

IMOBILISASI KULTUR CAMPURAN MIKROBA DAN KARAKTERISTIK AKTIFITASNYA DALAM MENURUNKAN ORGANIK DAN AMONIAK PADA LIMBAH CAIR DOMESTIK

IMMOBILIZATION OF MICROBIAL MIX CULTURE AND CHARACTERISTICS OF ITS ACTIVITY IN REDUCING ORGANIC AND AMMONIA IN DOMESTIC LIQUID WASTE

Edwan Kardena¹, Himawan G Prabowo² & Qomarudin Helmy^{2,*}

¹Pusat Penelitian Biosain dan Bioteknologi, Institut Teknologi Bandung

²Program Magister Teknik Lingkungan,

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

Jalan Ganesa No. 10 Bandung 40132

Email: kihelmy@gmail.com

Abstrak. Air limbah domestik yang mengandung senyawa organik dapat berpotensi mencemari lingkungan dan menyebabkan eutrofikasi bila tidak diolah. Salah satu upaya untuk mengurangi kandungan organik dari air limbah adalah dengan menggunakan IPAL yang memanfaatkan proses biologi. Proses biologi dinilai baik karena kandungan organik dari air limbah dapat berguna untuk pertumbuhan mikroba, operasionalnya murah, dan tidak menghasilkan produk sampingan yang berbahaya. Teknologi pengolahan air limbah secara konvensional umumnya menggunakan prinsip pertumbuhan mikroba tersuspensi, adapun perkembangan teknologi pengolahan dewasa ini mengarah pada prinsip pertumbuhan mikroba terlekat, termasuk diantaranya adalah teknologi imobilisasi mikroba. Penggunaan mikroba terimobilisasi ini dinilai memiliki kelebihan yaitu konsentrasi selnya yang tinggi dan mampu berinteraksi dengan lingkungan ekstrim. Pada penelitian ini dibuat imobilisasi mikroba dengan tujuan untuk menurunkan kadar organik dari air limbah domestik, dengan 3 macam variasi penggunaan mikroba terimobilisasi sebanyak 3 g, 6 g, dan 9 g. Hasil penelitian menunjukkan bahwa reaktor dengan mikroba sebanyak 3 g, 6 g, dan 9 g mampu menurunkan kandungan organik COD dengan efisiensi sebesar 81,3%, 87,5%, dan 87,5%; BOD sebesar 83,96%, 93,75%, dan 93,34%; dan amonia sebesar 71,14%, 75,31%, dan 78,29%. Mikroba campuran yang terjebak dalam matriks alginate serta lama penyimpanan matriks tidak berpengaruh nyata terhadap jumlah dan viabilitas sel mikroba.

Kata kunci: alginat, imobilisasi, kultur campuran, limbah domestic, senyawa organik

Abstract. Domestic wastewater that contains organic compounds can potentially pollute the environment and cause eutrophication if not treated. One effort to reduce the organic content of wastewater is to use WWTP which utilizes biological processes. Biological processes are considered good because the organic content of wastewater can be useful for microbial growth, is inexpensive and does not produce harmful byproducts. Conventional wastewater treatment technology generally uses the principle of suspended microbial growth, while the development of treatment technology today leads to the principle of embedded microbial growth, including microbial immobilization technology. The use of immobilized microbes is considered to have advantages, namely high cell concentration and being able to interact with extreme environments. In this study microbial immobilisation was made with the aim of reducing organic content from domestic wastewater, with 3 variations of the use of immobilized microbes of 3 g, 6 g, and 9 g. The results showed that reactors with microbes of 3 g, 6 g and 9 g were able to reduce the organic content of COD with efficiencies of 81.3%, 87.5%, and 87.5%; BOD of 83.96%, 93.75% and 93.34%; and ammonia at 71.14%, 75.31% and 78.29%. Mixed microbes that are trapped in the alginate matrix and the length of storage of the matrix have no significant effect on the number and viability of microbial cells.

Keywords: Alginate, domestic wastewater, immobilization, mixed culture, organic compound

PENDAHULUAN

Pencemaran air merupakan salah satu penyebab polusi dan kerusakan lingkungan. Seperti yang dapat dilihat, saat ini kebanyakan negara berkembang terutama Indonesia memiliki masalah pencemaran air karena kurangnya instalasi pengolahan air limbah atau sistem sewerage untuk pengolahan air limbah. Hasilnya air limbah domestik yang mengandung senyawa organik mengalir ke lingkungan tanpa adanya pengolahan sehingga mempercepat pencemaran air dan berpotensi menimbulkan eutrofikasi (Vandith dkk., 2017; Mujtaba dkk., 2018). Tingginya aktivitas manusia baik dari sektor domestik maupun komersial seperti industri telah mengakibatkan kelangkaan air bersih akibat pencemaran air (Tazkiaturrizki dkk., 2018). Selama ini kebanyakan masyarakat salah mengira bahwa sumber utama pencemar sungai adalah limbah industri, padahal tidak demikian. Berdasarkan identifikasi yang dilakukan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), sumber utama pencemar air sungai di Indonesia sebagian besar berasal dari limbah domestik atau rumah tangga. Air limbah domestik itu di antaranya tinja, bekas air cucian dapur dan kamar mandi, termasuk sampah rumah tangga yang dibuang ke sungai. Parameter penurunan kualitas air tersebut umumnya berdasarkan kandungan *fecal coli*, *total coliform*, BOD (*Biological Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*) dan H₂S yang terdapat di dalam air sungai.

