

APLIKASI MICROBUBBLE GENERATOR POROUS-VENTURI PADA PENGOLAHAN AIR LIMBAH BUATAN

Lathifa Putri Afisna¹, Wibawa Endra Juwana²

¹Program Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi Sumatera

²Program Studi Teknik Mesin, Universitas Sebelas Maret

Email: putri.afisna@me.itera.ac.id

Abstrak

Keterbatasan air bersih akibat terjadinya pencemaran air dari limbah rumah tangga dan industri memerlukan sebuah alat teknologi pengolahan air limbah yang ramah lingkungan dan instalasi yang mudah. Microbubble generator (MBG) digunakan untuk menghasilkan oksigen yang diperlukan oleh bakteri untuk melakukan dekomposisi air limbah. Pada penelitian ini didesain MBG porous-venturi dipasang pada kolam air limbah buatan. Parameter yang diukur adalah koefisien perpindahan massa (K_{LA}), kadar dissolved oxygen (DO), dan chemical oxygen demand (COD). Nilai K_{LA} diukur menggunakan DO meter dengan debit air diatur 30-80 lpm dan debit gas 0,1, 0,4 dan 1 lpm. Berdasarkan hasil penelitian, nilai rata-rata K_{LA} pada pengukuran 60 cm saat debit tertinggi sebesar 0,074 dan pengukuran 180 cm sebesar 0,0335. Kenaikan debit gas tidak mempengaruhi secara signifikan tetapi trendnya linear. Kenaikan nilai DO dari 0 sampai 3,1 mg/L akan mengurangi kadar COD dalam air limbah buatan sampai di bawah 100 mg/L.

Kata kunci: Microbubble, venturi, DO, COD, K_{LA}

Abstract

The limitation of clean water due to water pollution from household and industrial waste, leads to the development of an environmentally friendly wastewater treatment technology and installation easily. Microbubble generator (MBG) is used to produce oxygen needed by bacteria to decompose wastewater. In this study, porous-venturi MBG was designed to be installed in an artificial wastewater pool. The parameters to be measured were mass transfer coefficient (K_{LA}), dissolved oxygen (DO), and chemical oxygen demand (COD). The K_{LA} value is measured using a DO meter with the liquid flowrate set at 30-80 lpm and gas flowrate set 0.1, 0.4 and 1 lpm. Based on the results of the study, the average value of K_{LA} at the 60 cm measurement when of the highest liquid flowrate was 0.074 and the measurement of 180 cm was 0.0335. The increase in gas flowrate did not significantly affect but the linear trend. Increasing DO from 0 to 3.1 mg / L will reduce the levels of COD in artificial wastewater until below 100 mg / L.

Keywords: Microbubble, venturi, DO, COD, K_{LA}

1. Pendahuluan

Berbagai macam aktivitas manusia dapat menyebabkan terjadinya pencemaran air yaitu pembuangan limbah rumah tangga dan limbah industri. Pencemaran air ini akan berdampak luas terhadap keseimbangan ekosistem sungai dan danau, meracuni sumber air minum, makanan hewan dan sebagainya. Pengolahan air limbah ini perlu dilakukan untuk menjaga lingkungan dan keberlanjutan usaha. Berbagai teknik pengolahan air limbah telah dilakukan sebelumnya. Pengolahan limbah buatan yang ramah lingkungan dan biaya operasional murah dapat dilakukan dengan memanfaatkan teknologi microbubble generator.

Microbubble generator (MBG) adalah suatu alat yang berfungsi untuk menghasilkan gelembung udara di dalam air dengan ukuran diameter kurang dari 200 μm . Microbubble yang dihasilkan berguna bagi mikroorganisme dan bakteri untuk memenuhi kebutuhan oksigen. Kemudian bakteri yang terus berkembang banyak ini akan melakukan dekomposisi terhadap air limbah sehingga air akan lebih jernih. Keuntungan diameter gelembung kecil dibanding ukuran yang biasa adalah kecepatan naik yang lambat. Karakteristik spesial ini menyebabkan gelembung akan lebih lama tinggal dalam cairan dan hasilnya proses massa transfer lebih cepat [1].

