



PROSIDING

SEMINAR NASIONAL KIMIA DAN PENDIDIKAN KIMIA III

"Teori dan Aplikasi Sains dalam Isu Globalisasi Lingkungan, Profesionalisasi Pembelajaran dan Kewirausahaan"

Program Studi Pendidikan Kimia Jurusan PMIPA FKIP UNS

Surakarta, 7 Mei 2011



MAKALAH PENDAMPING

KIMIA ANORGANIK
(Kode : D-15)

ISBN : 978-979-1533-85-0

PERPINDAHAN MASSA OKSIGEN DARI UDARA KE AIR SUNGAI DAN BIODEGRADASI ZAT ORGANIK DALAM AIR SUNGAI

Maria Endah Prasadja

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Setia Budi, Surakarta, Indonesia

(endah_usb@yahoo.com)

Jl. Letjen Sutoyo, Surakarta 57127, Telp. : 0271 852518, Fax : 0271 853275, email : info@setiabudi.ac.id

Abstrak

Pada pembuangan limbah organik ke dalam sungai akan mengalami dekomposisi dengan menggunakan oksigen dari udara yang terlarut dalam air, sehingga terjadi perpindahan massa oksigen dari udara ke air sungai yang diikuti dengan reaksi kimia. Penelitian ini bertujuan menyusun persamaan empiris untuk meramal harga koefisien perpindahan massa oksigen dari udara ke air sungai. Penelitian dilakukan dengan mengalirkan air sungai ke dalam suatu model sungai yang berupa saluran air terbuka. Dilakukan pada variasi kecepatan antara $1,2393 \text{ ml detik}^{-1}$ sampai $1,994 \text{ ml detik}^{-1}$ dan variasi kedalaman sungai antara $1,1 \text{ cm}$ sampai $1,4 \text{ cm}$. Kadar oksigen yang terlarut diukur dengan Dissolved Oxygen Meter dan kadar bahan organik diketahui dengan analisa Chemical Oxygen Demand. Dari hasil penelitian diperoleh tetapan reaksi rerata sebesar $2,171 \cdot 10^{-6} \text{ detik}^{-1}$ dan koefisien perpindahan massa oksigen berkisar antara $6,4 \cdot 10^{-8} \text{ m detik}^{-1}$ sampai $1,6 \cdot 10^{-7} \text{ m detik}^{-1}$. Hubungan antar kelompok tak berdimensi untuk koefisien perpindahan massa oksigen dengan peubah – peubah operasinya dinyatakan sebagai berikut :

$$Sh = 2,6 \cdot 10^{-15} (Re)^{1,9122}$$

dengan kisaran Bilangan Reynolds antara 1.236,76 sampai 1.989,91 dan besar kesalahan rerata 0,2857%.

Kata kunci : Transfer Massa, Oksigen, Bahan Organik

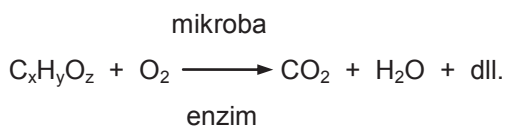
PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang begitu pesat dan terus berlanjut serta meningkatnya urbanisasi yang diakibatkan oleh pembangunan yang dilakukan oleh negara - negara berkembang pada dewasa ini menyebabkan kebutuhan terhadap perlindungan dan pemeliharaan lingkungan hidup yang sehat dan aman perlu mendapat perhatian yang makin besar. Pembangunan industri diharapkan dapat meningkatkan kesejahteraan bagi masyarakat. Namun bila dalam perumusan kebijaksanaan pembangunan industri tidak memasukkan unsur - unsur pertimbangan yang berorientasi pada lingkungan, maka tiga unsur pokok dalam

ekosistem, yaitu air, udara dan tanah, akan mengalami penurunan kualitas yang substansial sebagai akibat pencemaran oleh bahan sisa buangan atau limbah. Sisa buangan atau limbah dapat berupa gas dan debu, cairan atau padatan. Limbah tidak hanya berasal dari industri tetapi juga dari rumah tangga, pelayanan umum (seperti rumah sakit, perkantoran, pertokoan dsb., dari aktivitas pertanian, transportasi, dll. [2].

