

PENGARUH BEBAN INFLUEN TERHADAP PERFORMA PENGOLAHAN AIR LIMBAH DOMESTIK MENGGUNAKAN FIXED BED SYSTEM DENGAN MEDIA PENUNJANG PVC SARANG TAWON

MIFTAHIR RIZKA^{1*}, MHD. FAUZI², PRAYATNI SOEWONDO³, MARISA
HANDJANI⁴, TEDDY TEDJAKUSUMA⁵

Magister Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 40132, Indonesia

Doktoral Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 40132, Indonesia

Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 40132, Indonesia

Email*: rizkamiftahir@gmail.com

ABSTRAK

Fixed Bed System merupakan teknologi yang efektif dalam menyisihkan polutan yang media PVC sarang tawon sebagai tempat terlekatnya biofilm. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat bagaimana penyisihan organik dan nutrisi serta kinetika penyisihan substrat dari reaktor ini yang dioperasikan secara anoksik dengan sistem batch. Sistem anoksik dirancang dengan kandungan oksigen terlarut sekecil mungkin hingga mendekati nol. Air limbah yang digunakan adalah air limbah domestik artifisial dimana sumber karbon, nitrogen, dan fosfor berasal dari senyawa $C_6H_{12}O_6$, NH_4Cl , dan KH_2PO_4 . Terdapat variasi konsentrasi influen yang masuk yaitu 300, 400, 500, 600, dan 700 mg/L. Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan bahwa fixed bed system dengan proses anoxic dapat menyisihkan organik dan nutrisi dengan baik. Efisiensi penyisihan COD adalah $84,75 \pm 0,6\%$, ammonia $53,21 \pm 0,5\%$, nitrit $55,46 \pm 0,7\%$, nitrat $91,28 \pm 0,5\%$, NTK $57,34 \pm 0,7\%$, N organik $68,49 \pm 0,5\%$, TN $57,79 \pm 0,7\%$, dan TP $72,28 \pm 0,5\%$. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa efisiensi penyisihan terbesar untuk reaktor anoksik adalah penyisihan nitrat. Kinetika penyisihan yang terpilih adalah kinetika orde pertama dengan k_1 adalah $0,249 \pm 0,02/\text{jam}$. Nilai kinetika yang didapatkan telah mendekati efisiensi penyisihan per jam sebelum steady state dibandingkan dua model lainnya.

Kata kunci: air limbah domestik artifisial, anoxic fixed bed system, media PVC sarang tawon, variasi konsentrasi influen

ABSTRACT

Fixed Bed System is an effective technology in removing pollutants uses honeycomb PVC media as a place where the biofilm is attached. The purpose of this study was to see how the organic and nutrient allowance and substrate allowance kinetics of this reactor were anoxically operated with a batch system. Anoxic systems are designed with the smallest possible dissolved oxygen content to close to zero. The wastewater used is artificial domestic wastewater whose source of carbon, nitrogen, and phosphorus comes from $C_6H_{12}O_6$, NH_4Cl , dan KH_2PO_4 compounds. There are variations in the concentration of incoming influents, namely 300, 400, 500, 600, and 700 mg/L. Based on the results of the study, it was found that the fixed bed system with the anoxic process can set aside organic and nutrients well. The COD efficiency is $84.75 \pm 0.6\%$, ammonia $53.21 \pm 0.5\%$, nitrite $55.46 \pm 0.7\%$, nitrate $91.28 \pm 0.5\%$, NTK $57.34 \pm 0.7\%$, organic N $68.49 \pm 0.5\%$, TN $57.79 \pm 0.7\%$, and TP $72.28 \pm 0.5\%$. From these results, it can be seen that the largest allowance efficiency for anoxic reactors is nitrate allowance. The selected preliminary kinetics are first-order kinetics with k_1 is $0.249 \pm 0.02/\text{hour}$. The kinetic values obtained are closer to the efficiency of the hourly allowance before the steady state compared to the other two models.

Keywords: anoxic fixed bed system, artificial domestic wastewater, honeycomb PVC media, influent concentration variation

1. PENDAHULUAN

Limbah domestik merupakan limbah dengan penyumbang pencemaran air baik sungai dan air tanah yang sangat tinggi saat ini (Widyarani dkk., 2022). Menurut data dari *Citarum Coordination and Management Unit Program* pada tahun 2010, beban organik yang berasal dari limbah domestik merupakan polutan terbesar yang saat ini ada dan akan terus bertambah setiap tahunnya di sungai kota-kota besar di Indonesia, dimana mencapai 60% (Arifin, 2013 dalam Harahap dkk., 2021).

Pada negara berkembang seperti di Indonesia, belum ada kewajiban bagi rumah tangga untuk mengolah limbah domestik (*grey water*) yang dihasilkannya. Selain itu, pengelolaan air limbah di Indonesia biasanya menempati prioritas yang rendah atau umumnya kurang memadai dan tidak dikelola dengan baik karena keterbatasan dana dan kompetisi dengan sektor pembangunan yang lain. Dimana, saat ini hanya 12 dari 514 kota di Indonesia yang memiliki sistem tersebut yang dimana cakupannya pun hanya sekitar 0,1 – 39% dari total volume air limbah domestik (Harahap dkk., 2021). Oleh karena itu, dibutuhkan teknologi penyisihan yang efektif menyisihkan polutan, murah, pengoperasiannya sederhana, dan mudah diterapkan untuk skala yang kecil.