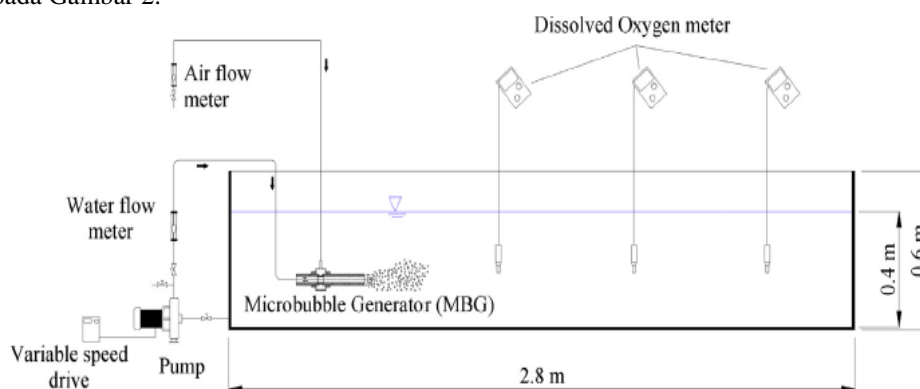
Ada beberapa jenis microbubble generator yang telah dikembangkan oleh peneliti seperti: swirl type microbubble generator memiliki desain yang sederhana dan efektif untuk menghasilkan microbubble dalam waktu singkat. Distribusi diameter bubble yang lebih kecil dan menghasilkan bubble yang seragam [2]. Penelitian Sadatomi [3] mendesain sebuah MBG tipe orifis dan pipa berpori dengan menempatkan

bola pejal atau *spherical body* dalam saluran yang dinamakan *multi-fluids mixer* karna multifungsi. MBG *porous-venturi* dikembangkan oleh Baylar dan Ozkan [4] bertujuan untuk meningkatkan jumlah *dissolved oxygen* (DO) pada aplikasi sistem aerasi air. DO berguna bagi semua proses biologis dan kimiawi dalam air yang membutuhkan oksigen.

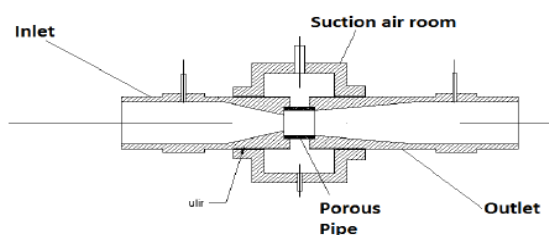
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja dari MBG *porous-venturi* yang memiliki desain sederhana dan mudah diinstalasi. Keuntungan lain tidak memerlukan kompresor udara karena udara vakum yang dihasilkan MBG *porous-venturi*. Beberapa peneliti sudah melakukan penelitian menggunakan MBG ini. Namun, penelitian ini akan dilakukan pada air jernih dan limbah buatan yang belum banyak digunakan. Parameter yang akan diuji koefisien perpindahan massa (K_La), kadar *oxygen dissolved* (DO) dan *chemical oxygen demand* (COD) pada air limbah buatan.

2. Metode Penelitian

Diagram skema peralatan eksperimen penerapan *microbubble generator porous-venturi* pada air bersih ditunjukkan pada Gambar 1. Kolam yang terbuat dari kaca transparan memiliki dimensi 280 cm x 60 cm x 40 cm yang diletakkan di Laboratorium Mekanika Fluida Departemen Teknik Mesin dan Industri, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Kolam diisi dengan air ledeng sedalam 40 cm dan dipasang MBG secara horizontal dengan jarak 20 cm dari alas kolam. MBG yang digunakan *porous-venturi* yang terdiri dari empat bagian utama yaitu, *inlet*, *suction air room*, pipa venturi dan *outlet* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Diagram skema peralatan eksperimen



Gambar 2. *Microbubble Generator Porous-Venturi* dan Bagian-bagiannya

Air masuk ke bagian inlet kemudian kemudian bercampur dengan udara yang terhisap melalui pipa venturi pada *section air room*. Tekanan air statis lebih rendah dari tekanan atmosfer sehingga udara mudah tersedot pada titik isap ke dalam air yang mengalir. Kemudian, campuran air dan udara akan membentuk *microbubble* dan mengalir keluar dari MBG.