Salah satu kasus yang terjadi akibat air limbah domestik saat ini adalah pencemaran sungai di Kali Sentiong atau Kali Item. Kali Item atau Kali Sentiong, dahulunya bernama Kali Soenter. Kali ini dinamakan Kali Item karena memang warnanya yang hitam dan melalui Perkampungan Sentiong. Kali ini menjadi item hitam diakibatkan adanya penumpukan senyawa organik dan sulfur yang terjadi sejak dahulu. Dahulu, kali ini difungsikan sebagai tempat pembuangan air dari toilet umum yang berada dipinggir kali ini dan berlanjut hingga saat ini dipergunakan untuk pembuangan air limbah rumah tangga, hotel, pasar, rumah sakit, gedung perkantoran, apartemen dan sampah. akibatnya kali item menjadi tercemar dan menimbulkan bau tak sedap dan airnya menghitam.

Baru-baru ini Kali Item menjadi sorotan karena adanya agenda asean games di Jakarta. Wisma atlit yang berada didekat Kali Item diakui dapat mengganggu kenyamanan atlit yang tinggal didalamnya sehingga banyak upaya yang dilakukan pemerintah untuk mengurangi bau dari Kali Item ini. Teknologi canggih pun dikerahkan seperti pemasangan aerator, *nano bubble*, *blower*, dan *surface aerator* disepanjang Kali

Item (Pratama, 2018). Untuk membantu mengurangi bau dari Kali Item, selain dipergunakan teknologi canggih dipergunakan pula mikroba. Sebanyak 2.500 liter cairan mikroba digelontorkan disepanjang kali item oleh keluarga alumni gajah mada DKI Jakarta Peduli Sampah, dengan maksud agar mikroba tersebut memakan zat organik yang terdapat dalam sungai sehingga bau dari sungai dapat berkurang (Velarosdela, 2018).

Cairan mikroba yang coba digelontorkan ke dalam Kali Item dinilai memiliki kelemahan. Mikroba dalam kondisi bebas memiliki kekurangan dalam proses peyisihan senyawa organik di air, yaitu mikroba dapat ikut terbawa oleh aliran air sungai wash-out sehingga densitasnya menjadi berkurang. Selain itu, kemungkinan adanya inhibitor di lingkungan dapat mengganggu pertumbuhan mikroba dan kondisi lingkungan yang relatif berubah bisa membuat mikroba tidak mampu bertahan. Berdasarkan kasus tersebut, peneliti mencoba mencari alternatif lain agar mikroba tetap dapat mereduksi organik tanpa mengurangi performa dari mikroba tersebut. Salah satu cara yang dapat digunakan adalah dengan menjerat mikroba didalam suatu matriks penjerat atau yang dikenal dengan sebutan metode immobilisasi. Metode ini sangat populer dalam penelitian di bidang mikrobiologi. Metode ini digunakan karena sel terimobilisasi mudah dikendalikan, matriksnya stabil, dan tidak toksik (Basyal dkk., 2013).

Imobilisasi sel adalah strategi yang efisien untuk membentuk biofilm buatan pada substrat. Pembentukan biofilm di media / substrat akan mengatasi daya apung biomassa dalam lingkungan yang asin dan menghindari *wash-out* lumpur aktif dari instalasi pengolahan (Kardena dkk., 2018). Sel yang diimobilisasi lebih stabil dalam bioreaktor dari pada dalam keadaan bebas karena imobilisasi ini dapat mencegah lepasnya sel bakteri dari matriks, dapat melakukan interaksi dengan lingkungan yang keras (Khalid dkk., 2018), dapat melakukan transduksi sinyal antar sel, memiliki konsentrasi sel yang lebih tinggi dari pada sel bebas, dan dapat digunakan berulang-ulang dalam proses remediasi sehingga mengurangi biaya penggantian sel-sel yang telah inaktif, menggunakan sel bakteri yang amobil dapat memberikan keuntungan seperti aktivitas metabolisme yang lebih tinggi dan waktu retensi sel yang lebih lama dalam bioreaktor (Kureel dkk., 2017). Sel yang terimobilisasi juga dapat mengurangi masalah penyapuan sel pada tingkat pengenceran yang tinggi dan menyediakan kondisi lingkungan mikro meliputi: kontak antar sel, gradien produk nutrisi, pH gradien yang lebih menguntungkan. Dalam

beberapa kasus, imobilisasi mengembangkan stabilitas genetik sehingga mengurangi terjadinya mutasi.

Penelitian sebelumnya telah membuktikan bila imobilisasi mikroba mampu mendegradasi senyawa organik dengan baik. *Pseudomonas stutzeri* diketahui dapat mereduksi 97 – 100% fosfat pada air limbah artifisial yang lebih kecil dari 1,0 mg/L. Lumpur aktif yang terimobilisasi pada PVA-alginat mereduksi amonium dengan konsentrasi 50-400 mg/L pada air limbah dengan efisiensi antara 48-100% tergantung pada siklus pemakaian (Xu dkk., 2017). Co-imobilisasi *Pseudomona putida* dan *Chlorella vulgaris* tepat digunakan untuk menyisihkan organik untuk *organic loading rate* OLR 1159.2 mg COD L⁻¹d⁻¹ dengan *hydraulic retention time* 24 jam (Shen dkk., 2017). Berdasarkan keuntungan-keuntungan yang telah dipaparkan tersebut, peneliti mencoba meneliti bagaimana karakteristik kemampuan mikroba terimobilisasi untuk mengolah air limbah domestik dalam skala laboratorium.