Teknologi *fixed bed system* yang digunakan pada penelitian ini menggunakan media *inert* PVC sarang tawon yang akan mendukung pertumbuhan mikroorganisme yang melekat pada permukaan dan di dalam struktur pori media. Media ini memiliki luas permukaan spesifik yang besar sekitar $150 \text{ m}^2/\text{m}^3$, sehingga dapat melekatkan mikroorganisme dalam jumlah yang banyak dan dapat menyisihkan senyawa polutan dengan baik (Said dan Ruliasih, 2005; Sali dkk., 2018). Selain itu media yang digunakan relatif murah, stabil pada kondisi asam dan basa, serta bersifat cenderung hidrofilik. Penggunaan media PVC sarang tawon ini juga dapat menyisihkan senyawa organik dan nutrisi dengan baik, dimana dapat menurunkan COD sekitar 75,6 – 93,56%, BOD antara 72,6 – 91,36% (Cahyani, dkk., 2024), ammonia mencapai 85,8%, nitrit mencapai 97,23% (Sali dkk., 2018).

Berdasarkan beberapa hasil penelitian di atas, penelitian ini dilakukan untuk melihat bagaimana kinerja *fixed bed system* tersebut terhadap beban influen air limbah yang berbeda dengan reaktor anoksik. Beban influen yang akan digunakan bervariasi, yaitu konsentrasi 300, 400, 500, 600, dan 700 mg/L. Adanya variasi beban influen ini bertujuan untuk melihat bagaimana efisiensi penyisihan organik maupun nutrisi (amonia, nitrit, nitrat, total nitrogen, dan total fosfat). Diharapkan penelitian ini dapat dijadikan referensi atau rekomendasi untuk dapat diterapkan untuk pengolahan limbah domestik skala kecil di Indonesia.

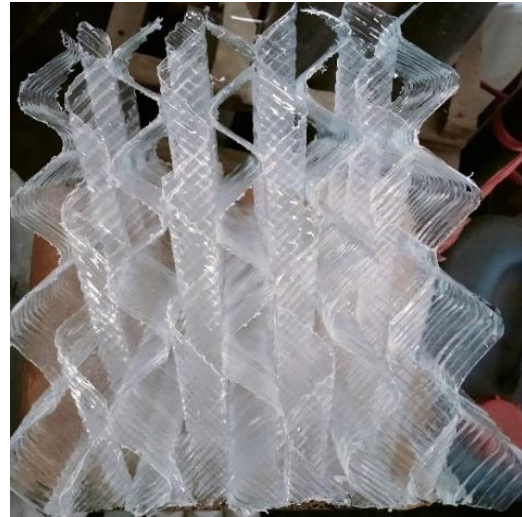
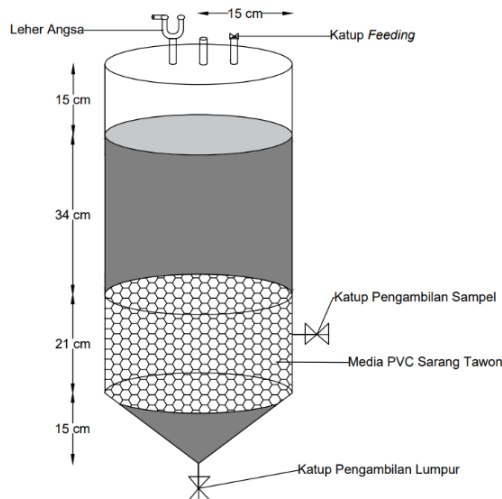
2. METODE

Penelitian “Pengaruh Ketersediaan Oksigen terhadap Performa Pengolahan Air Limbah Domestik Menggunakan Fixed Film System dengan Media Penunjang PVC Sarang Tawon” merupakan penelitian yang menggunakan jenis penelitian kuantitatif dengan pendekatan eksperimental (laboratorium) dan kualitatif.

Persiapan Reaktor dan Media Penunjang

Penelitian ini menggunakan reaktor *fixed bed* anoksik dengan sistem aliran batch yang terbuat dari akrilik, memiliki volume 49 liter dengan diameter 30 cm dan tinggi 85 cm. Reaktor dilengkapi dengan *blower* untuk mencampurkan substrat dan lumpur dengan baik

sehingga mikroorganisme dapat melekat pada media membentuk *biofilm*. Media penunjang yang digunakan yaitu polimer PVC yang berbentuk sarang tawon yang memiliki dimensi panjang, lebar, dan tinggi yaitu 25 x 20 x 28 cm. Media ini disusun di dasar reaktor dengan *filling ratio* 30% dari volume reaktor dan memiliki *specific surface area* sekitar 250 m²/m³. Bentuk reaktor dan media penunjang sarang tawon bahan PVC dapat dilihat pada Gambar 1.



Reaktor Fixed Bed System dengan Proses Anoxic

Media Penunjang PVC Sarang Tawon

Gambar 1. Ilustrasi Model Reaktor dari Teknologi Fixed-Bed System Anoksik dan Media PVC Sarang Tawon

Seeding

Seeding merupakan proses untuk mengembangbiakkan mikroorganisme agar didapatkan jumlah yang sesuai dengan kebutuhan. Proses ini bertujuan untuk memperbanyak jumlah mikroorganisme yang akan digunakan dalam proses pengolahan limbah. Selama proses ini berlangsung, parameter yang perlu diamati adalah peningkatan nilai VSS (*Volatile Suspended Solid*) yang menunjukkan banyaknya biomassa yang berada dalam effluen dan penurunan nilai COD (*Chemical Oxygen Demand*). Saat proses seeding berlangsung, ketika konsentrasi COD rendah biakan dapat diberikan nutrisi tambahan berupa karbon (C) dari gula (dextrose), nitrogen (N) dari NH₄Cl, dan fosfat (P) dari KH₂PO₄. Rasio nutrisi yang dipilih pada tahap ini adalah 100:5:1 (Tchobanoglous dkk, 2014). Parameter pertumbuhan bakteri diukur setiap hari sampai jumlah bakteri mencapai 2000 – 4000 mg/L (Tchobanoglous dkk., 2014). Sumber untuk *seeding* berasal dari salah satu *sludge* yang berasal dari reaktor sedimentasi IPAL komunal yang ada di Bandung dan diambil saat dengan cara ditampung saat proses pengurasan lumpur pada IPAL tersebut.