2.1. Unjuk kerja *microbubble generator* pada air jernih

Koefisien perpindahan massa (K_La) diukur dengan menggunakan DO meter (Lutron 5510) yang diletakkan sejauh 60 cm dan 180 cm dari MBG. DO meter dihubungkan dengan data DO logger untuk membaca dan menyimpan hasil pengukuran. Sebelum melakukan pengambilan data dilakukan kalibrasi dengan menunggu nilai DO awal sebesar 2.2 mg/l. Debit aliran diukur dari 30 lpm-80 lpm dan debit aliran gas 0,1 lpm, 0,4 lpm, 1 lpm. Kemudian oksigen terlarut diukur dalam jangka waktu tertentu dan data yang tersimpan diolah menggunakan MS Excel. Nilai koefisien perpindahan massa (K_La) dapat dihitung dengan persamaan:

$$\frac{dC}{dt} = K_L a (C_s - C_t) \quad (1)$$

Di mana C_s adalah konsentrasi jenuh oksigen dalam cairan (mg/L) dan C_t adalah konsentrasi gas pada akhir interval waktu (mg/L). Jika konsentrasi awal ($t = 0$) gas dalam cairan C_o , maka dengan mengintegrasikan persamaan laju konsentrasi oksigen diperoleh:

$$\ln \frac{C_s - C_o}{C_s - C_t} = K_L a (t - t_0) \quad (2)$$

2.2 Aplikasi *microbubble generator porous-venturi* pada air limbah buatan

Microbubble generator (MBG) *porous-venturi* diaplikasikan pada air limbah buatan di Teknik Kimia, UGM. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kadar *dissolved oxygen* (DO) dan *chemical oxygen demand* (COD) pada air limbah buatan. Komposisi air limbah buatan tepung tapioka 4800 g, gula 320 gr, urea 320 gr dan kalium diphospat (KH₂PO₄) 480 gr yang dilarutkan dalam air sebanyak 320 L. Bakteri aerob dimasukkan ke dalam kolam air limbah buatan dengan dimensi 1 x 1 x 0,4 m. Jenis bakteri aerobik berupa *sludge* aktif yang didapat dari tempat pembuangan air limbah di Piyungan. Bakteri terus diperbanyak dengan proses mencampurkan bakteri dengan tepung tapioka 450 gr, gula 30 gr, urea 30 gr dan kalium diphospat 40 gr dalam wadah berkapasitas 300 L. Kemudian ditambahkan air dan diaerasi menggunakan *blower* selama 1 bulan untuk mempercepat perkembangan bakteri.

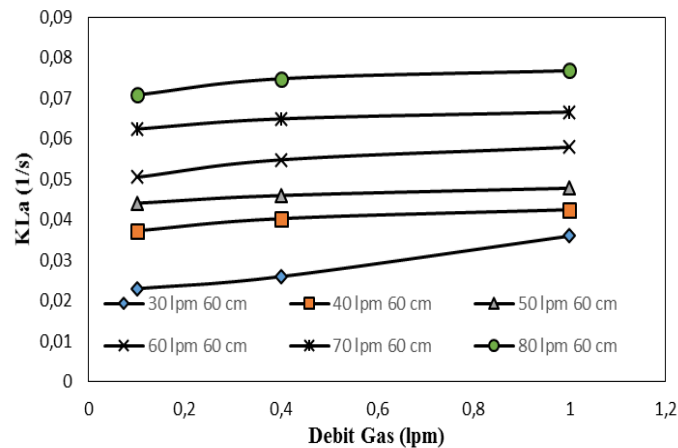
Selanjutnya, perangkat MBG *porous-venturi* diinstalasi pada kolam air limbah buatan dengan menghidupkan pompa selama 24 jam dan proses aerasi dilakukan selama 5 hari. Penelitian dilakukan pada saat kondisi laju aliran $Q_L = 50$ lpm dan $Q_g = 3$ lpm dan dimasukkan bakteri yang sudah dikembangkan. Setelah DO meter dipasang dekat semburan *ouput* MBG kemudian dilakukan pengambilan data setiap 12 jam. Sampel air limbah buatan diambil setiap 12 jam untuk diuji kandungan bahan organik dan dianalisis dengan metode refluks tertutup menggunakan *soluble chemical oxygen demand* (sCOD) di Laboratorium Teknik Pangan dan Bioproses. Data hasil pengujiannya ini diolah menggunakan program *Microsoft Excel* untuk mengetahui perubahan nilai COD dan DO selama proses aerasi.