METODOLOGI

Immobilisasi Kultur Campuran Mikroba dan Karakterisasi

Immobilisasi mikroba dilakukan dengan mencampurkan mikroba pendegradasi limbah domestik campuran dengan variasi (3 g, 6 g, dan 9 g) bersama dengan 8 g natrium alginat dalam 200 ml aquades. Kultur campur mikroba pendegradasi diperoleh dari laboratorium bioteknologi lingkungan, pusat penelitian biosain dan bioteknologi, ITB. Campuran mikroba dan natrium alginat tersebut diteteskan ke dalam larutan CaCl₂ 4% (w/v) dengan menggunakan pipet dengan diameter lubang tip pipet 1 cm. Hasil tetesan kemudian dibiarkan dalam larutan CaCl₂ 4% selama 30 menit untuk mengeraskan alginat. Mikroba yang terimmobilisasi tersebut kemudian dibilas dengan aquades untuk menghilangkan sisa CaCl₂ dan mikroba yang menempel di permukaannya. Mikroba terimmobilisasi ini selanjutnya disimpan di dalam aquades dan didinginkan dalam lemari pendingin 4°C untuk selanjutnya dipergunakan dalam percobaan biodegradasi limbah. Metode imobilisasi kultur campuran mikroba ini mengacu pada metoda yang digunakan oleh Kurniasih dkk. (2013) dan Samuel dkk. (2013). Uji SEM dilakukan untuk mengetahui bakteri yang terjerat dalam *bead* imobilisasi tetap terjerat selama proses uji biodegradasi air limbah. Persiapan *bead* untuk pengamatan SEM dilakukan dengan

merendam *bead* imobilisasi menggunakan larutan metanol 100% selama 24 jam pada suhu (25-27 °C).

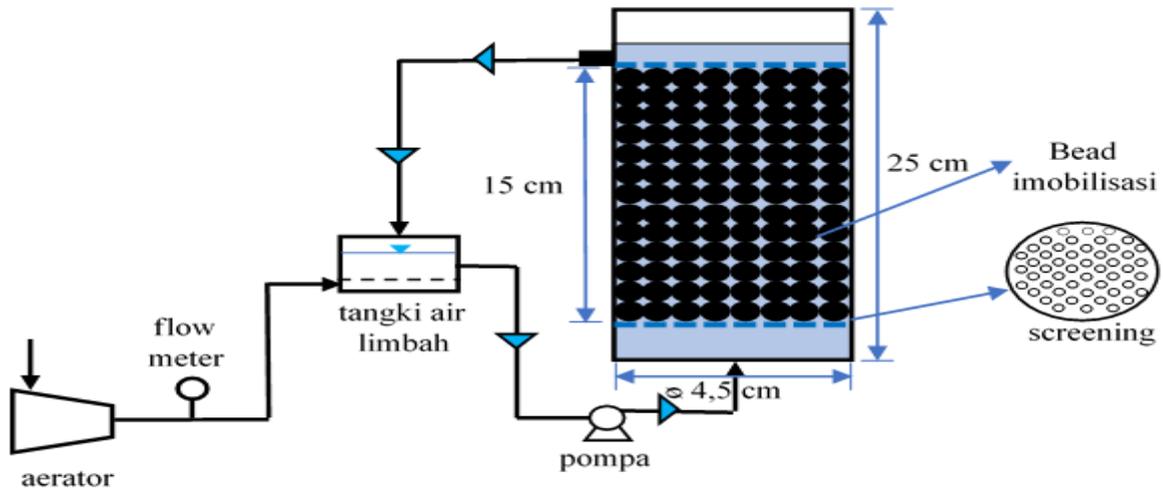
Kemudian *bead* hasil perendaman direndam kembali dalam larutan etanol 100% selama 2x30 menit. Setelah direndam, *bead* dikeringkan di dalam *freeze dryer* (OPERON-55). *Bead* kemudian dilapisi dengan emas sebelum diamati di bawah SEM. Uji SEM dilakukan di Laboratorium *Scanning Electron Microscope* (SEM) Program Studi Geologi dengan menggunakan SEM JEOL JSM-IT300 LA dan di Laboratorium *Scanning Electron Microscope* (SEM) Program Studi FMIPA dengan menggunakan SEM JEOL JSM-6510 LA. Uji viabilitas dilakukan untuk mengetahui mikroba yang terjerat dalam matriks alginat mengalami pertumbuhan atau tidak. Uji viabilitas dilakukan di dalam erlenmeyer 250 ml yang berisi air limbah buatan. Kedalamnya dimasukkan kultur campuran mikroba terimmobilisasi sebanyak 5% (w/v) dan dibiarkan pada suhu ruang (25-27 °C) selama 3 minggu. Viabilitas mikroba di dalam matriks diamati dengan menggunakan metode *Total Plate Count* (TPC) selama 3 minggu dengan pengambilan sampel tiap 1 minggu sekali. Perhitungan koloni sel yang tumbuh dilakukan 1 x 24 masa inkubasi (Pratiwi, 2018).

Limbah Domestik Artifisial

Senyawa organik yang akan disisihkan dalam penelitian ini adalah senyawa organik buatan atau hasil racikan. Racikan yang dibuat diusahakan sedekat mungkin dengan karakteristik limbah cair domestik aslinya. Pembuatan limbah buatan ini dilakukan di laboratorium dengan komposisi NH₄Cl 100 mg, glukosa 500 mg, KH₂PO₄ 15 mg, NaHCO₃ 350 mg, MgSO₄ 17 mg, CaCl₂ 11 mg, NaCl 8 mg, KCl 8 mg, dan FeCl₃ 4 mg dalam satu liter akuades. Metode pembuatan air limbah domestik buatan ini mengacu pada metoda yang digunakan oleh Juntawang dkk. (2017).