Pembuangan limbah organik, seperti sampah kota dan limbah industri ke dalam suatu aliran alami (sungai), menjadi masalah yang sangat penting. Dekomposisi bahan organik dalam badan air oleh bakteri aerob untuk proses metabolisme menggunakan oksigen yang terlarut

dalam air. Adapun reaksi umum yang mungkin berlangsung sangat kompleks, yang disederhanakan dalam persamaan reaksi sebagai berikut :



Jadi dalam hal ini, bahan organik ($C_xH_yO_z$) bereaksi dengan oksigen terlarut dalam air. Bila kadar oksigen terlarut dalam air lebih rendah dari kadar jenuhnya, maka akan terjadi perpindahan oksigen dari udara ke air. Oleh karena itu, dalam proses biodegradasi bahan organik dalam sungai, terjadi dua proses simultan, yaitu reaksi kimia dan perpindahan massa dari udara ke air. Bila kadar bahan organik dalam air sangat tinggi, maka kecepatan reaksi kimia akan sangat besar, sehingga kecepatan pemakaian oksigen akan lebih tinggi dari kecepatan perpindahan oksigen dari udara. Akibatnya kadar oksigen terlarut dalam air akan turun dan berarti kualitas airnya menurun.

Studi lingkungan di Indonesia sejak akhir dasawarsa ini banyak dilakukan. Baik studi, penelitian, diskusi dan seminar yang berkaitan dengan upaya penanganan lingkungan berdasarkan pengamatan, lebih banyak masih bersifat kualitatif. Sedangkan studi kuantitatif yang diperlukan untuk menentukan apakah suatu bahan itu membahayakan atau tidak masih kurang. Besaran kuantitatif, misalnya jenis, konsentrasi, sifat fisik dan kimia, kecepatan perpindahan, dan waktu pencemaran sangat diperlukan untuk evaluasi dan pengambilan keputusan. Pada proses biodegradasi bahan organik pada sungai, jika kadar oksigen terlarut dalam air sungai turun mencapai harga di bawah suatu batas tertentu, maka mikroba akan mati. Hal ini perlu dicegah, antara lain dengan pembatasan jumlah buangan limbah bahan organik ke sungai, atau dengan aerasi sungai

tersebut [4]. Oleh karena itu, diskripsi kuantitatif proses biodegradasi bahan organik dalam sungai diperlukan. Dalam hal ini suatu model matematik akan sangat membantu dalam menentukan parameter yang dicari secara kuantitatif [3]. Proses perpindahan bahan kimia dalam keadaan sesungguhnya adalah sangat kompleks. Untuk memahami perilaku suatu sistem maka dibuat suatu model yang disederhanakan [1].

Penelitian ini bertujuan menyusun persamaan empiris untuk meramal harga koefisien perpindahan massa oksigen dari udara ke air sungai, berdasar data percobaan laboratorium untuk berbagai nilai peubah.

Tahanan terhadap perpindahan massa antarfasa hanya terdapat di dalam kedua lapisan fase, tetapi tidak terdapat pada antar permukaan kedua fase. Sedangkan konsentrasi - konsentrasi pada antar permukaan p_{Ai} dan C_{Ai} merupakan konsentrasi keseimbangan.

Kecepatan perpindahan massa (N_A) dalam masing - masing fase adalah sebagai berikut :

$$N_A = k_G(p_{AG} - p_{Ai}) = k_L(C_{Ai} - C_{AL}) \quad (1)$$

$$N_A = k_G \Delta p_A = k_L \Delta C_A \quad (2)$$

Persamaan (1) dapat juga dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{p_{AG} - p_{Ai}}{C_{AL} - C_{Ai}} = - \frac{k_L}{k_G} \quad (3)$$

Jadi bila koefisien perpindahan k_L dan k_G diketahui, maka konsentrasi - konsentrasi pada antar muka p_{Ai} dan C_{Ai} dapat ditentukan secara grafis, atau secara analitis apabila diketahui persamaan kurva kesetimbangannya ,

$$p_{Ai} = f(C_{Ai}) \quad (4)$$

Pada umumnya tidaklah mungkin mengukur konsentrasi - konsentrasi pada antar permukaan kedua fase. Sehingga lebih sesuai menggunakan koefisien keseluruhan yang berdasarkan gaya pendorong keseluruhan antara komposisi kedua fase , p_{AG} dan C_{AL} .

