E-ISSN: 2964-6723

JIM: Jurnal Ilmiah Multidisiplin
Homepage: https://jurnal.alungcipta.com/index.php/JIM
Vol. 3 No. 1, Februari 2024
Doi:



Pemanfaatan Sabut Kelapa Yang Diaktifkan Dengan Pva Gel Sebagai Media Bio Reaktor

Martin Darma Setiawan[1] , Agus Riyadi[2] , Shala Sabila Melania S[3]
[1,2,3] Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Pelita Bangsa , Indonesia
Email :

Abstrak

PT. Z Daerah Bekasi merupakan perusahaan yang bergerak dibidang industri kimia berupa polimer emulsi, resin sintetis, serta produk perawatan mobil yang berada di Kawasan Industri Hyundai Kab. Bekasi. Limbah cair di PT. Z Berdasarkan hasil laboratorium menunjukan beberapa parameter karakteristik air limbah dari kantin dan toilet melebihi baku mutu Kawasan .Diketahui bahwa parameter COD, NH4-OH dan TDS melebihi baku mutu sedangkan parameter BOD dan TSS masih memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan oleh Kawasan Industri Hyundai Kab. Bekasi

Penelitian ini menyelidiki pengolahan air limbah yang kaya amonia menggunakan gel Polyvinyl Alcohol (PVA) yang diintegrasikan ke dalam biofilter sabut kelapa. Eksperimen dilakukan pada berbagai ketinggian media gel PVA (60 cm, 40 cm, 30 cm, dan 20 cm) dan dibandingkan dengan pengaturan kontrol tanpa gel PVA (30 cm). Hasil menunjukkan bahwa gel PVA secara signifikan meningkatkan penghilangan amonia, dengan media gel PVA setinggi 60 cm mencapai pengurangan tertinggi, mencatat penurunan sebesar 6,89 ppm dalam waktu 240 menit. Selain itu, media gel PVA menunjukkan kinerja yang lebih baik dalam meningkatkan kadar nitrat dan menurunkan nilai permanganat dibandingkan dengan pengaturan tanpa PVA.

Proses adsorpsi dianalisis menggunakan model isoterm Langmuir untuk menentukan Laju Pengisian Permukaan (Surface Area Loading Rate/SALR). Perhitungan Langmuir menghasilkan kapasitas adsorpsi maksimum (qmax) sebesar 2,15 mg/m² untuk media gel PVA, dibandingkan dengan 1,28 mg/m² tanpa gel PVA, menunjukkan SALR dan efisiensi adsorpsi yang lebih tinggi dengan adanya gel PVA. Konstanta Langmuir (KL), yang mencerminkan afinitas adsorben, ditemukan sebesar 0,60 untuk media gel PVA, menunjukkan afinitas ikatan yang sedikit lebih rendah namun tetap signifikan dibandingkan 0,67 tanpa gel PVA.

Penelitian ini menyimpulkan bahwa gel PVA adalah media yang efektif untuk meningkatkan kapasitas dan efisiensi biofilter dalam pengolahan air limbah amonia. Integrasi gel PVA dalam biofilter menawarkan pendekatan yang menjanjikan dan berkelanjutan untuk mengurangi polusi lingkungan. Penelitian di masa depan sebaiknya mengeksplorasi kombinasi gel PVA dengan bahan lain dan menilai dampak jangka panjangnya terhadap kualitas lingkungan serta biaya operasional.

Kata kunci: PVA Gel, Biofilter, Amonia, Pengolahan Air Limbah, Kapasitas Penyerapan

Abstract

The maximum abstract consists of 200 words. In the abstract it contains at least: Background (if any). Objectives: Goals to be achieved in research. Methodology: Research design, variable operationalization, data collection, data analysis methods. Findings: Directly disclose research results and no longer display tests (avoid disclosure of t values, probabilities, research testing rates etc. Implications: Implications of research findings. Originality: The value that distinguishes this study. (Times New Rome 11)

Keywords: *Work Engagement, Job satisfaction, Organizational Culture and Organizational Commitment.*

Copyright © 2022, Template JIM: Jurnal Ilmiah Multidisiplin

PENDAHULUAN

PT. Z Daerah Bekasi merupakan perusahaan yang bergerak dibidang industri kimia berupa polimer emulsi, resin sintetis, serta produk perawatan mobil yang berada di Kawasan Industri Hyundai Kab. Bekasi. Limbah cair di PT. Z Daerah Bekasi berasal dari proses produksi resin sintetis. Berdasarkan hasil laboratorium menunjukan beberapa parameter karakteristik air limbah dari kantin dan toilet melebihi baku mutu Kawasan Industri Hyundai Kab. Bekasi seperti dilihat pada Tabel 1 berikut ini :

Tabel 1 Hasil Uji Karakteristik Air Limbah PT. Z Daerah Bekasi

No	Parameter	Hasil Uji (mg/L)	Baku Mutu Kawasan Industri Hyundai (mg/L)	Status
1	COD	828	800	Melebihi
2	BOD	197	400	Sesuai
3	TDS	2.225	2.000	Melebihi
4	NH4-OH	48.65	10	Melebihi
5	TSS	24	300	Sesuai

Sumber :Data Sampling tgl 23 Desember 2024

Berdasarkan Tabel 1, diketahui bahwa parameter COD, NH4-OH dan TDS melebihi baku mutu sedangkan parameter BOD dan TSS masih memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan oleh Kawasan Industri Hyundai Kab. Bekasi. Sehingga untuk menurunkan senyawa-senyawa polutan yang berlebih dari kedua parameter tersebut perlu adanya tindakan lebih lanjut supaya kandungan air limbah yang dibuang ke badan air atau saluran drainase sesuai standar baku mutu air limbah yang sudah ditetapkan oleh Kawasan Industri Hyundai Kab. Bekasi.