3. Hasil dan Analisis

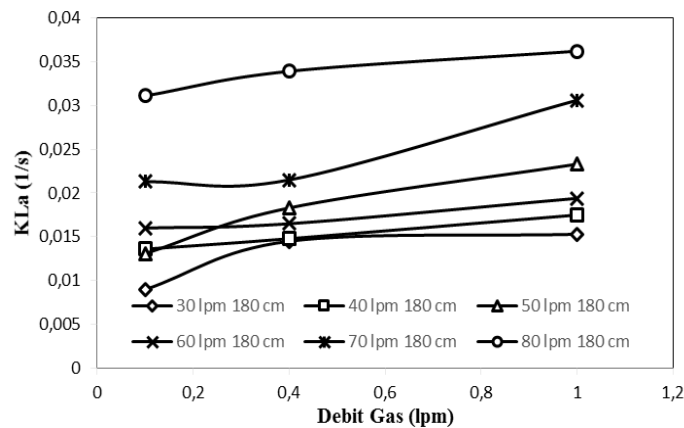
3.1 Pengaruh debit air terhadap nilai koefisien perpindahan massa

Salah satu indikator yang digunakan dalam mengukur unjuk kerja MBG dengan menghitung koefisien perpindahan massa ($K_L a$). Pada penelitian ini akan dilihat pengaruh kenaikan debit air dan debit gas terhadap nilai koefisien perpindahan massa volumetrik. Gambar 3 menunjukkan peningkatan debit air pada jarak pengukuran 60 cm menyebabkan peningkatan koefisien perpindahan massa. Nilai $K_L a$ berada pada kisaran 0,023 - 0,036 saat $Q_L = 30$ lpm dan terus meningkat sampai berada pada kisaran 0,071-0,077 saat $Q_L = 80$ lpm. Ketika terjadi peningkatan Q_L maka diameter gelembung akan semakin kecil [5]. Secara teoritis, Peningkatan laju aliran menyebabkan semakin besar *pressure drop* sehingga turbulensi akan meningkat. Hal ini akan menyebabkan *bubble* terdispersi menjadi ukuran lebih kecil dengan jumlah banyak. Penggunaan MBG tipe *porous-venturi* akan memberikan tekanan didalam leher pipa menjadi semakin negatif dibandingkan dengan tekanan atmosfer. Turbulensi menyebabkan aliran menjadi semakin acak dan *microbubble* terbentuk lebih banyak. Transfer oksigen selama proses akan semakin cepat karena induksi arus turbulensi yang lebih tinggi di dalam tempat uji[6].

Pertambahan jumlah *microbubble* akan menyebabkan kontak permukaan antara gelembung dan cairan meningkat secara signifikan. Hal ini menyebabkan waktu kontak gelembung dan cairan akan lebih lama. Kecepatan naik *microbubble* ke permukaan air akan lebih lambat sehingga oksigen terlarut meningkat karena transfer oksigen dari gelembung ke dalam air. Sementara itu, diameter *microbubble* yang semakin besar akan menyebabkan jumlah *microbubble* yang dihasilkan MBG cenderung lebih sedikit. Waktu tinggal *microbubble* di air menjadi lebih singkat sehingga oksigen terlarut akan berkurang.