Untuk H (tetapan Henry) berlaku persamaan :

$$p_{Ai} = H C_{Ai} + b \quad (5)$$

$$p_{AG} = H C_{AL}^* + b \quad (6)$$

Jika p_{AG}^* adalah konsentrasi A dalam fase gas yang berkesetimbangan dengan konsentrasi A dalam fase cair C_{AL} , maka berlaku persamaan :

$$p_{AG}^* = H C_{AL} + b \quad (7)$$

Selanjutnya perpindahan massa antar fase dapat ditulis :

$$N_A = K (p_{AG} - C_{AL}) \quad (8)$$

Persamaan (8) mempunyai satuan konsentrasi yang tidak konsisten, dan perlu diubah menjadi :

$$N_A = K_G (p_{AG} - p_{AG}^*) = K_G \Delta p_{oA} \quad (9)$$

dengan K_G adalah koefisien perpindahan massa keseluruhan fase gas, di dalamnya sudah tercakup tahanan baik dalam fase cair dan fase gas. Dalam kenyataannya p_{AG}^* itu tidak ada. Bila C_{AL}^* adalah konsentrasi A dalam fase cair dan jika seandainya berkesetimbangan dengan konsentrasi A dalam fase gas p_{AG} , maka dapat ditulis dengan cara yang sama :

$$N_A = K_L (C_{AL}^* - C_{AL}) = K_L \Delta C_{oA} \quad (10)$$

dengan K_L adalah koefisien perpindahan massa keseluruhan fase cair, di dalamnya sudah tercakup tahanan baik fase cair maupun fase gas. Hubungan antara koefisien perpindahan massa keseluruhan dengan koefisien perpindahan massa individual dapat dicari dengan jalan sebagai berikut :

Dari persamaan (9) :

$$\frac{1}{K_G} = \frac{p_{AG} - p_{AG}^*}{N_A} = \frac{p_{AG} - p_{Ai}}{N_A} + \frac{p_{Ai} - p_{AG}^*}{N_A} \quad (11)$$

Persamaan (5) dan (7) dimasukkan ke persamaan (11), maka diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$\frac{1}{K_G} = \frac{p_{AG} - p_{Ai}}{N_A} + \frac{H(C_{Ai} - C_{AL})}{N_A} \quad (12)$$

Dari persamaan (1) ,

$$\frac{N_A}{k_G} = p_{AG} - p_{Ai} \quad (13)$$

$$\frac{N_A}{k_L} = C_{Ai} - C_{AL} \quad (14)$$

Persamaan (13) dan (14) dimasukkan ke persamaan (12), maka diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$\frac{1}{K_G} = \frac{1}{k_G} + \frac{H}{k_L} \quad (15)$$

Sama dengan cara di atas, dari persamaan (10) :

$$\frac{1}{K_L} = \frac{C_{AL}^* - C_{AL}}{N_A} = \frac{C_{AL}^* - C_{Ai}}{N_A} + \frac{C_{Ai} - C_{AL}}{N_A} \quad (16)$$

Persamaan (5) dan (6) dimasukkan ke persamaan (16), maka diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$\frac{1}{K_L} = \frac{p_{AG} - p_{Ai}}{HN_A} + \frac{C_{Ai} - C_{AL}}{N_A} \quad (17)$$

Persamaan (13) dan (14) dimasukkan ke persamaan (17), maka diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$\frac{1}{K_L} = \frac{1}{Hk_G} + \frac{1}{k_L} \quad (18)$$

Persamaan (15) dan (18) menunjukkan bahwa besarnya tahanan relatif masing - masing fase tergantung pada kelarutan gas yang ditunjukkan oleh H. Untuk gas yang sangat mudah larut, misalnya NH_3 dalam air, maka harga H sangat kecil. Sehingga dari persamaan (15) dapat disimpulkan sebagai berikut :

$$\frac{1}{K_G} \approx \frac{1}{k_G} \quad , \text{ sehingga dapat}$$

dituliskan sebagai berikut :

$$K_G \approx k_G \quad (19)$$

Dalam hal ini tahanan terhadap perpindahan massa sebagian besar terletak dalam fase gas, dan untuk sistem semacam ini dikatakan fase gas memegang peranan. Untuk gas yang sukar larut , misalnya oksigen dalam air, maka harga H sangat besar. Dari persamaan (18) dapat disimpulkan sebagai berikut :

$$\frac{1}{K_L} \approx \frac{1}{k_L}, \text{ sehingga dapat dituliskan}$$

sebagai berikut :

$$K_L \approx k_L \quad (20)$$

Dalam hal ini tahanan terhadap perpindahan massa sebagian besar terdapat dalam fase cair, dan untuk sistem semacam ini dikatakan fase cair memegang peranan [5].