Salah satu upaya untuk menurunkan bahan pencemar dalam air limbah adalah dengan menggunakan teknologi simulasi reaktor SBR. Reaktor SBR merupakan salah satu inovasi pendekatan ekologi berupa teknologi pengolahan air limbah dengan menggunakan media biofilter yang diaktifkan dengan PVA-Gel. Media Bio reaktor ini mempunyai area permukaan yang bermanfaat untuk pertumbuhan biofilm yang memiliki fungsi guna mengendalikan polusi dalam air diantaranya TDS, TSS, BOD, COD, Nitrogen (N), Fosfor (P) dan logam lainnya (Wang et al. 2018).

Air limbah yang mengandung amonia menimbulkan risiko lingkungan dan kesehatan yang serius karena sifatnya yang beracun. Di lingkungan perairan, kadar amonia bebas meningkat seiring dengan naiknya pH dan suhu. Pada pH 7 atau lebih rendah, amonia sebagian besar terionisasi; di atas pH 7, amonia tetap tidak terionisasi dan dapat menjadi racun bagi organisme perairan (Said et al. 2014). Amonia juga merupakan kontributor utama eutrofikasi, yang ditandai dengan kadar nutrien yang berlebihan yang menyebabkan ledakan alga yang tidak terkendali, mengurangi oksigen terlarut, dan menurunkan kualitas air. Konsentrasi amonia yang tinggi mematikan bagi organisme perairan, dengan nilai LC50 untuk ikan berkisar antara 0,56-2,36 mg/L dan untuk invertebrata dari 1,10-22,80 mg/L selama periode paparan 24-96 jam [6]. Selain itu, gas amonia menimbulkan risiko kesehatan yang serius bagi manusia. Sebuah studi oleh (Sulistia and Septisya 2020) menyoroti dampak akibat kesehatan di antara pekerja industri dan petani.

Konsentrasi amonia dalam air limbah bervariasi secara musiman, dipengaruhi oleh efek suhu pada proses nitrifikasi. Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No. 68 Tahun 2016, batas yang diizinkan untuk pembuangan amonia dalam air limbah domestik adalah 10 mg/L. Oleh karena itu, pengolahan air limbah yang mengandung

Copyright © 2022, Template JIM: Jurnal Ilmiah Multidisiplin
ISSN: 2964-6723 (Online)

amonia secara efektif dan bertanggung jawab sangat penting untuk melindungi ekosistem dan kesehatan masyarakat. Berbagai teknologi, termasuk metode fisik, kimia, dan biologis, telah dikembangkan untuk tujuan ini, dengan penelitian terbaru berfokus pada solusi yang lebih efisien dan ramah lingkungan, seperti biofilter. Biofilter menggunakan media filter dengan luas permukaan yang besar bagi mikroorganisme untuk membentuk biofilm, yang mengolah air limbah saat melewatinya (Vandith et al. 2018).

Degradasi amonia dalam pengolahan air limbah biasanya melibatkan proses nitrifikasi, serangkaian reaksi biologis yang mengubah amonia menjadi bentuk nitrat yang lebih sederhana menggunakan bakteri nitrifikasi (Anisa et al. 2017). Menurut Nainggolan et al. (2015), bakteri nitrifikasi yang berkembang dalam lingkungan yang kaya amonia meliputi (Rajpal et al. 2021)Nitrosomonas, Nitrosolobus, Nitrosospira, Nitrosococcus, Nitrospina, Nitrospira, dan Nitrococcus. Nitrifikasi terjadi dalam dua tahap utama: oksidasi amonia (NH3) atau amonium (NH4+) menjadi nitrit (NO2-) oleh bakteri pengoksidasi amonia (AOB) seperti Nitrosomonas dan Nitrosococcus, serta arkea pengoksidasi amonia (AOA); diikuti oleh oksidasi nitrit (NO2-) menjadi nitrat (NO3-) oleh bakteri pengoksidasi nitrit (NOB) seperti Nitrobacter, Nitrospira, dan Nitrococcus. Proses kemudian dilanjutkan dengan denitrifikasi, di mana nitrat dan nitrit direduksi menjadi gas nitrogen atau nitrogen oksida, yang bersifat inert dan dapat menguap ke udara. Denitrifikasi adalah langkah kedua dalam penghilangan nitrogen setelah nitrifikasi, menggunakan bakteri heterotrofik yang dapat menggunakan nitrat dan nitrit, seperti Micrococcus, Pseudomonas, Denitrobacillus, Spirillum, Bacillus, dan Achromobacter (Mara 2004). Alternatifnya, kelompok bakteri unik yang disebut anammox, yang ditemukan pada pertengahan 1990-an, dapat mengubah amonia secara anaerob menjadi gas dinitrogen menggunakan nitrit sebagai akseptor elektron (HOA et al. 2006). Denitrifikasi paling efektif ketika kadar oksigen terlarut (DO) nol dan pH antara 7,0 dan 8,5.

PVA (Polyvinyl Alcohol) gel adalah media biofilter yang baru muncul yang mendukung bakteri nitrifikasi. Gel PVA, bahan polimer, cocok untuk biofilter karena sifat fisik dan kimianya yang mendukung pertumbuhan biofilm (Wang et al. 2018). PVA memiliki keunggulan karena kelarutannya dalam air, tidak beracun, kompatibilitas biologis, dan dapat terurai secara hayati (D. Zerrouki, A.Benhadji 2011). Ini adalah agen pengental yang membentuk film atau lapisan yang kuat, dengan sifat hidrofobik dan kelompok hidroksil berulang yang memungkinkan pengikatan silang melalui ikatan hidrogen. Gel PVA menawarkan stabilitas tinggi, kompatibilitas biologis, dan mendukung pertumbuhan mikroorganisme nitrifikasi. Kelembabannya, yang penting untuk fungsi biofilter, dapat ditingkatkan dengan bahan tambahan untuk meningkatkan porositas dan kapasitas penyerapan air. Sabut kelapa, yang sering dianggap sebagai limbah, adalah salah satu bahan yang dapat digunakan bersama gel PVA. Sabut kelapa telah menunjukkan potensi sebagai biosorben dan bioakumulator logam berat dan efektif dalam mengurangi BOD dan COD. Sabut kelapa juga memiliki sifat antibakteri, bersifat asam (yang membantu dalam penguraian bahan organik), sangat tahan terhadap degradasi biologis, dan menawarkan volume dan luas permukaan yang kuat (Nkwonta and Ochieng 2009).