Pengoperasian Reaktor Fixed Bed System di Laboratorium

Pengoperasian reaktor dilakukan secara *batch* dengan mengalirkan air limbah domestik artifisial ke dalam reaktor. Limbah artifisial dibuat dari C₆H₁₂O₆, NH₄Cl, dan KH₂PO₄ untuk masing-masing sumber C, N, dan P dengan perbandingan masing-masing 100:5:1 (Tchobanoglous dkk, 1991). Pada penelitian ini juga membandingkan variasi beban COD yang masuk yaitu 300, 400, 500, 600, dan 700 mg/L. Polutan yang akan diukur adalah COD, Amoniak, Nitrit, Nitrat, NTK, TN, N organik, dan TP. Selama pengoperasian reaktor, dilakukan pengontrolan dengan melihat pembentukan VSS (terlekat dan tersuspensi), pH, suhu, dan DO (*Dissolve Oxygen*). Untuk pH dan suhu harus dijaga dalam kondisi optimum

yaitu 6,5 – 7,5 dan 25 – 27°C (Tchobanoglous dkk., 2014). Sedangkan DO tetap dijaga di bawah 0,2 mg/L agar kondisi anoksik pada reaktor tetap terjaga. Proses *sampling* data konsentrasi polutan dilakukan setiap jam sampai konsentrasi COD dalam keadaan tunak (fluktuasi <10%) untuk melihat waktu optimum penyisihan polutan. (Trnovec dan Britz, 1998 dalam Somasiri dkk., 2008).

Analisis parameter dilakukan setiap jam untuk pengukuran organik (COD) dan saat COD mengalami *steady state* untuk pengukuran nutrisi. Metode analisis parameter polutan yang digunakan berdasarkan acuan *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*.

Kinetika Penyisihan Substrat

Kinetika penyisihan substrat menggunakan model kinetika pertama, *singh*, dan orde kedua Grau. Model kinetika orde pertama merupakan model kinetika yang umum digunakan Proses penyisihan polutan yang spesifik bergantung pada karakteristik air limbah, koloni biomassa, serta karakteristik dan kedalaman media dalam reaktor. Persamaan kinetika yang digunakan adalah (Eckenfelder, 1970):

$$C_t/C_0 = e^{-k \cdot t} \quad (1)$$

$$\ln\left(\frac{C_t}{C_0}\right) = k \cdot t \quad (2)$$

Model kinetika *Singh* merupakan model kinetika yang dimodifikasi dari kinetika orde pertama yang ditemukan oleh Singh (Kureel dkk., 2017 dalam Fauzi dkk., 2023). Persamaannya adalah sebagai berikut.

$$\frac{-dC_t}{dt} = \frac{k_{si} \cdot C_t}{1+t} \quad (3)$$

$$\ln \frac{C_t}{C_0} = -k_{si} \cdot \ln 1 + t \quad (4)$$

Model kinetika orde kedua ini juga sering digunakan untuk menentukan laju kinetika (Grau dkk., 1975; Optaken, 1982 dalam Borghei dkk., 2008). Pada model ini, laju penyisihan substrat tidak tergantung pada konsentrasi mikroorganisme melainkan hanya dari konsentrasi substrat yang dapat dilihat pada persamaan berikut ini (Fauzi dkk., 2023). Persamaan model kinetika orde kedua *Grau* dapat dilihat pada persamaan berikut ini (Borghei dkk., 2008; Ahmadi dkk., 2019).

$$-\frac{dC_t}{dt} = k_2 \cdot X \cdot \left(\frac{C_t}{C_0}\right) \quad (5)$$

Dengan mengintegrasikan persamaan di atas, maka didapatkan persamaan berikut ini.

$$\frac{C_0 \cdot t}{C_0 - C_t} = t - \frac{C_0}{K_2 X} \quad (6)$$

$$\frac{1}{C_t} = \frac{1}{C_0} - k_2 \cdot t \quad (7)$$

dengan:

μ = laju pertumbuhan spesifik (hari⁻¹)

s = konsentrasi substrat (mg/L)

K_s = konstanta setengah saturasi, konsentrasi substrat pada setengah laju maksimum

C_t = konsentrasi effluent setelah waktu kontak t (massa/volume)

C_0 = konsentrasi influent (massa/volume)

k = koefisien reaksi orde pertama (hari^{-1})

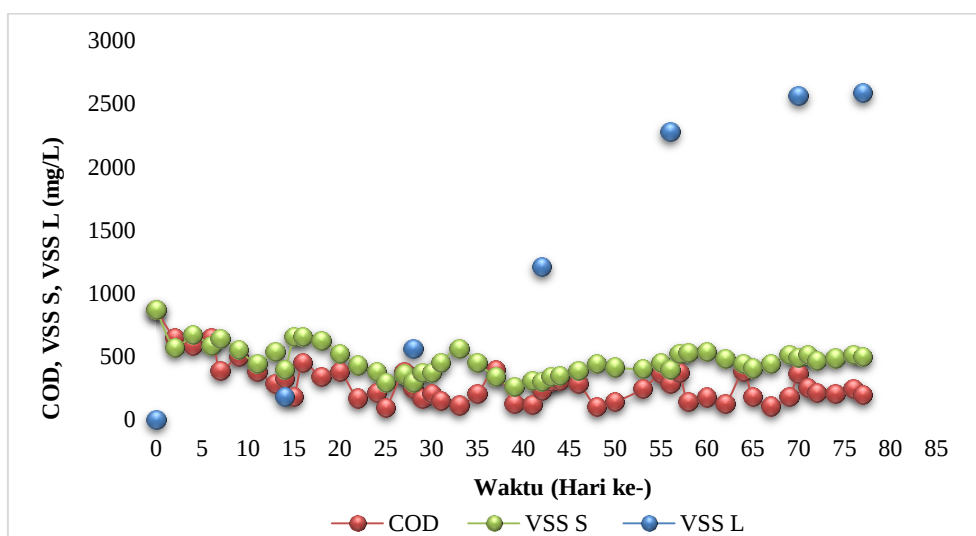
k_{si} = laju penyisihan model *Singh* (hari^{-1})

k_2 = laju penyisihan model *Grau* (hari^{-1})