Uji Degradasi dan Kinetika Penyisihan Limbah

Pada uji biodegradasi air limbah domestik dipergunakan sistem reaktor *fix bed* dengan sistem resirkulasi seperti pada Gambar 1.



Gambar 1 Skema reaktor percobaan secara *batch* resirkulasi

Pada sistem resirkulasi, penggunaan model *first order* untuk mengetahui kinetika penurunan konsentrasi organik bentuk COD dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 1, 2.

$$\frac{-dC_s}{dt} = k_1 C_s \quad \text{Pers.1}$$

$$\ln \frac{C_s}{C_{s0}} = -k_1 t \quad \text{Pers.2}$$

konstanta *first order* dihitung dari waktu dan $\ln C_s/C_{s0}$ yang kemudian diplotkan pada sumbu x dan y. Model singh merupakan modifikasi dari model *first order* yang dilakukan oleh Singh (Kureel dkk., 2017). Laju degradasi dapat bervariasi tergantung dari sifat alami substrat yang kemudian dapat mengubah proses pengolahan baik secara kualitatif maupun kuantitatif terhadap waktu, persamaan 3.

$$\frac{-dC_s}{dt} = \frac{k_{si} C_s}{1+t} \quad \text{Pers.3}$$

$$\ln \frac{C_s}{C_{s0}} = -k_{si} \ln 1 + t \quad \text{Pers.4}$$

Dimana k_{si} = Laju penyisihan dari model singh yang dapat dihitung dari slope persamaan garis lurus yang didapat dari plot $\ln C_s/C_{s0}$ terhadap $\ln 1+t$. Laju penyisihan substrat dengan mengikuti persamaan reaksi orde dua menyatakan bila laju penyisihan tidak

tergantung pada konsentrasi mikroba melainkan hanya pada pangkat dua dari substrat. Secara matematis ditunjukkan oleh persamaan 5.

$$\frac{dC_s}{dt} = -k_1 C_s^2 \quad \text{Pers.5}$$

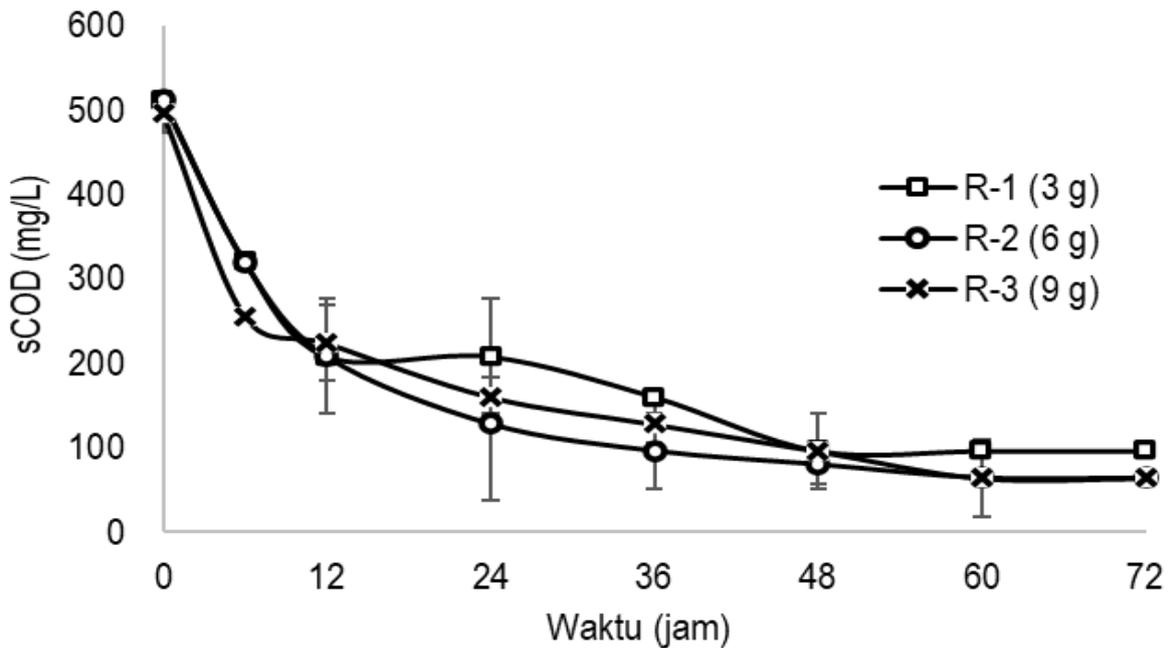
$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_{s0}} - k_1 t \quad \text{Pers.6}$$

Jika diplotkan ke dalam grafik antara $1/C_s$ dengan t maka akan diperoleh garis linier dengan slope yang merupakan nilai k .