Menggunakan gel PVA sebagai media biofilter menawarkan potensi yang signifikan untuk pengolahan air limbah amonia. Penelitian telah menunjukkan keefektifannya dalam mengurangi polutan dan mendukung proses nitrifikasi dengan stabilitas yang baik. Teknologi ini menjanjikan efisiensi tinggi dan aplikasi yang mudah, dengan biaya yang relatif rendah dibandingkan dengan metode konvensional.

Rasio Luas Permukaan terhadap Volume (SALR) adalah faktor penting dalam desain biofilter. SALR menentukan jumlah

Copyright © 2022, Template JIM: Jurnal Ilmiah Multidisiplin
ISSN: 2964-6723 (Online)

air limbah yang dapat diolah oleh setiap unit luas permukaan (Bengtson 2017). Nilai SALR yang tinggi menyediakan lebih banyak luas permukaan untuk mikroorganisme melekat dan berkembang biak, meningkatkan laju degradasi amonia. Namun, SALR yang terlalu tinggi dapat menyebabkan beban berlebih, sementara SALR yang terlalu rendah dapat mengurangi efisiensi sistem. SALR yang optimal memastikan sistem pengolahan memenuhi standar kualitas efluen yang telah ditetapkan .

Penelitian terus berlanjut untuk mengembangkan solusi yang lebih efektif dan berkelanjutan untuk pengolahan air limbah amonia menggunakan biofilter gel PVA. Penelitian ini bertujuan untuk menilai efektivitas gel PVA dalam mengurangi polutan, membandingkannya dengan media lain, dan mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja biofilter. Penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi pada pengelolaan air limbah amonia yang lebih efisien dan ramah lingkungan, mengatasi tantangan signifikan dalam pengelolaan limbah industri dan domestik.

KAJIAN PUSTAKA

Limbah

Definisi limbah menurut kamus besar Bahasa Indonesia adalah benda yang tidak bernilai dan tidak berharga. Serta bisa juga diartikan sebagai sisa proses produksi. Sedangkan menurut Peraturan Pemerintah No. 101 tahun 2014 mengartikan bahwa limbah adalah sisa suatu usaha atau kegiatan. Secara umum dapat dikatakan bahwa semua sisa hasil dari usaha/kegiatan baik kegiatan industri, domestik maupun kegiatan lainnya yang berupa cair, padat, maupun gas yang masuk kedalam lingkungan dapat mencemari maupun tidak mencemari dikategorikan sebagai limbah. Limbah cair industri merupakan sisa dari suatu usaha dan/atau kegiatan yang berwujud cair dihasilkan dari proses industri yang dibuang ke lingkungan dan diduga dapat menurunkan kualitas lingkungan (Menteri Lingkungan Hidup 2014).

Karakteristik Air Limbah

Karakteristik air limbah dibagi menjadi 3, yaitu : karakteristik fisik, kimia dan biologi [7]. Karakteristik fisik terdiri dari : 1). Total Solid (TS), yaitu padatan didalam larutan air yang terdiri dari bahan organic maupun anorganik yang larut, mengendap atau tersuspensi dalam air; 2). Total Suspended Solid (TSS), yaitu zat padat tersuspensi yang merupakan tempat berlangsungnya reaksi-reaksi kimia yang heterogen, dan berfungsi sebagai bahan pembentuk endapan yang paling awal dan dapat menghalangi kemampuan produksi zat organik disuatu perairan; 3). Warna, pada dasarnya air bersih tidak berwarna, tetapi seiring dengan waktu dan meningkatnya kondisi anaerob, warna limbah berubah dari yang abu-abu menjadi kehitaman; 4). Kekeruhan, disebabkan karena ada partikel koloid yang terdiri dari kwartz, tanah liat, sisa bahan-bahan industri, protein, dan ganggang yang terdapat dalam limbah; 5). Temperatur, merupakan parameter yang sangat penting dikarenakan efeknya terhadap reaksi kimia, laju reaksi, kehidupan organisme air dan penggunaan air selanjutnya untuk berbagai aktivitas sehari-hari, 6). Bau, sifat bau limbah disebabkan karenazat-zat organik yang telah terurai dalam limbah dan mengeluarkan gas-gas seperti sulfida dan amoniak.

Karakteristik kimia terdiri dari : 1). Biological Oxygen Demand (BOD), yaitu banyaknya oksigen dalam ppm atau mg/l yang dipergunakan untuk menguraikan bahan organik oleh mikroorganisme; 2). Chemical Oxygen Demand (COD), yaitu banyaknya oksigen dalam ppm atau mg/l yang dibutuhkan untuk menguraikan bahan organik secara kimiawi; 3). Dissolved Oxygen (DO), yaitu : kadar oksigen terlarut; 4). Ammonia, 5). Derajat Keasaman (pH); 6). Lemak dan minyak. Sedangkan karakteristik biologi digunakan untuk mengukur kualitas air terutama air yang dikonsumsi sebagai air minum dan air bersih. Parameter yang biasa digunakan adalah banyaknya mikroorganisme yang terkandung dalam air limbah. Perilaku sanitasi masyarakat yang

Copyright © 2022, Template JIM: Jurnal Ilmiah Multidisiplin
ISSN: 2964-6723 (Online)

kurang baik seperti kebiasaan membuang limbah industri dan limbah rumah tangga ke badan air penerima akan menyebabkan pencemaran air sungai dan berdampak terhadap kesehatan masyarakat yaitu timbulnya kasus infeksi diare atau penyakit saluran pencernaan lainnya [8].