Pada aliran air sungai sederhana yang mengandung oksigen (A) dan bahan organik (B), maka kecepatan reaksi kimianya dengan bantuan mikroba cukup kompleks, namun biasanya diasumsikan sebagai bentuk yang sangat sederhana, yaitu :

$$r_B = \frac{\beta C_{AL} C_{BL}}{C_{BL} + \alpha} \quad (21)$$

Dalam hal ini $r_A = r_B$.

Kecepatan perpindahan massa oksigen dari udara ke air ditunjukkan oleh persamaan sebagai berikut ;

$$N_A = K_L (C_{AL}^* - C_{AL}) \quad (22)$$

Persamaan (20) dimasukkan ke persamaan (22), maka diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$N_A = k_L (C_{AL}^* - C_{AL}) \quad (23)$$

[4]

Persamaan neraca bahan untuk bahan organik adalah sebagai berikut :

Rate of input - rate of output - rate of reaction = rate of accumulation

$$[QC_{BL}|_z] - [QC_{BL}|_{z+\Delta z}] - [hB\Delta z r_B] = 0$$

$$\frac{C_{BL}|_{z+\Delta z} - C_{BL}|_z}{\Delta z} = -\frac{hBr_B}{Q}$$

Jika diambil lim $\Delta x \rightarrow 0$, maka diperoleh :

$$\frac{dC_{BL}}{dz} = -\frac{hBr_B}{Q} \quad (24)$$

Persamaan neraca bahan untuk oksigen adalah sebagai berikut :

Rate of input - rate of output - rate of reaction = rate of accumulation

$$[QC_{AL}|_z + B\Delta z k_L (C_{AL}^* - \bar{C}_{AL})] - [QC_{AL}|_{z+\Delta z}] - [hB\Delta z r_A] = 0$$

$$\frac{C_{AL}|_{z+\Delta z} - C_{AL}|_z}{\Delta z} = \frac{Bk_L}{Q} (C_{AL}^* - \bar{C}_{AL}) - \frac{hBr_A}{Q} \text{ Jika}$$

diambil lim $\Delta z \rightarrow 0$, maka diperoleh :

$$\frac{dC_{AL}}{dz} = \frac{Bk_L}{Q} (C_{AL}^* - \bar{C}_{AL}) - \frac{hBr_A}{Q} \quad (25)$$

$$Q = v h B \quad (26)$$

di mana, Q = debit air, v = kecepatan aliran air, B = lebar model sungai, h = kedalaman model sungai.

Hubungan antara koefisien perpindahan massa dan variabel - variabel yang berpengaruh pada percobaan ini adalah sebagai berikut :

$$k_L = f(v, B, h, D_{O_2}, \rho_L, \mu_L) \quad (27)$$

Dengan analisis dimensi, variabel - variabel dapat dikelompokkan dalam bentuk kelompok tak berdimensi sebagai berikut :

$$k_L = K \left(\frac{\rho_L v B}{\mu_L} \right)^a \left[\frac{\mu_L}{\rho_L D_{O_2}} \right]^b \left(\frac{h}{B} \right)^c \quad (28)$$

Kelompok tak berdimensi $k_L B / D_{O_2}$ merupakan kelompok Bilangan Sherwood (Sh) dan $\frac{\rho_L v B}{\mu_L}$

merupakan kelompok Bilangan Reynolds (Re). Kondisi dijaga pada suhu yang tetap, sehingga variabel D_{O_2} (diffusivitas molekuler O_2), ρ_L (densitas air) dan μ_L (viskositas air) tetap, maka persamaan (28) dapat ditulis sebagai berikut :

$$Sh = K (Re)^a \left(\frac{h}{B} \right)^c \quad (29)$$

PROSEDUR PERCOBAAN

Penelitian yang dilakukan terdiri atas :

1. Penelitian dengan percobaan di laboratorium

Percobaan di laboratorium dimaksudkan untuk mendapatkan data konsentrasi oksigen (C_{AL}) dan konsentrasi bahan organik keseluruhan (C_{BL}) (dinyatakan dalam COD) pada berbagai posisi. Dari data tersebut dan dengan bantuan model matematis yang diajukan maka dapat

dihitung harga α , β dan k_L . Peubah - peubah operasi yang dilakukan dalam penelitian ini adalah Bilangan Re dan perbandingan antara kedalaman dengan lebar sungai.