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Seeding

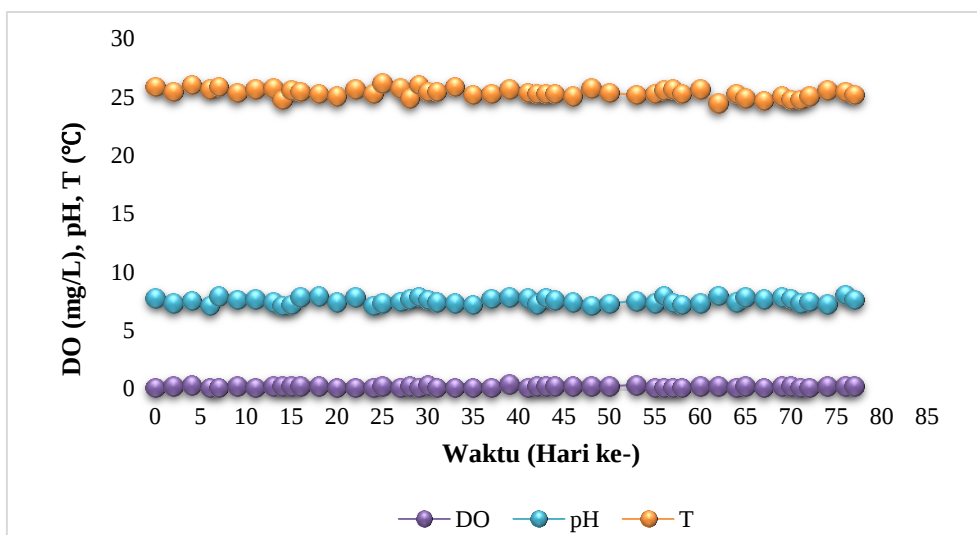
Seeding dilakukan dengan menambahkan lumpur aktif ke dalam reaktor yang bertujuan untuk memperbanyak mikroorganisme dengan mengembangbiakkannya agar didapatkan jumlah yang sesuai dengan kebutuhan. Semakin banyak lumpur aktif yang ditambahkan maka akan semakin tinggi penurunan kadar COD oleh mikroorganisme (Sari dkk., 2013). Seeding akan dilakukan selama 77 hari untuk reaktor anoksik hingga konsentrasi VSS mencapai 2000 – 4000 mg/L (Tchobanoglous dkk., 2014) dan saat konsentrasi COD dalam keadaan tunak (fluktuasi $<10\%$) (Trnovec dan Britz; 1998 dalam Somasiri dkk., 2008). Setelah 77 hari proses seeding, didapatkan konsentrasi VSS terlekat pada reaktor anoksik adalah sebesar 2588 mg/L. Konsentrasi VSS tersebut telah menunjukkan bahwa mikroorganisme sudah cukup banyak dan berkembang biak di dalam reaktor tersebut sehingga dapat menguraikan senyawa polutan pada air limbah.



Gambar 2. Nilai VSS Tersuspensi, VSS Terlekat, dan COD Hasil Seeding Reaktor Anoksik Sistem Batch

Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa nilai COD turun seiring berjalannya waktu yang menunjukkan substrat dimakan oleh mikroorganisme. Dan juga untuk VSS terlekat lebih cepat naik nilainya dibandingkan dengan VSS tersuspensi. Dimana dapat dilihat pada hari ke 0 – 14, jumlah VSS terlekat masih jauh lebih sedikit dibandingkan VSS tersuspensi. Namun, pada hari ke 28 – 77 didapatkan jumlah VSS terlekat yang melonjak tinggi dan jauh lebih besar konsentrasinya dibandingkan VSS tersuspensi. Hal itu dikarenakan mikroorganisme yang tersuspensi akan kontak dengan media yang ada di dalam reaktor sehingga mikroorganisme akan melekat dan membentuk biofilm pada media PVC.

Faktor lingkungan seperti pH, suhu, dan DO (*Dissolve Oxygen*) dapat mempengaruhi pertumbuhan biofilm (Madan dkk., 2022). Berdasarkan Gambar 3, didapatkan hasil yang sesuai rentang normal. Dimana untuk pH dan suhu rata-rata masing-masing didapatkan 7,5 dan 25,4°C. Hal itu sesuai dengan ketentuan dimana untuk pH dan suhu harus dijaga dalam kondisi optimum yaitu 6,5 – 7,5 dan 25 – 27°C (Tchobanoglous dkk., 2014).