Gambar 3. Jarak Pengamatan 60 cm dari MBG



Gambar 4. Jarak Pengamatan 180 cm dari MBG

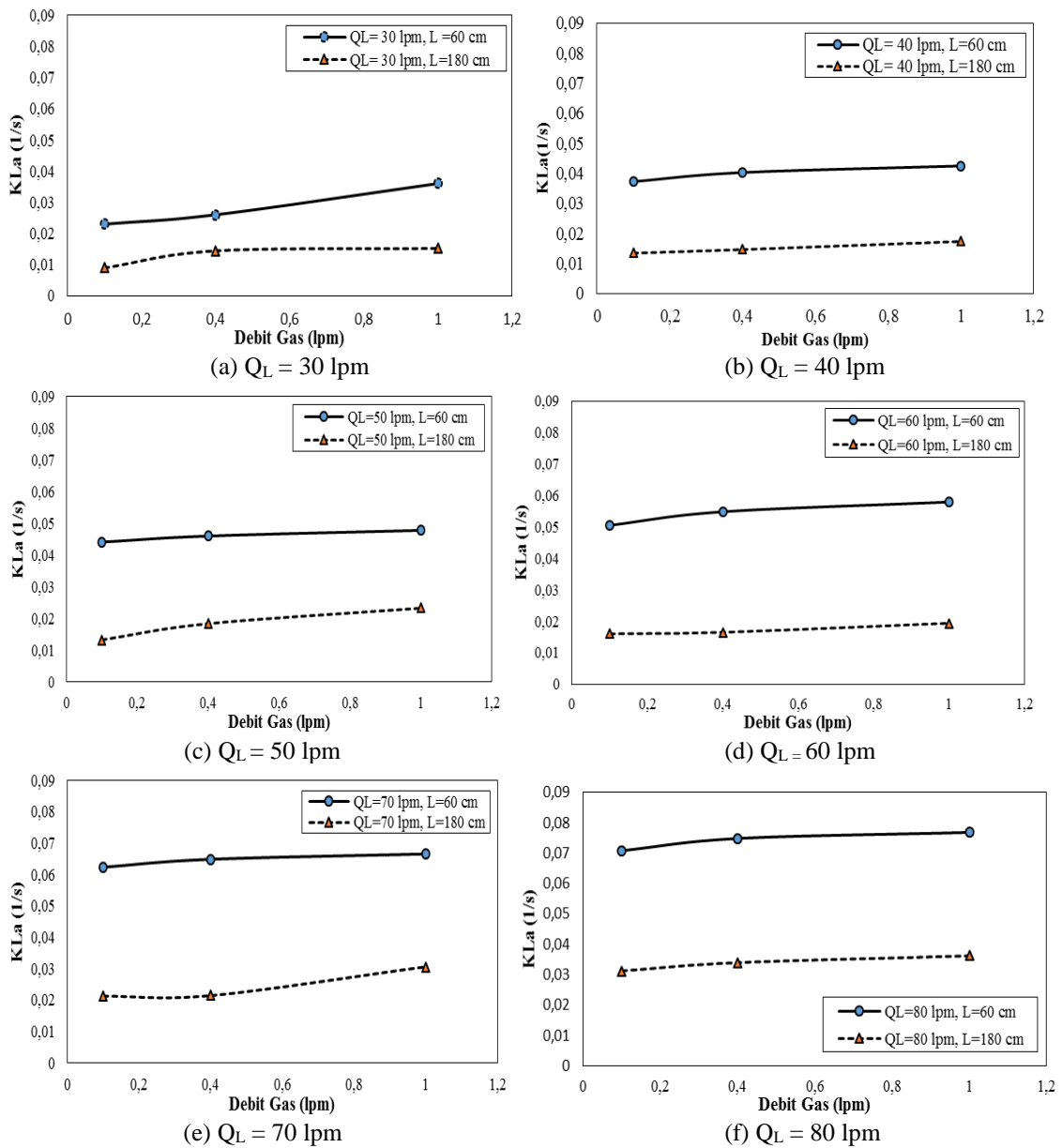
Nilai K_{La} lebih rendah pada jarak pengamatan DO 180 cm daripada jarak pengamatan 60 cm dari MBG seperti terlihat pada Gambar 4. Nilai antara 0,009-0,015 saat Q_L 30 lpm dan terus meningkat sampai berada antara 0,031-0,036 saat Q_L 80 lpm. Sirkulasi aliran air pada kolam uji menyebabkan terjadinya perbedaan nilai oksigen terlarut pada setiap titik jarak pengamatan DO. Semburan *microbubble* pada jarak pengamatan DO 60 cm dari MBG mengalami turbulensi atau belokan aliran paling besar. Nilai koefisien perpindahan massa akan meningkat karena turbulensi secara langsung akan menurunkan derajat tahanan film cairan, sehingga memudahkan oksigen untuk berpindah dari fase gas ke cair. Penurunan K_{La} pada jarak pengamatan 180 cm dari MBG disebabkan oleh jarak pengukuran yang jauh dari nosel MBG. Sementara *microbubble* dengan diameter besar cepat terangkat dan pecah ke permukaan air sebelum mencapai posisinya.

Faktor kunci yang mempengaruhi nilai koefisien perpindahan massa adalah diameter gelembung dan kecepatan gelembung sesuai dengan analisis sebelumnya. Kawahara dkk [6] dan Nock dkk [7] juga menemukan bahwa koefisien perpindahan massa tergantung pada kecepatan gelembung, diameter gelembung, viskositas dinamis fluida, dan difusivitas massa. Hasil penelitian yang telah dilakukan Juwana [8] juga telah membuktikan nilai K_{La} dipengaruhi oleh kenaikan debit air dan debit gas menyebabkan semakin banyak *bubble* berukuran kecil.