HASIL DAN PEMBAHASAN

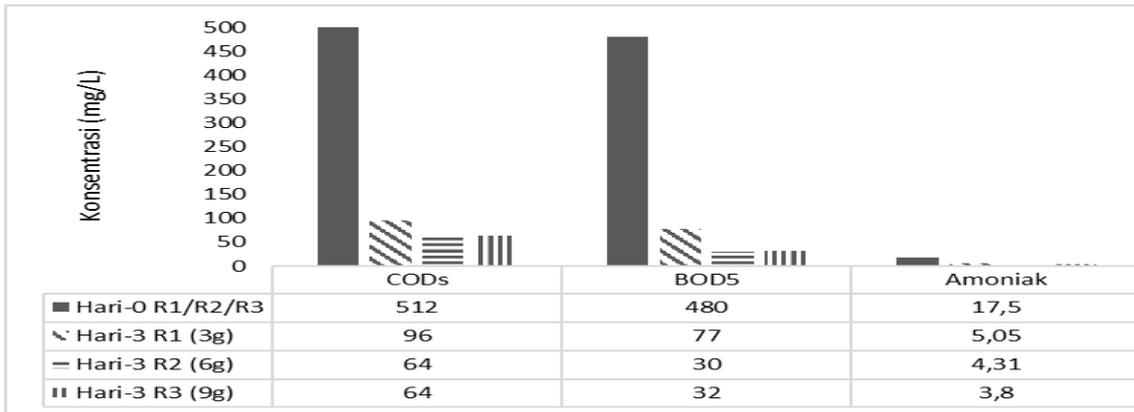
Immobilisasi sel mikroba pada percobaan ini dilakukan dengan menjerat mikroba campuran pada matriks alginat. Banyaknya lumpur mikroba yang dipergunakan antara lain adalah 3g, 6g dan 9g MLSS. Dari campuran ini diperoleh kepadatan mikroba yaitu sebesar $15 \pm 1,67$ mg/*bead*, $30 \pm 1,57$ mg/*bead*, dan $45 \pm 1,19$ mg/*bead* MLSS untuk masing-masing jumlah lumpur mikroba yang dipergunakan. Proses gelatinisasi natrium alginat terjadi akibat dari pertukaran kation monovalen natrium dengan kation divalen kalsium yang bereaksi dengan anion monovalen karboksilat dari alginat. Ketika ion kalsium dan alginat bereaksi, gelatinisasi akan terjadi pada permukaan matriks alginat dan dilanjutkan ke bagian dalam matriks melalui proses difusi (Mahbubillah dan Shovitri, 2013). *Bead* alginat berbentuk bulat dan berwarna hitam. Jumlah *bead* yang dihasilkan rata-rata 190 buah dengan ukuran diameter 1 cm.

Uji biodegradasi reaktor *batch*-resirkulasi dilakukan dengan 3 variasi percobaan reaktor dengan imobilisasi yang mengandung 3 g mikroba (Reaktor-1/R-1); 6 g mikroba (Reaktor-2/R-2), serta 9 g mikroba (Reaktor-3/R-3). Hasil uji biodegradasi limbah buatan pada reaktor *batch*-resirkulasi dengan menggunakan immobilisasi sel, diperoleh hasil seperti pada Gambar 2. Konsentrasi COD terlarut yang terukur dari air limbah buatan adalah 512 mg/L. Konsentrasi ini mendekati konsentrasi campuran limbah cair domestik (*blackwater* dan *greywater*) yang memiliki konsentrasi antara 250-800 mg/L.



Gambar 2 Hasil penyisihan limbah domestik dengan bioreaktor *batch* resirkulasi

Penyisihan yang dihasilkan dari penggunaan imobilisasi 3 g mikroba (R-1) menghasilkan penyisihan COD sebesar 81,3%. Sementara bila menggunakan imobilisasi 6 g mikroba (R-2) diperoleh penyisihan COD sebesar 87,5% begitu pula dengan penggunaan imobilisasi 9 g mikroba (R-3) diperoleh hasil penyisihan sebesar 87,5%. Penggunaan mikroba yang semakin banyak ternyata tidak membuat hasil penyisihan COD semakin baik. Matriks alginat memiliki batas kemampuan tertentu untuk dapat menampung biomassa mikroba yang diberikan. Semakin banyak mikroba yang dipergunakan dapat menutupi pori-pori pada matriks sehingga menghambat proses difusi substrat ke dalam matriks. Akibatnya substrat tidak mampu menyentuh mikroba yang berada dalam matriks. Selain itu, luas permukaan menjadi berkurang karena ditempati oleh sel mikroba yang seharusnya menjadi jalur difusi substrat dan hasil metabolisme. Oleh karena itu, sedikitnya biomassa yang dipergunakan akan memberikan penyisihan yang lebih baik karena lebih banyak pori yang tidak terhalang dan luas permukaan yang lebih besar untuk melakukan biodegradasi (Lin dkk., 2013; Tsai dkk., 2013).