Chemical Oxygen Demand (COD), merupakan jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengurangi seluruh bahan organik yang terkandung dalam air. Nilai COD umumnya lebih besar dari BOD karena COD merupakan total dari bahan organik yang terkandung pada limbah, sedangkan BOD hanya merupakan bahan organik yang mudah didegradasi [9]. Sedangkan TDS adalah suatu padatan yang terurai dan terlarut di dalam air, TDS adalah benda padat yang terlarut yaitu semua mineral, garam, logam, serta kation dan anion yang terlarut di air. Termasuk semua yang terlarut diluar molekul air murni (H2O).

METODE

Desain Penelitian

Studi ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas penggunaan biofilter berbasis gel PVA (Polyvinyl Alcohol) dalam pengolahan air limbah yang mengandung amonia. Metodologi penelitian mencakup desain eksperimen, pengumpulan data, analisis data, dan validasi hasil.

Penelitian ini mengadopsi pendekatan kuantitatif melalui metode eksperimental. Variabel yang diteliti meliputi penggunaan unit reaktor filtrasi dengan parameter seperti suhu, oksigen terlarut (DO), pH, amonia, kebutuhan oksigen kimiawi (COD), nitrat, dan nitrit.

Penelitian ini disusun dalam lima fase utama: tinjauan literatur, fabrikasi reaktor filtrasi beserta aklimatisasi pengolahan air limbah, karakterisasi awal air limbah yang mengandung amonia, eksperimen pengolahan air limbah dengan berbagai kondisi, serta analisis data dan penarikan kesimpulan.

Penelitian dimulai dengan tinjauan literatur yang komprehensif tentang proses pengolahan air limbah amonia, nitrifikasi dan denitrifikasi, biofilter, media gel PVA, serta peran bakteri Nitrosomonas dan Nitrobacter. Selain itu, diteliti juga prinsip-prinsip dasar penggunaan biofilter dan nitrifikasi dalam penelitian sebelumnya. Setelah tinjauan literatur, penelitian dilanjutkan dengan desain dan konstruksi reaktor filtrasi, yang mencakup perakitan unit reaktor dan persiapan media filter, bersama dengan proses aklimatisasi. Proses ini merupakan bagian penting dalam mempersiapkan media filter untuk digunakan dalam reaktor filtrasi untuk pengolahan air limbah. Selanjutnya, karakterisasi awal air limbah yang mengandung amonia dilakukan dengan pengambilan sampel, pengujian awal pada sampel, dan penilaian kualitas sampel air limbah terhadap kriteria kualitas efluen standar sebagaimana diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 68 Tahun 2016.

Tahap analisis data melibatkan evaluasi sampel air limbah yang telah diolah berdasarkan parameter yang telah ditentukan sebelumnya, sehingga memberikan wawasan berharga untuk penarikan kesimpulan.

Tahap penarikan kesimpulan mensintesis temuan dari penelitian ini, menentukan efektivitas pengolahan air limbah yang mengandung amonia menggunakan biofilter dengan media gel PVA melalui penilaian hasil seperti suhu, DO, pH, amonia, COD, nitrat, dan nitrit.

Media gel PVA, yang terdiri dari polyvinyl alcohol, memiliki sifat unik yang membuatnya efektif dalam mengurangi amonia dan kontaminan lainnya dalam air limbah. Media ini dapat menyerap air dalam jumlah besar, transparan, elastis, dan kompatibel dengan organisme hidup. Dalam konteks penghilangan amonia, media gel PVA yang diinokulasi dengan bakteri nitrifikasi dicampur dengan sabut kelapa sebagai media tambahan, yang menawarkan beberapa manfaat seperti peningkatan luas permukaan untuk pertumbuhan biofilm, stabilisasi mikroba, dan peningkatan efisiensi penyerapan polutan.

Penelitian ini menggunakan metodologi eksperimental dengan jenis

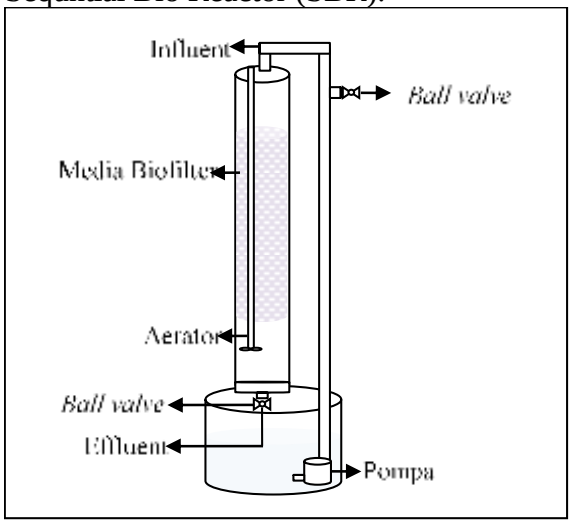
Copyright © 2022, Template JIM: Jurnal Ilmiah Multidisiplin
ISSN: 2964-6723 (Online)

penelitian kuantitatif untuk membandingkan berbagai jenis reaktor dalam mengurangi tingkat polutan dalam sampel air limbah buatan.

Konfigurasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada skala kecil atau laboratorium, menggunakan peralatan pengolahan yang dirancang dengan lima reaktor biofilter. Setiap reaktor memiliki diameter 5 cm dan tinggi 100 cm, diisi dengan media biofilter yang telah diinokulasi dan diaklimatisasi dengan bakteri nitrifikasi. Sistem ini dilengkapi dengan aerator untuk memberikan aerasi terus-menerus selama proses pengolahan, memastikan pasokan oksigen yang memadai untuk nitrifikasi yang efektif.