3.2 Pengaruh debit gas terhadap nilai koefisien perpindahan massa

Pengukuran nilai koefisien perpindahan massa dilakukan dengan memvariasikan debit gas sebesar 0,1 lpm, 0,4 lpm dan 1 lpm saat debit air konstan. Penelitian dilakukan dengan perbandingan jarak pengukuran DO meter diletakkan sejauh 60 cm dan 180 cm dari MBG. Hasil dari pengukuran menunjukkan kenaikan debit gas tidak mempengaruhi nilai koefisien perpindahan massa secara signifikan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Kenaikan diameter *bubble* tidak mempengaruhi jumlah *bubble* yang dihasilkan dari variasi laju aliran gas. Namun, perbedaan jarak pengamatan DO sejauh 60 cm dan

180 cm dari MBG mempengaruhi nilai koefisien perpindahan massa karna adanya penurunan jumlah *microbubble*. Udara yang diinjeksi dengan debit tertentu akan meningkatkan *void fraction*.



Gambar 5. Pengaruh kenaikan debit gas terhadap koefisien perpindahan massa

Penelitian yang dilakukan dengan Baylar dkk [4] menjelaskan perbandingan variasi debit air dan debit gas merupakan parameter penting. Laju aliran air yang semakin meningkat menyebabkan tegangan geser meningkat sehingga aliran berubah menjadi turbulen. Aliran turbulen memiliki bilangan *Reynolds* tinggi dengan viskositas cairan yang rendah.

3.3 Dissolved Oxygen (DO)

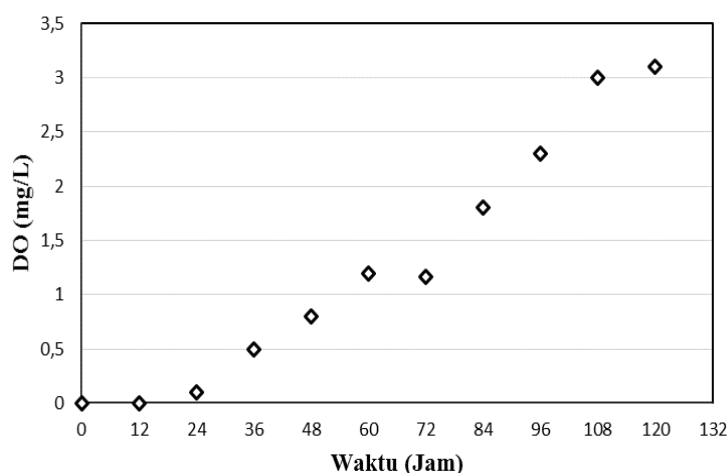
Salah satu parameter yang menggambarkan kualitas air adalah *dissolved oxygen* (DO). Air yang memiliki kualitas baik memiliki kadar oksigen terlarut yang tinggi. Penerapan *microbubble generator porous-venturi* pada kolam air limbah berguna untuk menghasilkan oksigen dalam jumlah banyak dalam bentuk *microbubble*. Ketersediaan oksigen terlarut sangat penting bagi mikroorganisme untuk melangsungkan hidupnya. Oleh karena itu, oksigen terlarut harus lebih besar dari jumlah oksigen yang dibutuhkan. Pengukuran kadar oksigen terlarut dilakukan dengan DO meter dengan mengambil data

setiap 12 jam saat kondisi pompa hidup selama 24 jam. Kemampuan *generator* untuk menghasilkan oksigen terlarut pada kolam air limbah buatan dapat dilihat pada Gambar 6. Setelah proses aerasi dilakukan selama 5 hari, jumlah oksigen terlarut (DO) semakin lama akan semakin naik dengan nilai DO sebesar 0-3,1 mg/L.

Pada hari pertama aerasi, nilai DO masih 0 mg/L kemudian hari kedua sudah mengalami peningkatan dengan nilai DO rata-rata 0,6 mg/L. Hal ini disebabkan kadar oksigen terus bertambah ketika *microbubble generator* tetap dihidupkan selama 24 jam. Peningkatan nilai DO menyebabkan pertambahan jumlah bakteri untuk melakukan aktivitas penguraian air limbah. Suplai oksigen yang semakin bertambah akan mempercepat proses regenerasi bakteri aerob untuk melakukan dekomposisi air limbah.

Namun, DO mengalami penurunan pada hari ketiga jam ke 72 karena bakteri yang semakin banyak pada limbah sehingga kebutuhan oksigen meningkat. Selain itu, perkembangan mikroorganisme lain dalam sistem yang tidak teridentifikasi ikut mengkonsumsi oksigen. Oleh karena itu, nilai oksigen terlarut (DO) yang terukur pada limbah buatan ini menurun. Nilai DO kembali meningkat pada hari keempat dengan rata-rata 2,95 mg/L dan hari kelima dengan rata-rata 3,05 mg/L. Hasil pengukuran DO selama 120 jam menunjukkan pertambahan jumlah *microbubble* dari MBG *porous-venturi* menyebabkan kenaikan nilai DO dari 0 mg/L sampai 3,1 mg/L sehingga kadar oksigen terlarut di air limbah tercukupi. Hal ini dapat dilihat pada grafik yang menunjukkan hubungan linear.