2. Penelitian dengan simulasi komputer

Berdasarkan model matematik yang telah tersusun, dan diselesaikan secara numeris dengan bantuan komputer, dapat dilakukan perhitungan simulasi sehingga dapat diketahui harga C_{AL} dan C_{BL} sebagai fungsi jarak pada keadaan steady state, untuk harga α , β dan k_L tertentu. Harga C_{AL} dan C_{BL} yang sesuai dengan data percobaan akan diperoleh dengan cara mengubah - ubah harga α , β dan k_L . Harga α , β dan k_L yang dipilih adalah yang memberikan jumlah kuadrat selisih terkecil (*SSE = Sum of Squares of Error*) antara C_{AL} dan C_{BL} hasil simulasi dengan hasil percobaan yang terkecil. Dengan cara ini, sekaligus nilai α , β dan k_L dapat ditentukan.

3. Penyusunan persamaan empiris untuk k_L

Setelah nilai - nilai k_L pada sejumlah variasi nilai peubah dapat diperoleh, maka dicari persamaan empiris hubungan k_L dengan peubah - peubahnya, dinyatakan dalam persamaan hubungan antar kelompok tak berdimensi seperti pada persamaan (29).

Bahan baku berupa air sungai yang diambil dari Sungai Code dan limbah pabrik kulit dari P.T. Budi Makmur Jaya Murni Yogyakarta.

Rangkaian alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah model sungai yang berupa saluran air yang terbuka.

Campuran air sungai dan limbah dialirkan ke saluran air dengan kecepatan tertentu yang sebelumnya sudah diambil sedikit untuk dianalisis kadar oksigennya dan kadar bahan organiknya. Dibiarkan air mengalir sampai habis dan ditampung di tangki penampung setelah aliran. Kemudian air dipindahkan ke tangki penampung awal untuk dialirkan lagi seperti semula. Demikian

langkah tersebut diulang beberapa kali sesuai dengan rencana. Setelah air mengalir selama beberapa kali, kemudian diambil sedikit sampel pada tangki penampung setelah aliran untuk dianalisis kadar oksigennya dan kadar bahan organiknya. Langkah - langkah tersebut diulang lagi sampai pengambilan sampel beberapa kali.

Kadar oksigen yang terlarut (C_{AL}) diukur dengan Dissolved Oxygen Meter dan kadar bahan organik keseluruhan (C_{BL}) diketahui dengan melakukan analisis COD (Chemical Oxygen Demand).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan meliputi pengaruh kecepatan aliran air dan kedalaman pada model aliran air sungai.

Berdasarkan hasil penelitian dan simulasi diperoleh harga β berkisar antara $9,2 \cdot 10^{-7}$ sampai $3,8 \cdot 10^{-6}$ detik⁻¹, dan harga k_L berkisar antara $7 \cdot 10^{-8}$ sampai $1,4 \cdot 10^{-7}$ m/detik, sedangkan harga α tidak berpengaruh. Pada perhitungan ini diambil harga α sebesar $1 \cdot 10^5$ yang harganya mendekati harga konsentrasi bahan organik. Dan hasil perhitungannya ditunjukkan pada tabel 1 dan tabel 2.

Dalam hal ini harga β teoritis tetap, dan data hasil hitungan juga menunjukkan bahwa variasi nilai β tidak begitu besar. Untuk itu diambil harga β rerata sebesar $2,171 \cdot 10^{-6}$ detik⁻¹. Selanjutnya dilakukan reoptimasi harga k_L dengan minimasi satu variabel, dan memberikan harga k_L sebesar $6,4 \cdot 10^{-8}$ sampai $1,6 \cdot 10^{-7}$ m/detik. Hasil perhitungan penentuan harga k_L dan koefisien reaerasi (k_L/h) dengan berbagai harga Re ditunjukkan pada tabel 3, demikian juga untuk peubah (h/B) ditunjukkan pada tabel 4.