Reaktor biofilter beroperasi di bawah sistem Batch Reactor. Dalam pengaturan ini, influen dimasukkan di bagian atas reaktor, dan setelah menjalani pengolahan, efluen diresirkulasi kembali ke dalam sistem sebagai influen dengan bantuan pompa yang beroperasi terus-menerus selama 4 jam. Laju alir air limbah diatur pada 30 mL per 10 detik, seperti yang diilustrasikan pada gambar di bawah ini. Selama 4 jam volume adalah tipikal waktu detensi untuk reaktor Sequntial Bio Reactor (SBR).



Gambar 1 Desain Reaktor Biofilter

Sampel Air Limbah Buatan

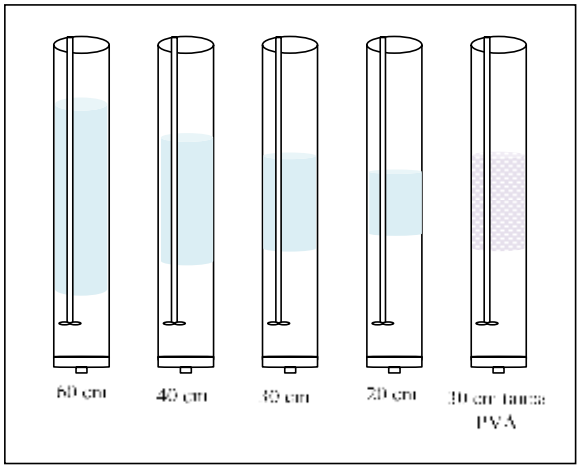
Influen, yang mengandung konsentrasi amonia sekitar 40 mg/L dan COD atau BOD sekitar 300 mg/L, disiapkan dengan melarutkan 160 mg amonium klorida (NH_4Cl) dan 380 mg glukosa ke dalam 1 liter air. Karakteristik awal sampel air limbah buatan kemudian diuji, menghasilkan pH 8,19, suhu 24°C, oksigen terlarut 2,40 mg/L, nilai permanganat 293,3 mg/L, amonia 48,65 mg/L, dan nitrit 0,059 mg/L. Semua parameter ini melebihi standar kualitas air limbah yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 68 Tahun 2016.

Media Biofilter

Penelitian ini menggunakan lima variasi media biofilter dengan ketinggian yang berbeda (60 cm, 40 cm, 30 cm, dan 20 cm) untuk menentukan konfigurasi yang paling efektif dan efisien dalam mengolah air limbah yang mengandung amonia dan untuk memperoleh Surface Area Loading Rate (SALR) untuk amonia. Selain itu, reaktor kontrol dengan ketinggian media biofilter 30 cm tanpa gel PVA digunakan untuk mengevaluasi apakah penambahan gel PVA meningkatkan kinerja reaktor.

Persiapan media biofilter melibatkan beberapa langkah: sabut kelapa dibersihkan secara menyeluruh, disterilkan, dan diambil sampel menggunakan metode pengambilan sampel komposit. Diameter pori sabut kelapa diukur dengan mikroskop, dan luas permukaan dalam reaktor biofilter dihitung. Sabut kemudian dilapisi dengan larutan gel PVA dan dikeringkan. Setelah pengeringan, sabut yang dilapisi gel PVA diinokulasi dengan bakteri nitrifikasi. Media biofilter, yang terdiri dari sabut kelapa + gel PVA dengan pertumbuhan bakteri nitrifikasi, diaklimatisasi dengan air limbah amonia buatan selama 14 hari, dimulai dengan konsentrasi rendah dan secara bertahap meningkat hingga konsentrasi target.

Copyright © 2022, Template JIM: Jurnal Ilmiah Multidisiplin
ISSN: 2964-6723 (Online)



Gambar 2 Variasi Ketebalan Media Biofilter

Teknik Pengukuran

Pengukuran amonia dalam sampel air limbah, yang diambil dari baik aliran masuk maupun keluar biofilter, akan dilakukan langsung di Laboratorium Kimia Dasar dan Kimia Lingkungan di Universitas Pelita Bangsa. Pengukuran akan dilakukan pada interval 10 menit selama 60 menit pertama operasi reaktor, interval 30 menit dari 60 hingga 90 menit, dan interval 60 menit dari 90 hingga 240 menit. Instrumen yang digunakan akan mencakup pH meter, termometer digital, dan DO meter digital, serta seperangkat alat dan bahan untuk pengujian amonia sesuai dengan SNI 06-6989.30-2005. Pengukuran COD akan diperoleh dari nilai permanganat sesuai dengan SNI 06-6989.22-2004, sementara kadar nitrit dan nitrat akan diukur menggunakan metode SNI 06-6989.9-2004 dan SNI 06-6856-2002, masing-masing.

Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini dirancang untuk mengevaluasi efektivitas proses pengolahan air limbah, dengan fokus pada parameter utama seperti kadar amonia, Chemical Oxygen Demand (COD), dan kadar Dissolved Oxygen (DO). Tujuan utama adalah untuk mengukur penurunan konsentrasi amonia dan COD serta peningkatan kadar DO, yang merupakan indikator kritis keberhasilan pengolahan. Efisiensi penghilangan polutan dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Efisiensi} = (a-b)/a \times 100\%$$

dimana:

- a mewakili konsentrasi polutan sebelum pengolahan,
- b mewakili konsentrasi polutan setelah pengolahan.

Dalam persamaan ini, aaa mewakili konsentrasi polutan sebelum pengolahan (influent), dan bbb mewakili konsentrasi polutan setelah pengolahan (effluent). Metrik efisiensi ini memungkinkan penilaian sederhana tentang seberapa baik proses pengolahan mengurangi kontaminan.