Gambar 3. Kondisi Lingkungan Hasil Seeding Reaktor Anoksik Sistem Batch

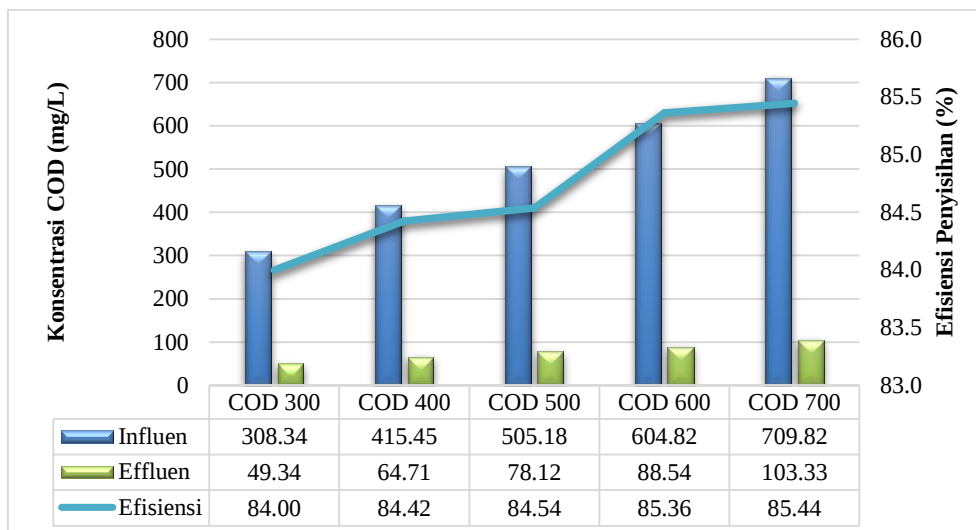
Nilai DO pada reaktor anoksik selalu berada di bawah 0,2 mg/L, dimana rata-rata nilai DO pada reaktor anoksik adalah 0,16 mg/L yang menandakan sedikitnya oksigen terlarut yang dapat membantu terjaganya kondisi anoksik.

Pengaruh Beban Influen terhadap Penyisihan Organik

Berdasarkan hasil pengambilan sample dan karakterisasi dari beberapa IPAL di Bandung, didapatkan hasil konsentrasi organik yang beragam, mulai dari yang terkecil sekitar 300 mg/L dan yang terbesar adalah 700 mg/L. Adanya variasi konsentrasi influen biasanya bergantung kepada banyak faktor seperti cuaca/iklim, pola curah hujan, populasi, kegiatan sosial ekonomi, serta adanya kemungkinan kebocoran dari sistem saluran pembuangan di area layanan (Martin dan Vanrolleghem, 2014 dalam Zhang dkk., 2020).

Pada penelitian ini, pengukuran COD dilakukan sesuai dengan variasi konsentrasi influen pada masing-masing reaktor. Pengukuran COD dilakukan sampai dengan nilai COD mencapai kondisi stabil atau tunak (*steady state*), dengan nilai fluktuasi penyisihan minimal mencapai kurang dari 10% (Trnovec dan Britz; 1998; Ayoob dkk., 2003 dalam Somasiri dkk., 2008). Setiap satu variasi beban influen yang diujikan akan dilakukan penyisihan dalam waktu 9 jam. Hasil penyisihan COD untuk reaktor anoksik dapat dilihat pada Gambar 3, dimana ada beberapa variasi konsentrasi influen yang masuk ke dalam reaktor. Variasi konsentrasi influen yaitu 300, 400, 500, 600, dan 700 mg/L dan hasil effluen yang didapatkan berturut-turut 49,34, 64,71, 78,12, 88,54, dan 103,33 mg/L. Efisiensi penyisihan berkisar antara 84 – 85,44% atau kalau dirata-ratakan sebesar 84,75±0,63%.

Pengaruh Beban Influen Terhadap Performa Pengolahan Air Limbah Domestik Menggunakan Fixed Bed System dengan Media Penunjang PVC Sarang Tawon



Gambar 4. Penyisihan COD Reaktor Anoksik Sistem Batch dengan Variasi Konsentrasi Influen

Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa konsentrasi COD semakin turun seiring berjalannya waktu, dan mulai mengalami stabil pada setelah jam ketujuh untuk semua variasi beban influen dengan fluktuasi sekitar 1 – 4%. Dikarenakan dengan nilai fluktuasi penyisihan mencapai kurang dari 10%, hal itu menunjukkan bahwa dalam waktu 12 jam, organik dapat tersisihkan secara maksimal di dalam reaktor ini.

Tabel 1. Perbandingan Efisiensi Penyisihan COD dengan Penelitian Terdahulu untuk Reaktor Anoksik

Polimer	Jenis Reaktor	Proses	Jenis Air Limbah	Efisiensi Penyisihan COD	Sumber
HDPE	Fixed bed	Anaerobik	Domestik	54%	Kawan dkk., 2022
PP	Fixed bed	Anoksik	Domestik	70,5%	Naghipour dkk., 2020
PVDC	Fixed bed	Anoksik	Perkotaan	66%	Son dkk., 2020
PVC	Fixed bed	Anoksik	Domestik	84,75±0,63%	Penelitian ini

Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya pada Tabel 1, didapatkan hasil penyisihan COD penelitian ini lebih tinggi dibandingkan penelitian sebelumnya dengan media polimer yang berbeda. Untuk konsentrasi influen 300, 400, 500, dan 600 mg/L sudah memenuhi baku mutu sesuai dengan Peraturan Menteri LHK No. 68 Tahun 2016. Sehingga penggunaan reaktor *fixed bed* dengan media polimer PVC untuk mengolah senyawa organik bisa digunakan dan diterapkan untuk mengolah air limbah domestik.