Penentuan Persamaan Hubungan antara k_L dengan Peubah-peubah Operasi

1. Peubah Bilangan Re

Penelitian ini dilakukan pada berbagai harga Bilangan Re pada kisaran harga antara 1.236,76 sampai 1.989,91 dan hal ini dilakukan dengan mengubah kecepatan aliran air pada kedalaman yang tetap yaitu 0,011 m atau $\left(\frac{h}{B}\right) = 0,6875$.

Berdasarkan persamaan (29) dan dilakukan manipulasi, maka dihasilkan persamaan :

$$Sh = X (Re)^a$$

di mana $X = K \left(\frac{h}{B}\right)^c$

Dari hasil perhitungan regresi linier diperoleh harga slope 1,9122 , jadi harga a = 1,9122.

2. Peubah perbandingan antara h dan B atau

$$\left(\frac{h}{B}\right)$$

Penelitian ini dilakukan pada berbagai harga (h/B) pada kisaran harga antara 0,625 sampai 0,875 dan hal ini dilakukan pada Bilangan Re yang tetap yaitu 1.672,66.

Berdasarkan persamaan (29) dan dilakukan manipulasi, maka dihasilkan persamaan :

$$Sh (Re)^{-a} = K \left(\frac{h}{B}\right)^c$$

Dari hasil perhitungan regresi linier diperoleh harga slope 0,9117 jadi harga c = 0,9117 dan intercept = ln K = -33,58 sehingga K = 2,6.10⁻¹⁵.

Dalam hal ini, dari persamaan (29) B diganti dengan h, maka diperoleh :

$$\frac{k_L h}{D_{O_2}} = K \left(\frac{\rho v h}{\mu}\right)^p \left(\frac{h}{B}\right)^q \quad (30)$$

Untuk memperoleh persamaan empiris pada persamaan (30) adalah sebagai berikut :

Dari persamaan (29),

$$\left(\frac{h}{B}\right) \left(\frac{k_L B}{D_{O_2}}\right) = K \left(\frac{\rho v B}{\mu}\right)^a \left(\frac{h}{B}\right)^c \left(\frac{h}{B}\right)^a \left(\frac{h}{B}\right)^{-a} \left(\frac{h}{B}\right)$$

$$\frac{k_L h}{D_{O_2}} = K \left(\frac{\rho v h}{\mu}\right)^a \left(\frac{h}{B}\right)^{c-a+1}$$

jadi p = a = 1,9122

q = c - a + 1 = 0,9117 - 1,9122 + 1

= -0,0005 ≈ 0

Dari hasil perhitungan di atas , akhirnya diperoleh persamaan empiris antara k_L dengan peubah-peubah operasi berbentuk :

$$Sh = 2,6 \cdot 10^{-15} (Re)^{1,9122}$$

dengan kesalahan rerata = 0,2857%.

Jika hasil penelitian ini dibandingkan dengan hasil penelitian peneliti terdahulu yang ditunjukkan dalam bentuk koefisien reaerasi (k_L/h) (tabel 5), maka harga koefisien reaerasi penelitian ini berkisar antara 0,5 sampai 1,26 hari⁻¹, yang berarti harganya tidak jauh menyimpang dari data penelitian sebelumnya.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Model matematik yang diajukan dapat dipakai untuk menerangkan peristiwa perpindahan massa oksigen dari udara ke model aliran air.
2. Pada peristiwa perpindahan massa ini diperoleh harga β antara 9,2.10⁻⁷ sampai 3,8.10⁻⁶ detik⁻¹ dan harga k_L antara 7.10⁻⁸ sampai 1,4.10⁻⁷ m/detik. Hasil reoptimasi dengan β rerata sebesar 2,171.10⁻⁶ detik⁻¹ diperoleh harga k_L antara 6,4. 10⁻⁸ sampai 1,6. 10⁻⁷ m/detik. Hal ini berarti pada peristiwa perpindahan massa oksigen dari udara ke air limbah pabrik kulit P.T. Budi Makmur Jaya Murni Yogyakarta ini mengakibatkan peristiwa reaksi kimia dan perpindahan massa.
3. Hubungan antar kelompok tak berdimensi untuk k_L dengan peubah-peubah operasinya

dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut :

$$Sh = 2,6 \cdot 10^{-15} (Re)^{1,9122}$$

dengan kisaran Bilangan Re antara 1236,76 sampai 1989,91 dan besar kesalahan rerata 0,2857%.