Pengaturan eksperimen di laboratorium adalah reaktor skala pilot yang dirancang untuk mensimulasikan kondisi dunia nyata dari reaktor batch selama periode operasi tiga jam. Tujuannya adalah untuk mencerminkan kinerja reaktor skala penuh, memberikan data yang dapat diekstrapolasi untuk menginformasikan desain dan optimasi sistem pengolahan yang sebenarnya. Hasil dari lingkungan terkontrol ini akan memberikan wawasan berharga tentang kinerja yang diharapkan dari reaktor yang lebih besar di lapangan, memungkinkan prediksi dan keputusan desain yang lebih akurat.

Untuk lebih memvalidasi temuan, analisis regresi akan digunakan untuk meneliti hubungan antara berbagai kondisi operasional dan dampaknya terhadap efisiensi pengolahan. Pendekatan statistik ini akan membantu menentukan apakah variasi parameter operasional secara signifikan mempengaruhi hasil pengolahan, memberikan pemahaman yang kuat tentang dinamika proses. Dengan menganalisis hubungan ini, penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan kondisi operasional untuk penghilangan polutan maksimal, sehingga meningkatkan efisiensi keseluruhan proses pengolahan air limbah.

Penerapan Model Isoterm Langmuir untuk Menganalisis

Data Eksperimental Model isoterm Langmuir, yang banyak digunakan untuk

Copyright © 2022, Template JIM: Jurnal Ilmiah Multidisiplin
ISSN: 2964-6723 (Online)

mengkarakterisasi proses adsorpsi, sangat relevan dalam konteks evaluasi kinerja media biofilter untuk penghilangan amonia dari air limbah. Model ini beroperasi dengan asumsi bahwa adsorpsi terjadi pada permukaan homogen dengan sejumlah situs identik yang terbatas, setiap situs menampung hanya satu molekul adsorbat, dan proses adsorpsi menghasilkan pembentukan monolayer.

Dasar-Dasar Isoterm Langmuir: Isoterm Langmuir secara matematis diwakili oleh persamaan:

$$1/qe=1/qmax+1/(qmax.KL)\cdot 1/(Ce)$$

dimana:

- qe adalah jumlah adsorbat per satuan massa adsorben pada kesetimbangan (mg/g),
- Ce adalah konsentrasi kesetimbangan adsorbat dalam larutan (mg/L),
- qmax menunjukkan kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g),
- KL adalah konstanta Langmuir, yang terkait dengan afinitas situs pengikatan (L/mg).

Persamaan ini memberikan dasar untuk mengukur kapasitas dan afinitas adsorpsi, memfasilitasi penilaian yang lebih ketat tentang kinerja adsorptif media biofilter.

Transformasi Data Eksperimental:

Untuk penerapan model Langmuir, penting untuk mengubah data eksperimental menjadi format yang cocok untuk analisis regresi linear. Secara khusus, untuk setiap interval waktu dalam data eksperimen, konsentrasi kesetimbangan amonia Ce dan jumlah yang diserap per satuan massa media biofilter qeq_eqe harus dihitung. Jumlah adsorpsi qe dapat diperoleh menggunakan persamaan berikut:

$$qe=(C0-Ce)\cdot V/A$$

dimana: •

- C0 adalah konsentrasi awal amonia (mg/L)
- V adalah volume larutan (L)
- A adalah luas permukaan media biofilter (m2)

Transformasi ini memungkinkan data eksperimen untuk diplot dengan cara yang konsisten dengan bentuk linear dari persamaan Langmuir.

Plot dan Analisis Isoterm Langmuir:

Setelah transformasi data, langkah berikutnya melibatkan pembuatan plot isoterm Langmuir dengan memplot 1/qe terhadap 1/Ce. Bentuk linear dari persamaan Langmuir sangat penting dalam hal ini:

$$1/qe=1/qmax+1/qmaxKL\cdot(1/Ce)$$

Dalam plot ini:

- Titik potong y mewakili 1/qmax, memberikan wawasan tentang kapasitas adsorpsi maksimum media biofilter. •
- Kemiringan garis sesuai dengan 1/qmaxKL, dari mana konstanta Langmuir KL, yang menunjukkan afinitas adsorpsi, dapat disimpulkan.

Interpretasi Parameter Langmuir:

- Kapasitas Adsorpsi Maksimum atau Surface Area Loading Rate (SALR) (qmax): Parameter ini mengukur jumlah maksimum amonia yang dapat diadsorpsi oleh media biofilter dalam kondisi eksperimental. Nilai qmax yang lebih tinggi menunjukkan kapasitas yang lebih besar dari media untuk menghilangkan amonia dari larutan.
- Konstanta Langmuir (KL): Konstanta Langmuir mencerminkan kekuatan interaksi antara molekul amonia dan permukaan adsorben. Nilai KL yang lebih besar menunjukkan afinitas yang lebih kuat, yang menyiratkan bahwa media lebih efektif dalam menangkap dan menahan molekul amonia.

Penerapan pada Data Eksperimental:

Untuk setiap tinggi media biofilter dan keberadaan atau tidak adanya gel PVA, langkah-langkah di atas diterapkan secara sistematis:

- Nilai-nilai qe dan Ce dihitung untuk setiap interval waktu.
- Plot linear dari 1/qe dibuat untuk setiap kondisi.

Copyright © 2022, Template JIM: Jurnal Ilmiah Multidisiplin
ISSN: 2964-6723 (Online)

Kemiringan dan titik potong dari plot ini digunakan untuk menentukan qmax dan KL, masing-masing.

Analisis Komparatif Antara Kondisi Media:

Dengan membandingkan nilai qmax dan KL di antara berbagai tinggi media dan kondisi (dengan dan tanpa gel PVA), seseorang dapat secara ketat mengevaluasi efektivitas setiap konfigurasi dalam mengadsorpsi amonia. Analisis ini tidak hanya akan mengungkapkan tinggi media dan komposisi yang optimal tetapi juga memberikan wawasan kritis tentang skala sistem biofilter ini untuk aplikasi industri.