Analisis yang telah dilakukan sebelumnya, menurut Boyd [9], organisme air seperti ikan masih dapat hidup pada kolam dengan nilai DO sebesar 1-5 mg/L. Berdasarkan nilai DO tersebut, oksigen yang dibutuhkan bakteri dalam limbah buatan masih mencukupi. Pada penelitian yang dilakukan oleh Majid dkk [10], konfigurasi 4 *microbubble generator* menghasilkan nilai DO yang tinggi sebesar 3,2 mg/L.



Gambar 6. Nilai DO setelah proses aerasi selama 5 hari

3.4 Chemical Oxygen Demand (COD)

COD digunakan untuk mewakili jumlah senyawa organik terlarut dalam air limbah. Polutan yang tinggi di air ditandai dengan nilai COD yang tinggi. *Microbubble generator porous-venturi* telah diuji pada air limbah buatan yang mampu mengurangi kadar nilai COD yang tinggi setelah dilakukan proses aerasi selama 5 hari.

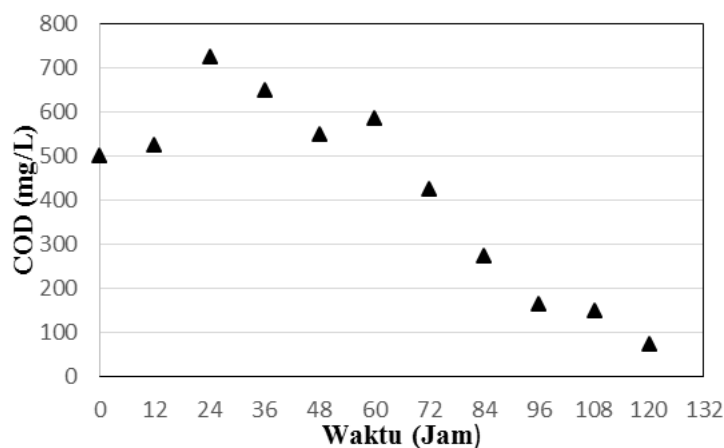
Pada pengukuran awal, nilai COD yang terukur 500 mg/L pada saat pompa baru dihidupkan dan setelah proses aerasi dilakukan selama 24 jam, nilai COD mengalami fluktuasi yang tajam sebesar 725 mg/L. Hal ini disebabkan penambahan makanan bakteri aerob sehingga bakteri dapat memperbanyak biomassa dan memproduksi sejenis senyawa polimer (EPS) ketika merasakan potensi keberadaan permukaan untuk menempel. Senyawa EPS ini akan terbaca sebagai COD. Selain itu, nilai DO yang masih rendah menyebabkan bakteri membutuhkan oksigen tinggi untuk mulai beraktivitas menguraikan air limbah. Pada hari kedua, rata-rata nilai COD 600 mg/L mengalami penurunan karena semakin bertambahnya kadar oksigen terlarut di air ditandai dengan peningkatan nilai rata-rata DO.

Namun pada hari ketiga kembali terjadi fluktuasi pada jam ke 60 dengan nilai COD sebesar 585 mg/L karena adanya bakteri yang tidak dapat bertahan hidup dan terapung dipermukaan air menyebabkan terjadinya sukseksi bakteri. Sukseksi bakteri adalah proses perkembangan bakteri lain menggantikan bakteri yang telah mati. Bakteri tersebut akan mengalami lisis sehingga keluarnya cairan sel yang mengandung

bahan organik ke dalam sistem sehingga akan terakumulasi dalam tempat uji. Hal inilah yang menyebabkan nilai pengukuran COD tinggi.

Hari keempat dan hari kelima rata-rata nilai COD sebesar 220 mg/L dan 112,5 mg/L. Kadar oksigen terlarut dalam air mulai tercukupi sehingga nilai COD semakin lama semakin turun. Hasil penelitian yang telah dilakukan selama 120 jam, nilai COD selama proses aerasi mengalami fluktuasi tetapi cenderung mengalami penurunan sampai di bawah 100 mg/L.