Pengaruh Beban Influen terhadap Penyisihan Nutrien

Salah satu masalah utama air limbah pada negara berkembang adalah meningkatnya kadar nitrogen dan fosfor dari konsumsi makanan dan bahan kimia yang dihasilkan dari aktivitas manusia, sektor pertanian serta sektor peternakan (Naghipour dkk., 2020). Selain dapat

menghilangkan kandungan bahan organik, teknologi *fixed bed system* ini juga dapat menurunkan kandungan nutrisi yang terdapat pada air limbah. Kandungan nutrisi yang terkandung dalam air limbah meliputi nitrogen, amonia, nitrit, nitrat, dan fosfor yang dapat dimanfaatkan oleh mikroorganisme untuk mendukung pertumbuhannya. Kandungan nitrogen pada teknologi biologis ini dapat disisihkan dengan denitrifikasi dimana senyawa nitrat diubah menjadi nitrogen pada kondisi anoksik. Analisis penyisihan nutrisi dilakukan pada masing-masing variasi atau perlakuan. Hasil analisis efisiensi penyisihan Total Nitrogen (TN), amoniak, nitrit, nitrat, dan Total Fosfor (TP) untuk reaktor anoksik dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Rangkuman Efisiensi Nutrien pada Reaktor Anoksik dengan Sistem Batch Berdasarkan Variasi Beban Influen

<i>Running</i>	Amonia	Nitrit	Nitrat	NTK	N Organik	TN	TP
	(%)						
COD 300	52,590	80,444	90,580	56,437	68,072	57,011	71,774
COD 400	52,830	80,524	91,005	56,892	68,182	57,474	71,959
COD 500	53,197	81,163	91,274	57,341	68,261	57,943	72,177
COD 600	53,509	81,529	91,667	57,787	68,839	58,456	72,590
COD 700	53,940	81,726	91,894	58,261	69,118	58,927	72,922

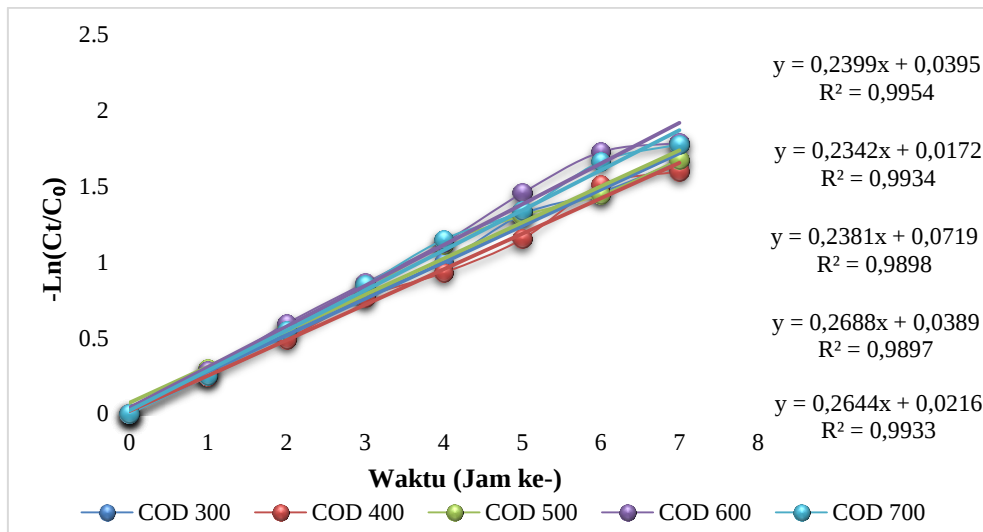
Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa baik efisiensi penyisihan amonia, nitrit, nitrat, NTK, N organik, TN, dan TP menunjukkan semakin besar efisiensinya dengan konsentrasi influen yang dimasukkan yaitu 700 mg/L. Dengan begitu, dapat disimpulkan bahwa semakin besar konsentrasi influen yang masuk ke dalam reaktor, maka semakin besar juga efisiensi penyisihan nutriennya, dimana sesuai dengan penelitian Fauzi dkk., (2023). Hal ini dikarenakan semakin tinggi konsentrasi organik influen, semakin besar jumlah substrat yang terkandung dalam air limbah, sehingga beban organik yang harus diuraikan oleh mikroba juga semakin besar (Yazid dkk., 2012). Namun, tidak semua konsentrasi influen yang tinggi juga menghasilkan efisiensi nutrisi yang tinggi. Hal itu dikarenakan konsentrasi influen yang tinggi dapat mengganggu proses pengolahan dan mengurangi efisiensi penyisihan polutan dimana jika beban organik yang lebih besar daripada jumlah mikroorganisme di dalam reaktor sehingga kemampuan degradasi mikroorganisme dapat terganggu (Husin, 2008 dalam Yazid dkk., 2012).

Kinetika Penyisihan Substrat

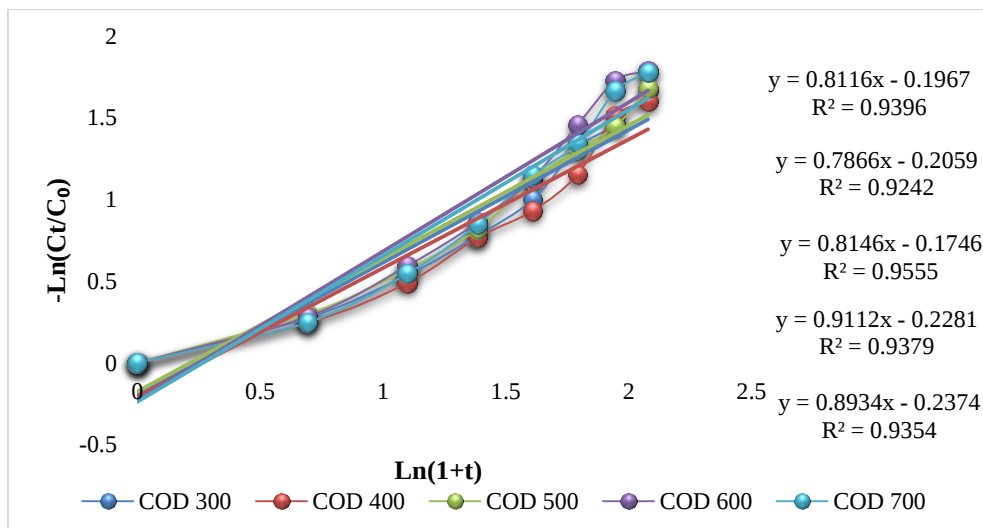
Proses yang terjadi pada pengolahan biologis dapat ditentukan berdasarkan koefisien laju penyisihan dengan model kinetika yang beragam, dimana laju penyisihan polutannya bergantung pada konsentrasi polutan tertentu. Beberapa model kinetika penyisihan polutan yang digunakan yaitu kinetika orde pertama, kinetika singh (modifikasi orde pertama), dan kinetika orde kedua.