Penerapan model isoterm Langmuir dengan demikian menyediakan kerangka kerja yang kuat untuk memahami dinamika adsorpsi dalam sistem biofilter, memungkinkan optimasi parameter desain untuk meningkatkan efikasi pengolahan air limbah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Serat Sabut Kelapa

Sabut kelapa, juga dikenal sebagai serat kelapa, adalah bahan alami yang berasal dari sabut kelapa. Ini umumnya digunakan dalam berbagai aplikasi lingkungan dan industri karena struktur fibernya yang tahan lama dan berpori tinggi. Dalam konteks tabel ini, sabut kelapa digunakan sebagai media biofilter dalam reaktor, kemungkinan untuk pengolahan air limbah. Karakteristik sabut kelapa yang relevan dengan fungsinya dalam biofilter diuraikan dalam tabel.

Deskripsi yang digunakan dalam percobaan: Diameter bahan sabut kelapa diberikan sebagai 0,0508 meter (m). Nilai ini mewakili ketebalan atau ukuran tipikal serat sabut yang digunakan dalam biofilter. Luas Penampang: Luas penampang dihitung sebagai 0,002027646 meter persegi (m^2). Ini adalah luas dari satu penampang serat sabut, yang penting untuk menentukan berapa banyak luas permukaan yang tersedia untuk penempelan mikroba dan proses filtrasi. Rasio Area/Volume: Rasio area terhadap volume adalah 727 meter persegi per meter kubik (m^2/m^3). Rasio yang tinggi ini menunjukkan bahwa sabut kelapa memiliki luas permukaan yang besar relatif terhadap volumenya, yang bermanfaat dalam biofiltrasi karena menyediakan lebih banyak ruang untuk pembentukan biofilm dan penghilangan polutan. Volume dan Luas Permukaan untuk Ketinggian Berbeda: Tabel ini juga memberikan nilai untuk volume dan luas permukaan sabut kelapa saat digunakan pada ketinggian yang berbeda (60 cm, 40 cm, 30 cm, dan 20 cm) dalam reaktor (lihat tabel di bawah ini):

Perhitungan Luas sabut kelapa dalam eksperimen

Perhitungan Luas Penampang 1 sabut kelapa:

- $\pi d2/4$ Luas penampang: 0.002027646 meter persegi (m^2) ($\pi \times (0.0508 \text{ meter})^2 / 4$)

Rasio Area terhadap Volume:

- Rasio Area terhadap Volume = Luas Permukaan / Volume = 727 meter persegi per meter kubik (m^2/m^3)

Luas Penampang:

- Luas dari satu penampang serat sabut, yang penting untuk menentukan berapa banyak luas permukaan yang tersedia untuk penempelan mikroba dan proses filtrasi.

Perhitungan Rasio Area/Volume:

- Rasio area terhadap volume memberikan ukuran berapa banyak area permukaan yang tersedia dalam volume media tertentu, yang penting untuk efisiensi biofiltrasi.
- Perhitungan Volume dan Luas Permukaan: Volume dan luas permukaan sabut kelapa dihitung untuk ketinggian yang berbeda, yang penting untuk menentukan kapasitas biofilter dalam aplikasi praktis.

Tabel 2 Karakteristik Sabut Kelapa pada Ketinggian Media Berbeda

Tinggi Media Volume Luas Permukaan

Tinggi Media	Volume	Luas Permukaan
60 cm	0.001 m 2 3	0.88 m2

Copyright © 2022, Template JIM: Jurnal Ilmiah Multidisiplin
ISSN: 2964-6723 (Online)

40 cm	0.0008	m3	0.59 m2
30 cm	0.0006	m3	0.44 m2
20 cm	0.0004	m3	0.29 m2

Nilai-nilai ini menunjukkan jumlah sabut kelapa (dalam hal volume) yang digunakan dalam reaktor pada berbagai ketinggian dan luas permukaan yang tersedia untuk proses filtrasi. Semakin besar volumenya, semakin luas pula permukaan yang tersedia, yang secara umum meningkatkan efektivitas proses biofiltrasi.

Data Eksperimen

Data dan grafik yang sesuai menjelaskan kinetika penghilangan amonia dalam sistem biofilter yang menggunakan media sabut kelapa dengan ketinggian yang bervariasi, baik dengan maupun tanpa penambahan gel PVA. Eksperimen ini dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas konfigurasi media yang berbeda dalam mengurangi konsentrasi amonia selama periode 360 menit (6 jam).

Pengaturan Eksperimen dan Observasi Awal:

Eksperimen dimulai dengan konsentrasi awal amonia yang seragam, sekitar 48,65 mg/L pada semua pengaturan reaktor. Ketinggian media yang diuji termasuk 60 cm, 40 cm, 30 cm, dan 20 cm, serta media 30 cm tanpa gel PVA. Pengukuran konsentrasi amonia dilakukan pada interval tertentu untuk menilai efisiensi temporal pengurangan amonia pada setiap pengaturan (lihat tabel 3 dan gambar3) .

