kecepatan Reaksi Biologis

Slope persamaan garis di atas menyatakan nilai konstanta kecepatan reaksi biologis *overall* (K'). Nilai konstanta ini berbanding lurus dengan rasio lumpur-limbah cair yang digunakan. Untuk rasio 0,250; 0,417, dan 0,583 nilai konstanta masing-masing sebesar 0,0956; 0,1356, dan 0,134 det^{-1} .

Hubungan antara konstanta kecepatan reaksi biologis *overall* (K') dengan rasio jumlah lumpur-limbah cair dinyatakan dalam persamaan (7) yang hasil linearisasinya tercantum dalam gambar 9.



Gambar 9. Hubungan antara $1/K'$ dengan $1/R$

Berdasarkan grafik pada gambar 9, hubungan antara nilai K' dan rasio jumlah lumpur aktif-limbah cair penyamakan kulit dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$K' = \frac{0,218 R}{0,310 + R}$$

KESIMPULAN

Pengolahan limbah cair pabrik secara aerasi dipengaruhi oleh laju alir udara, jumlah nutrisi, dan rasio jumlah lumpur aktif-limbah cair. Ada kondisi optimum untuk laju alir udara, jumlah nutrisi, dan jumlah lumpur yang ditambahkan. Untuk 1200 mL limbah cair dengan BOD sekitar 170 mg/L dan COD 410 mg/L diperoleh kondisi optimum pada laju alir udara 2776 mL/menit, NPK 2 gram, TSP 1 gram, dan lumpur aktif 500 ml dengan nilai BOD hasil olahan sekitar 45 mg/L (turun sebesar 74 %) dan nilai COD sekitar 137 mg/L (turun sebesar 66 %). Kecepatan reaksi biologis mengikuti persamaan kecepatan reaksi order satu semu terhadap konsentrasi substrat, dengan nilai konstanta kecepatan reaksi biologis *overall*

dinyatakan dengan persamaan $K' = \frac{0,218 R}{0,310 + R}$.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada atas bantuan dana DPP SPP dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Awwa, W,P,C,H., 1975, *Standard Methods for The Examination of Water and Waste Water*, 7ed, pp,532-538, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York.
- Bapedal, 1996, *Buku Panduan : Teknologi Pengendalian Dampak Lingkungan Industri Penyamakan Kulit*, Jakarta
- Benfield, L,D, and Randall, C,W., 1980, *Biological Process Design for Wastewater Treatment*, pp, 67-78, Prentice Hall, Inc., Englewood Cliff, New Jersey
- Corbit, R,A., 1989, *Standard Handbook of Environmental Engineering*, MacGraw-Hill, New York.
- Garrote, J.I., Bao, M., Castro, and Bao, M.J., 1995, *Treatment of Tannery Effluent by A Two Steps Coagulation/Flocculation Process*, *Wat. Res.*, 11, 2605-2608
- Kurniawan, B.D., 2002, *Pengendapan Krom dari Limbah Penyamakan Kulit Menggunakan Kapur Padam*, Laporan Penelitian, Laboratorium Proses Kimia, Jurusan Teknik Kimia FT UGM, Yogyakarta
- Mulyadiarto, 1997, *Pengolahan Limbah Cair Penyamakan Kulit dengan Natrium Hidroksida dan Pengaliran Udara Tekan dalam Kolom Berpenghalang*, Laboratorium Proses Kimia, Jurusan Teknik Kimia, FT-UGM.
- Reynolds, T,D, 1982, *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering*, 10ed, pp.15-122, Brooks/Cole Engineering Division, Inc., California.
- Yulianto, E.R., 2002, *Pengendapan Krom dari Limbah Cair Penyamakan Kulit dengan Penambahan Larutan Soda Abu Secara Batch*, Laporan Penelitian, Laboratorium Proses Kimia, Jurusan Teknik Kimia FT UGM, Yogyakarta.