Analisis hasil penelitian sama dengan yang telah diteliti oleh Iriawan dkk [11] *microbubble generator porous-orifice* dengan kombinasi $Q_L=16 \text{ m}^3/\text{h}$ dan $Q_g= 0,045 \text{ m}^3/\text{h}$ menghasilkan rata-rata nilai DO yang tinggi dan mampu mengurangi COD sampai di bawah 100 mg/L



Gambar 7. Nilai COD setelah proses aerasi selama 5 hari

4. Kesimpulan

1. Peningkatan debit air pada semua jarak pengukuran menyebabkan peningkatan terhadap koefisien perpindahan massa (K_{La}). Namun, peningkatan debit gas tidak mempengaruhi secara signifikan. Peningkatan debit air menyebabkan distribusi gelembung dengan diameter kecil lebih banyak dan memiliki kecepatan naik lebih lambat. *Microbubble* ini akan mampu bertahan lebih lama dalam air.
2. Kenaikan *dissolved oxygen* (DO) sebesar 0 mg/L sampai 3,1 mg/L maka akan menyebabkan penurunan *chemical oxygen demand* (COD) setelah proses aerasi dilakukan selama 5 hari dengan menggunakan *microbubble generator porous-venturi*. Penurunan nilai *chemical oxygen demand* (COD) pada air limbah buatan sampai mendekati 100 mg/L.
3. Pengolahan air limbah memanfaatkan teknologi *microbubble generator porous-venturi* mampu mencukupi suplai oksigen yang diperlukan bakteri untuk proses penguraian air limbah. Nilai COD yang semakin berkurang ini disebabkan oleh laju penguraian senyawa organik yang meningkat sehingga efisiensi pengolahan limbah secara aerobik juga meningkat.
4. Pada penelitian selanjutnya dapat menggunakan jenis *microbubble generator* lain yang mampu menghasilkan gelembung dengan diameter yang lebih kecil sehingga dapat diaplikasikan pada air limbah buatan maupun air limbah industri.

Daftar Pustaka

- [1] Parmar, R., Majumder, S.K., *Micro bubble generation and micro bubble-aided transport process intensification—astate-of-the-art report*. 2013. Chem. Eng. Process. Process Intensif. 64, 79–97
- [2] Onhari, H., *Swirling Type Micro-bubble Generating System*, US Patent 7472893 B2.
- [3] M. Sadatomi, A. Kawahara, H. Matsuura, S. Shikatani, *Micro-bubble Generation Rate and Bubble Dissolution Rate into Water by A Simple Multi Fluid Mixer with Orifice and Porous Tube*. 2012. in Experimental Thermal and Fluid Science 41, 23-30.
- [4] Baylar, A., dan Ozkan, F., 2006, *Applications of Venturi Principle to Water Aeration Systems*. 2006. Environmental Fluid Mechanics, vol. 6, 341-357.
- [5] Khirani, S, Guiraud, P., *Microbubble Generation Through Porous Membrane Under Aqueous or Organic Liquid Shear Flow*. 2011. Toulouse University.

-
- [6] Kawahara, A., Sadatomi, M., Matsuyama, F., Matsuura, H., Tominaga, M., Noguchi, M.. Prediction of *microbubble dissolution characteristics in water and seawater*. 2009; Exp. Therm.Fluid Sci. 33, 883–894.
- [7] Nock, W.J., Heaven, S., Banks, C.J., *Mass transfer and gas–liquid interface properties of single CO₂ bubbles rising in tap water*. 2016. Chem. Eng. Sci. 140, 171–178.
- [8] Juwana, WE. *Hydrodynamic characteristics of the microbubble dissolution in liquid using orifice type microbubble generator*. 2019. Chemical Engineering Research and Design. 141: 436–448 .
- [9] Boyd, C. E. *Water Quality in Ponds for Aquaculture*. 1990. Alabama: Birmingham Publishing.
- [10] Majid, A.I., Deendarlianto., Wiratni., Indarto., Enggar., Basokoro., Alva, *Development of an Industrial-Scale Microbubble Generator for the Purposes of Aerobic Waste Water Treatment*. 2016. International Conference on Multiphase Flow. Italy.
- [11] Iriawan, A. G. W., *The Study of Micro-bubble Generator on Aerobic Waste Water Treatment using Bio-ball Method, Based on The Bubbling Generating Condition and The Configuration of Micro-bubble Generator*. 2014. Departemen Teknik Mesin dan Industri, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.