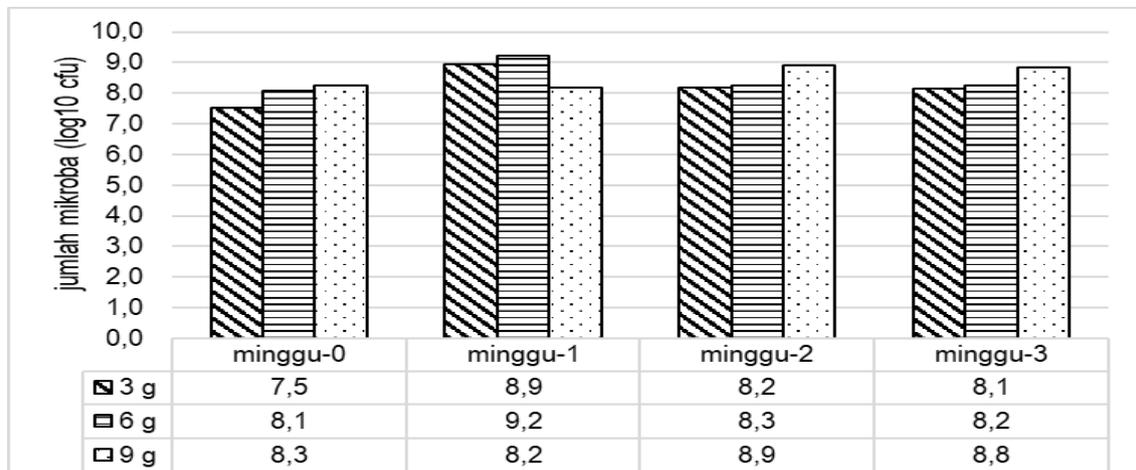


Gambar 3 Hasil penyisihan organik dan amoniak bioreaktor *batch* resirkulasi

Gambar 3 menunjukkan hasil dari penyisihan organik (COD, BOD) dan amoniak selama 3 hari dengan menggunakan variasi jumlah pada reaktor. BOD dan COD turun mengindikasikan bahwa air limbah ini didominasi oleh senyawa yang biodegradable dilihat dari perbandingan BOD/COD yang menghasilkan nilai 0,938 yang berarti air limbah cocok untuk diolah dengan menggunakan pengolahan biologis. Seperti yang telah diutarakan sebelumnya bahwa senyawa organik akan dipergunakan oleh mikroorganisme untuk tumbuh dan bereproduksi maka hal ini pula yang mengakibatkan hasil pengukuran COD dan BOD mengalami penurunan. Hasil dari proses *batch*-resirkulasi selama 3 hari, diperoleh penurunan COD sebesar 81,3% untuk reaktor-1, 87,5% untuk reaktor-2, dan 87,5% untuk reaktor-3. Selain penurunan COD, terpantau juga penurunan BOD sebesar 83,96% untuk reaktor-1, 93,75% untuk reaktor-2, dan 93,34% untuk reaktor-3. Selain parameter COD dan BOD diukur pula parameter amoniak sebagai salah satu parameter kunci dalam air limbah domestik. Hasilnya terjadi penurunan sebesar 71,14% untuk reaktor-1, 75,31% untuk reaktor-2, dan 78,29% untuk reaktor-3.

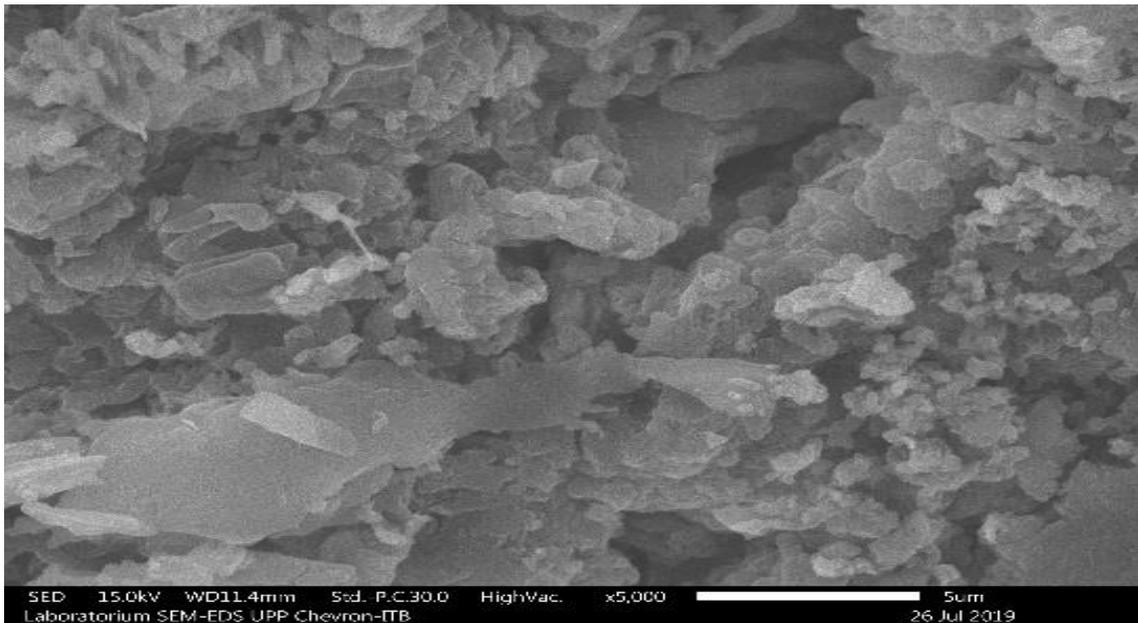
Viabilitas dari mikroba yang terimobilisasi dapat dilihat dari kemampuan mikroba untuk dapat bertahan hidup pada media penjeratnya. Uji viabilitas ini dilakukan pada suhu ruang 25-28 °C selama 3 minggu dengan menghitung sel yang hidup menggunakan metode TPC. Hasil viabilitas menunjukkan adanya pertumbuhan pada *bead* immobilisasi mikroba seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Hingga minggu ketiga, mikroba yang terjerat masih banyak yang dapat bertahan hidup, hal ini dimungkinkan karena matriks alginat mampu menjaga kondisi lingkungan tetap stabil sehingga pertumbuhan mikroba tidak banyak dipengaruhi oleh lingkungannya. Mikroba yang terjerat dalam matriks dapat

meningkatkan efisiensi kerja mikroorganismenya dan mempertahankan serta melindungi mikroorganismenya dari pengaruh lingkungan yang tidak menguntungkan bagi mikroorganismenya tersebut (Fleming, 2004).