4. Diperoleh harga koefisien reaerasi berkisar antara 0,5 sampai 1,26 hari⁻¹ yang berarti tidak jauh menyimpang dari data penelitian sebelumnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala karunia dan rahmat Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan makalah penelitian ini. Penulis ucapkan terima kasih kepada yang terhormat Bapak Ir. Wahyudi Budi Sediawan, SU, Ph. D. dan Bapak Ir. Panut Mulyono, M. Eng., D. Eng. yang telah memberikan saran - saran dalam penelitian ini. Semoga Tuhan Yang Maha Esa berkenan melimpahkan rahmat kepada semua pihak yang telah membantu demi terselesainya penelitian ini.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Bendiyasa , I. , M. . *Transport Fase Udara - Air*. Yogyakarta : Pusat Antar Universitas , Universitas Gadjah Mada. 1993. hal. 1
- [2] Martopo, S.. *Masalah Lingkungan Hidup dan Pembangunan Berlanjut Berwawasan Lingkungan*. Yogyakarta : Pusat Antar Universitas, Universitas Gadjah Mada. 1992
- [3] Murachman , B. *Pentingnya Pembahasan Kuantitatif dalam Studi Lingkungan*. Yogyakarta : Pusat Antar Universitas , Universitas Gadjah Mada. 1993. hal. 1, 16
- [4]Thibodeaux,L.,J. *hemodynamics Environmental Movement of Chemical in Air , Water , and Soil*. London : John Wiley and Song Inc. 1979. p. 18 – 24

- [5] Treybal , R. , E.. *Mass Transfer Operations*. 2nd ed. McGraw - Hill. 1981 p. 94 - 99

LAMPIRAN

Tabel 1. Hasil perhitungan harga β dan k_L pada berbagai harga bilangan Re ($h = 0,011$ m, $B = 0,16$ m) pada suhu 28°C

No.	Re	$\beta \cdot 10^6$ (detik ⁻¹)	$k_L \cdot 10^7$ (m/detik)
1	1.236,76	2,30	1,20
2	1.343,34	2,60	1,40
3	1.505,81	3,80	1,20
4	1.672.66	3,60	1,00
5	1.836,23	2,50	1,40
6	1.989,91	0,99	0,83

Tabel 2. Hasil perhitungan harga β dan k_L pada berbagai kedalaman ($Re = 1.672,66$, $B = 0,16$ m) pada suhu 28°C

No.	h (m)	$\beta \cdot 10^6$ (detik ⁻¹)	$k_L \cdot 10^7$ (m/detik)
1	0,011	0,92	0,70
2	0,012	1,10	0,76
3	0,013	2,50	1,30
4	0,014	1,40	1,10

Tabel 3. Hasil perhitungan harga k_L dan koefisien reaerasi pada berbagai harga bilangan Re ($\beta = 2,171 \cdot 10^{-6}$ detik⁻¹, $h = 0,011$ m) pada suhu 28°C

No.	Re	$k_L \cdot 10^7$ (m/detik)	k_L/h (hari ⁻¹)
1	1.236,76	0,64	0,50
2	1.343,34	0,72	0,57
3	1.505,81	1,20	0,94
4	1.672.66	1,30	1,02
5	1.836,23	1,40	1,10
6	1.989,91	1,60	1,26

Tabel 4. Hasil perhitungan harga k_L dan koefisien reaerasi pada berbagai kedalaman ($\beta = 2,171 \cdot 10^{-6}$ detik⁻¹, $Re = 1.672,66$) pada suhu 28°C

No.	h (m)	$k_L \cdot 10^7$ (m/detik)	k_L/h (hari ⁻¹)
1	0,011	1,2	1,04
2	0,012	1,4	1,01
3	0,013	1,6	1,06
4	0,014	1,6	0,99

Tabel 5. Data koefisien reaerasi pada beberapa sungai [4]

No.	Nama sungai	Suhu ($^\circ\text{C}$)	k_L/h (hari ⁻¹)
1	Elk	12,0	11,1
2	Clarion	13,0	6,00
3	Tennessee	23,0	3,03
4	Illinois	27,0	0,62
5	San Diego Bay	20,0	0,11
6	Ohio	24,5	0,44