Berdasarkan kinerja dari teknologi *fixed bed system*, asumsi kinetika penyisihan mengikuti orde satu, model kinetika yang umum digunakan pada pengolahan biologis. Sedangkan untuk model kedua yaitu model *singh* merupakan model orde pertama yang telah dimodifikasi oleh Singh (Kureel dkk., 2017 dalam Fauzi dkk., 2023). Dan model ketiga yang digunakan adalah orde kedua yang dikenal dengan Optaken-Grau yang dapat diterapkan pada degradasi senyawa organik di dalam bioreaktor atau reaktor biologis (Grau dkk., 1975; Optaken, 1982 dalam Borghei dkk., 2008).

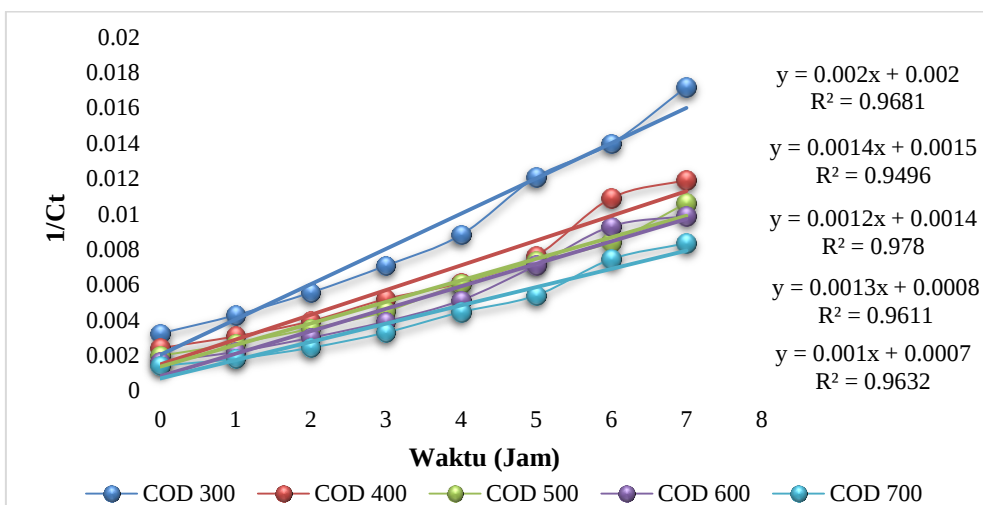
Pengaruh Beban Influen Terhadap Performa Pengolahan Air Limbah Domestik Menggunakan Fixed Bed System dengan Media Penunjang PVC Sarang Tawon



Gambar 5. Kinetika Penyisihan Organik Reaktor Anoksik Model Orde Pertama



Gambar 6. Kinetika Penyisihan Organik Reaktor Anoksik Model *Singh*



Gambar 7. Kinetika Penyisihan Organik Reaktor Anoksik Model Orde Kedua

Berdasarkan tiga metode kinetika yang digunakan pada penelitian ini, akan dianalisis mana kinetika yang cocok dengan penelitian ini. Berdasarkan Gambar 5 – Gambar 7 dapat ditentukan koefisien kinetika yang berasal dari slope persamaan garis yang dihasilkan untuk reaktor anoksik. Nilai konstanta kinetika reaktor anoksik tersebut akan direkap dalam Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kinetika Penyisihan Substrat Reaktor Anoksik pada Sistem Batch

Model Kinetika	Variasi Beban Influen (mg/L)	Koefisien Kinetika (/Jam)	Koefisien Determinasi (R^2)
Kinetika Orde Pertama	300	0,2644	0,993
	400	0,2688	0,989
	500	0,2381	0,989
	600	0,2342	0,993
	700	0,2399	0,995
Kinetika <i>Singh</i>	300	0,8934	0,935
	400	0,9112	0,938
	500	0,8146	0,956
	600	0,7866	0,924
	700	0,8116	0,939
Kinetika Orde Kedua	300	0,001	0,963
	400	0,0013	0,961
	500	0,0012	0,978
	600	0,0014	0,949
	700	0,002	0,968

Berdasarkan Tabel 3, dapat disimpulkan bahwa untuk reaktor anoksik, model kinetika yang cocok adalah kinetika orde pertama dengan nilai koefisien kinetika yaitu $0,249 \pm 0,02/\text{jam}$ yang mendekati efisiensi penyisihan per jam dibandingkan dua model lainnya serta memiliki koefisien determinasi yang mendekati satu. Hal itu berarti model kinetika orde pertama merupakan model terbaik yang dapat menyisihkan senyawa organik dengan baik untuk teknologi *fixed bed system*.

KESIMPULAN

PVC sarang tawon yang digunakan sebagai media penunjang teknologi anoksik *fixed bed system* dapat menyisihkan polutan organik maupun nutrisi dengan efisiensi tinggi karena mikroorganisme yang menempel pada media (*biofilm*) dapat mendegradasi dengan baik. Efisiensi penyisihan polutan seperti COD adalah $84,75 \pm 0,6\%$, ammonia $53,21 \pm 0,5\%$, nitrit $81,08 \pm 0,6\%$, nitrat $91,28 \pm 0,5\%$, NTK $57,34 \pm 0,7\%$, N organik $68,49 \pm 0,5\%$, TN $57,96 \pm 0,8\%$, dan TP $72,28 \pm 0,5\%$. Kinetika penyisihan yang terpilih adalah kinetika orde pertama dengan k_1 adalah $0,249 \pm 0,02/\text{jam}$. Hasil kinetika kedua reaktor tersebut mendekati efisiensi penyisihan per jam sebelum steady state dibandingkan dua model lainnya dan memiliki koefisien determinasi yang mendekati satu.