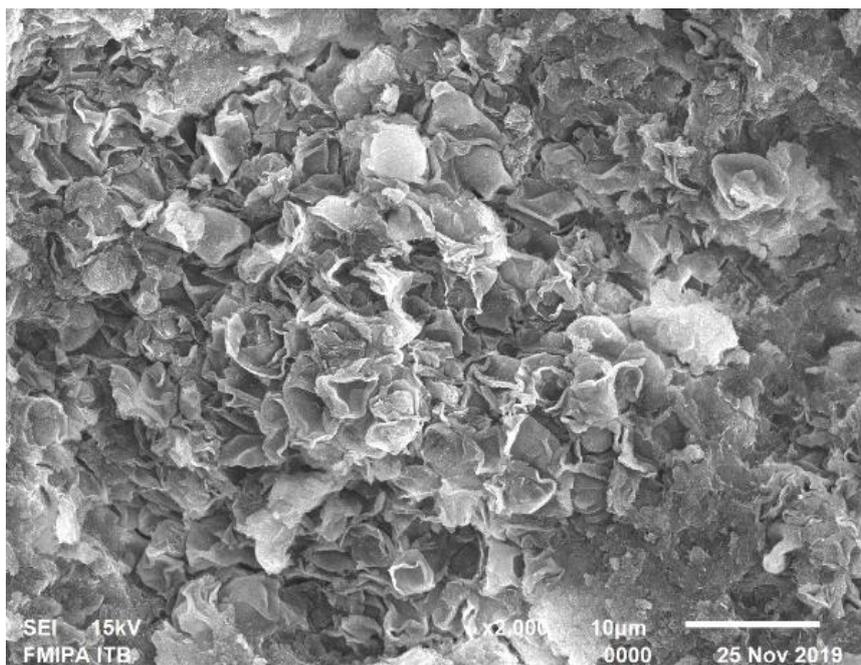


Gambar 4. Uji viabilitas mikroba pada *bead*/matriks immobilisasi

Hasil dari citra SEM memperlihatkan bagian dalam dari permukaan *bead* pada perbesaran 2000x yang rapat dan nampak seperti tak berpori (Gambar 5) karena masih belum adanya reaksi yang mengganggu kestabilan dari *bead*. Namun setelah proses biodegradasi berlangsung, bagian dalam dari *bead* yang diamati dengan perbesaran 2000x tampak adanya pori-pori yang semakin banyak dari *bead* sebelum proses biodegradasi berlangsung (Gambar 6). Hal ini menunjukkan bahwa proses pengolahan yang terjadi pada *bead* ini melalui mekanisme proses difusi. Air limbah masuk melalui pori-pori *bead* bertemu dengan mikroba dan terjadi proses biodegradasi oleh mikroba. Selain itu, dapat dikatakan bahwa selama proses degradasi terjadi pula reaksi di dalam *bead* yang mengakibatkan kerapatan dari *bead* menjadi berkurang yang ditunjukkan dengan semakin banyaknya lubang pori yang dihasilkan setelah proses. Selama proses biodegradasi berlangsung, *bead* akan mengakumulasi metabolit dari metabolisme sel sehingga akan menghasilkan asam yang menyebabkan adanya penurunan pH. Dengan adanya asam tersebut akan berdampak pada tersubstitusinya H^+ ke Ca^{2+} sehingga membuat matriks gel Ca-alginate terdegradasi dan menjadi lebih longgar membuat sejumlah sel mikroba menjadi terlepas dari dalam matriks Ca-alginat (Krasaekoopt dkk., 2003).



Gambar 5. Bagian dalam *bead* immobilisasi mikroba pada perbesaran 2000x (sebelum)



Gambar 6. Bagian dalam *bead* immobilisasi mikroba pada perbesaran 2000x (setelah)

Pada penentuan kinetika penyisihan substrat, dipergunakan model pendekatan *first order*, model Singh, dan second order seperti pada Tabel 1. Pada ketiga model yang diujikan untuk melihat kesesuaian proses yang terjadi selama biodegradasi dapat dimodelkan oleh model kinetika Singh. Model kinetika ini memberikan nilai k yang cukup besar dan

memberikan nilai koefisien determinasi mendekati angka satu yang berarti penggunaan model ini dapat mendekati reaksi yang terjadi didalam bioreaktor yang digunakan.

Tabel 1. Hasil persamaan model kinetika untuk reaktor resirkulasi

Model kinetika	Reaktor	Persamaan	R2	K1
Orde satu	R1/3g	$Y=-0,0219x-0,3497$	0,8704	0,0219
	R2/6g	$Y=-0,0278x-0,41$	0,8832	0,0278
	R3/9g	$Y=-0,0262x-0,3644$	0,9322	0,0262
Singh	R1/3g	$Y=-0,4111x+0,1575$	0,9137	0,4111
	R2/6g	$Y=-0,5254x+0,2465$	0,9443	0,5254
	R3/9g	$Y=-0,4762x+0,1968$	0,9186	0,4762
Orde dua	R1/3g	$Y=0,0001x+0,0025$	0,9163	0,0001
	R2/6g	$Y=0,0002x+0,0024$	0,9787	0,0002
	R3/9g	$Y=0,0002x+0,0002$	0,9633	0,0002

KESIMPULAN

Proses penyisihan kandungan organik dari air limbah dengan menggunakan imobilisasi kultur campuran dalam matriks alginat dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya penggunaan jumlah mikroba yang diimobilisasi. Hasilnya pada reaktor-1 (imobilisasi 3 g mikroba), reaktor-2 (imobilisasi 6 g mikroba), dan reaktor-3 (imobilisasi 9 g mikroba) mampu menurunkan COD air limbah domestik dengan konsentrasi awal 512 mg/L, sebesar 81,3%, 87,5%, dan 87,5% dengan menggunakan reaktor *batch*-resirkulasi. Selain penurunan COD, terjadi penurunan pada BOD dengan konsentrasi awal 480 mg/L, sebesar 83,96%, 93,75%, dan 93,34%. Sementara untuk Amoniak dengan konsentrasi awal 17,5 mg/L mampu direduksi sebanyak 71,14%, 75,31%, dan 78,29%. Untuk menggambarkan proses yang terjadi dalam reaktor *batch*-resirkulasi model kinetika Singh memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan model *first order* dan *second order* dengan nilai koefisien saturasi (k) sebesar k1 (3 g) = 0,4111, k1 (6 g) = 0,5254, dan k1 (9 g) = 0,4762.

DAFTAR PUSTAKA

- Basyal, K., Arouguz, A.Z., Adiguel, Z., Baysal, B.M. 2013: Chitosan/alginate crosslinked hydrogels: Preparation characterization and application for cell growth purposes, *International Journal of Biological Macromolecules*, 59,342-348
- Fleming, D. L. 2004: Evaluating bacterial cell immobilization matrices for use n a biosensor. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia USA.
- Juntawang, C., Rongsayamanont, C., dan Khan, E. 2017: Fouling characterization in entrapped cells-based-membrane bioreactor treating wastewater. *Separation and Purification Technology*, 175, 321-329.
- Kardena, E., Helmy, Q., Ridhati, S.L. 2018: Molecular imprinted hydrogel polymer MIHP as microbial immobilization media in artificial produced water treatment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 106.012088.
- Khalid, S., Han, J., Hashmi, I., Hasnain, G., Ahmed, M.A., Khan, S.J., dan Arshad, M. 2018: Strengthening calcium alginate microspheres using polysulfone and its performance evaluation: Preparation, characterization and application for enchanced biodegradation of chlorpyrifos. *Science of the Total Environment*. 631-632:1046-1058.
- Krasaekoopt, W., Bhandari, B., Deeth, H. (2003): Evaluation of encapsulation techniques of probiotic for yogurt. *Int. Dairy J.* 13:3-13.
- Kureel, M.K., Geed, S.R., Giri, B.S., dan Singh, R.S. 2017: Biodegradation and kinetic study of benzene in bioreactor packed with PUF and alginate *beads* and immobilized with *Bacillus* sp M3, *Bioresource Technology*, 242, 92-100.
- Kurniasih, Ariesyady, H.D., Sulaeman, A., dan Kardena, E. (2013): Biosorption of chromium (VI) using immobilized algal-bloom biomass: kinetic and equilibrium studies. *International Journal of Environmental and Resources*, Volume 2 Issues 1. 25-31.
- Lin, H., Zuliang, C., Chen, C.M., Naidu, R. 2013: Biodegradation of TNT using *Bacillus mycoides* immobilized in PVA–sodium alginate–kaolin. *Appl. Clay Sci.* 83–84,336–342.
- Mahbubillah, M.A. dan Sovitri, M. 2013: Imobilisasi sel *Bacillus* S1 dengan matriks alginat untuk proses reduksi merkuri. *Jurnal Sains dan Seni. FMIPA, ITS, Surabaya*.
- Mujtaba, G., Rizwan, M., Kim, G., dan Lee, K. 2018: Removal of nutrients and COD through co-culturing activated sludge and immobilized *Chlorella vulgaris*, *Chemical Engineering Journal*, 343, 155-162
- Pratiwi, D. (2018): Viabilitas bakteri dari air limbah ayam potong yang dienkapsulasi dalam natrium alginat dan potensinya dalam mendegradasi pestisida berbahan aktif karbofuran. *Skripsi, Biologi, FMIPA USU. Medan, Januari*.
- Samuel, J., Mrudula, P., Madora, L. P., Arun, M., Natarajan, C., dan Amitava, M. (2013) : Batch and continuous flow studies of adsorptive removal of Cr (VI) by adapted bacterial consortia immobilized in alginate beads. *Bioresource Technology*, 128, 423-430.
- Shen, Y., Gao, J., dan Li, L. 2017: Municipal wastewater treatment via co-immobilized microalgal-bacterial symbiosis: Microorganism growth and nutrients removal. *Bioresource Technology*. 243, 905-913.

- Tazkiaturrizki, T., Soewondo, P., Handajani, M. 2018: Nitrogen removal on recycling water process of wastewater treatment plant effluent using subsurface horizontal wetland with continuous feed. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 106, 012078.
- Tsai, S.L., Lin, C.W., Wu, C.H., Shen, C.M. 2013: Kinetics of xenobiotic biodegradation by the *Pseudomonas* sp. YATO411 strain in suspension and cell-immobilized *beads*. J. Taiwan Inst. Chem. Eng. 44, 303–309.
- Vandith, V., Setiyawan, A.S., Soewondo, P., Bophann, P., Hardjono. 2017: Kinetics of nutrient removal in an on-site domestic wastewater treatment facility, MATEC web of Conferences. 147.04004.
- Velarosdela, R.N. 2018: <https://www.tribunnews.com/metropolitan/2018/07/30/penjelasan-kenapa-penyemprotan-cairan-mikroba-dinilai-efektif-hilangkan-bau-di-kali-item>
- Xu, X., Jin, Z., Wang, B., Lv, C., Hu, B., dan Shi, D. 2017 Treatment of high-strength ammonium wastewater by polyvinyl alcohol-sodium alginate immobilization of activated sludge. Process Biochemistry. 63, 214-220.