PERSANTUNAN

Terima kasih kepada P2MI ITB yang sudah mendukung dan mendanai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadi, M., Khaled, Z.B., Mehrdad, F., Mohammad, S., & Atefeh, A. (2019). Process performance and multi-kinetic modeling of a membrane bioreactor treating actual oil refinery wastewater. *Journal of Water Process Engineering*, 28, 115 – 122.
- Al-Dhawi, B. N. S., Shamsul R. M. K., Lavania, B., Ahmad, H. J., Aiban, A. S., Najib, M. Y., Vicky, K., Azmatullah, N., Anwar, A. H., Albara, A. A., & Yaser, A. (2023). Kinetics Study of Nutrients Removal from Synthetic Wastewater Using Media as Submerged in Continuous Activated Sludge System. *Material Research Proceedings*, 29, 87 – 97.
- Borghei, S. M., M. Sharbatmaleki, P. Pourrezaie, & G. Borghei (2008). Kinetics of Organic Removal in Fixed-Bed Aerobic Biological Reactor. *Bioresource Technology*, 99, 1118 – 1124.
- Cahyani, N. D., Mairo, S., Tiara, A., & Isna, A. (2024). Pengolahan Limbah Cair Tahu Menggunakan Media Lekat Sarang Tawon. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 12, 82 – 89.
- Eckenfelder & W. Wesley. (1970). *Water quality engineering for practicing engineers*. New York, Barnes & Noble.
- Fauzi, M., Prayatni, S., Ansiha, N., Marisa, H., Teddy, T., Katharina, O., & Ahmad, S. S. (2023). Performances of Polyethylene Terephthalate Plastic Bottles Waste as Supporting Media in Domestic Wastewater Treatment Using Aerobic Fixed-Film System. *Journal of Ecological Engineering*, 24, 30 – 39.
- Harahap, J., Gunawan T., Suprayogi S., & Widyastuti M., (2021). A review: Domestic Wastewater Management System in Indonesia. *Earth and Environmental Science*, 737.
- Kawan, J.A., Suja', F., Pramanik, S.K., Yusof, A., Abdul Rahman, R., & Abu Hasan, H. (2022). Effect of Hydraulic Retention Time on The Performance of a Compact Moving Bed Biofilm Reactor for Effluent Polishing Of Treated Sewage. *Water*, 14, 81.
- Madan, S., Madan, R., & Hussain, A. (2022). Advancement in biological wastewater treatment using hybrid moving bed biofilm reactor (MBBR): a review. *Applied Water Science*, 12(6), 1–13.
- Metcalf & Eddy, (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse 4th Edition*. McGraw-Hill, New York.
- Naghipour, D., Rouhbakhsh, E., & Jaafari, J. (2020). Application of the Biological Reactor with Fixed Media (IFAS) For Removal of Organic Matter and Nutrients in Small Communities. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 1–11.
- Said, N. I. & Ruliasih. (2005). Tinjauan Aspek Teknis Pemilihan Media Biofilter Untuk Pengolahan Air Limbah. *Jurnal Air Indonesia*, 1.
- Sali, G. P., A. Suprabawati, & Y. Purwanto. (2018). Efektivitas Teknik Biofiltrasi Dengan Media Sarang Tawon Terhadap Penurunan Kadar Nitrogen Total Limbah Cair. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 15, 1 – 6.
- Sari, F. R., Raudhah, A., & Abubakar, T. (2013). Perbandingan Limbah daan Lumpur Aktif terhadap Pengaruh Sistem Aerasi pada Pengolahan Limbah CPO. *Jurnal Konversi*, Vol. 2, No. 1, 39 – 44.
- Singh, N. K., Kazmi, A. A., & Starkl, M. (2015). Environmental Performance of An Integrated Fixed-Film Activated Sludge (IFAS) Reactor Treating Actual Municipal Wastewater During Start-Up Phase. *Water Science and Technology*, 72(10), 1840–1850.
- Somasiri, W., & Chen. (2008). Colour and cod removal, reactor performance, and stability in textile wastewater treatment by upflow anaerobic sludge blanket reactor at mesophilic temperature. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural, and Food Chemistry*, 7, 3461 – 3475.

- Son, D., J, Kim, W. Y., Jung, B. R., Chang, D., & Hong, K. H. (2020). Pilot-scale anoxic/aerobic biofilter system combined with chemical precipitation for tertiary treatment of wastewater. *Journal of Water Process Engineering*, 35.
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, D. (1991). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse* (Fourth Edition ed.). New York: McGraw Hill Companies.
- Widyarani, Diana R. W., Umami, H., Ahmad, K., Raden, T. R., & Neni, S. (2022). Domestic Wastewater in Indonesia: Generation, Characteristics and Treatment. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 32397 – 32414.
- Yazid, F. R., Syafrudin, & Ganjar, S. (2012). Pengaruh Variasi Konsentrasi dan Devit pada Pengolahan Air Artifisial (Campuran Grey Water dan Black Water) Menggunakan Reaktor UASB. *Jurnal Presipitasi*, Vol. 9, No. 1.
- Zhang, Y., Zhang, C., Yong, Q., Bing, L., Hongtao, P., Yu, X., Yanchen, L., Zhiguo, Y., & Xia, H. (2020). Wastewater treatment technology selection under various influent conditions and effluent standards based on life cycle assessment. *Resources, Conservation & Recycling*, 154.