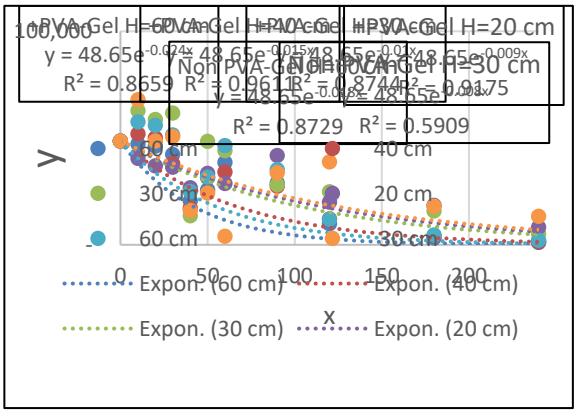
Tabel 3 Data Kinetika Penyisihan Amonia

Debit = 1 ml/s

Time (Hours)	Time (minutes)	Height of the Media with PVA Gel				Without PVA-Gel	
		60 cm	40 cm	30 cm	20 cm	60 cm	30 cm
-	0	48.65	48.65	48.65	48.65	48.65	48.65
0.17	10	47.21	51.93	62.79	40.45	57.63	67.91
0.33	20	46.19	50.08	58.69	36.97	56.02	48.65
0.50	30	42.30	37.99	61.76	36.35	51.50	50.70
0.67	40	20.57	17.30	13.61	26.72	25.02	16.07
0.83	50	25.70	31.43	48.44	33.48	31.74	24.26
1.00	60	38.61	34.10	44.14	28.77	46.51	3.98
1.50	90	28.98	27.54	28.16	41.89	35.18	33.69
2.00	120	9.92	12.17	24.88	19.96	12.03	38.81
3.00	180	3.31	4.06	15.86	18.52	4.60	18.11
4.00	240	1.10	1.35	5.29	8.28	2.18	13.40
5.00	300	0.01	0.45	1.76	2.76	0.16	4.47
6.00	360	0.001	0.15	1.00	1.38	0.01	1.49
	Rumus	$y = 48.65$	$y = 48.65e^{-}$	$y = 48.65e^{-}$	$y = 48.65$	$y = 48.65e^{-}$	$y = 48.65^{e}$

Copyright © 2022, Template JIM: Jurnal Ilmiah Multidisiplin
ISSN: 2964-6723 (Online)

Debit = 1 ml/s							
Time (Hours)	**Time (minutes)**	Height of the Media with PVA Gel				Without PVA-Gel	
		60 cm	**40 cm**	**30 cm**	**20 cm**	**60 cm**	**30 cm**
		$e^{-0.024x}$ R^2 = 0.8659	0.015x R^2 = 0.9611	0.01x R^2 = 0.8744	$e^{-0.009x}$ R^2 = 0.9175	0.018x R^2 = 0.8729	-0.008x R^2 = 0.5909



Gambar 1 Grafik Kinetika Penyisihan Amonia

Hasil dan Analisis:

Data menunjukkan bahwa media setinggi 60 cm dengan gel PVA menunjukkan pengurangan konsentrasi amonia yang paling cepat dan efektif, mencapai hampir nol (sekitar 0 mg/L) dalam waktu 300 menit. Sebaliknya, media setinggi 30 cm tanpa gel PVA menunjukkan penghilangan amonia yang paling tidak efisien, dengan konsentrasi sisa sekitar 1,49 mg/L pada akhir periode 360 menit.

Pengurangan amonia pada berbagai konfigurasi media mengikuti model peluruhan eksponensial, yang dicirikan oleh persamaan $y=48.65.e-kx$, di mana y mewakili konsentrasi amonia, x menunjukkan waktu, dan k adalah konstanta peluruhan yang spesifik untuk setiap ketinggian media. Konstanta peluruhan ini bervariasi di antara konfigurasi yang berbeda, dengan nilai k yang lebih tinggi menunjukkan pengurangan konsentrasi amonia yang lebih cepat.

Koefisien korelasi (nilai R^2) yang diperoleh dari analisis regresi menunjukkan kesesuaian model eksponensial dengan data eksperimen. Terutama, media setinggi 60 cm dengan gel PVA mencapai nilai R^2 tertinggi (0,9611), yang mencerminkan kesesuaian yang kuat antara data eksperimen dan model eksponensial. Sebaliknya, media setinggi 30 cm tanpa gel PVA menghasilkan nilai R^2 yang lebih rendah (0,5090), menunjukkan pola penghilangan amonia yang kurang konsisten dari waktu ke waktu.

Diskusi:

Grafik menunjukkan tren ini secara visual, di mana setiap kurva mewakili konsentrasi amonia dari waktu ke waktu untuk setiap ketinggian media. Kemiringan kurva menunjukkan laju penghilangan amonia, dengan media setinggi 60 cm dengan gel PVA menunjukkan penurunan yang paling tajam. Tren ini menekankan efisiensi yang lebih tinggi dari konfigurasi media yang lebih tinggi dengan gel PVA dalam memfasilitasi pengurangan amonia.

Sebagai perbandingan, media dengan ketinggian yang lebih pendek, terutama yang tanpa gel PVA, menunjukkan penurunan konsentrasi amonia yang lebih lambat, menunjukkan efisiensi yang lebih rendah. Garis fit eksponensial yang ditunjukkan pada grafik mengikuti titik data untuk media setinggi 60 cm dan 40 cm dengan gel PVA, yang mengukuhkan validitas model peluruhan eksponensial dalam menggambarkan proses penghilangan amonia.

Perhitungan SALR

Persiapan Data:

Untuk waktu operasi 4 jam, data dapat dirangkum sebagai berikut:

Dataset yang disediakan melibatkan adsorpsi amonia pada media biofilter (sabut kelapa) dengan dan tanpa penggunaan Gel PVA pada ketinggian media yang berbeda

Copyright © 2022, Template JIM: Jurnal Ilmiah Multidisiplin
ISSN: 2964-6723 (Online)

(60 cm, 40 cm, 30 cm, 20 cm). Tujuannya adalah untuk menentukan kapasitas adsorpsi dan konstanta Langmuir, yang penting untuk memahami efisiensi sistem biofilter dalam kondisi yang berbeda.

Isoterm Langmuir:

Isoterm Langmuir digunakan untuk menggambarkan proses adsorpsi, di mana qe (jumlah adsorbat per unit area adsorben) dan Ce (konsentrasi kesetimbangan adsorbat) mengikuti hubungan tertentu:

$1/qe = 1/qmax + (1/qmax.KL)\cdot(1/Ce)$

Di mana:

• qmax adalah kapasitas adsorpsi maksimum.

• KL adalah konstanta Langmuir yang terkait dengan afinitas situs pengikatan.

Perhitungan Langkah-demi-Langkah:

1. Pengaturan Data:

o Ce adalah konsentrasi kesetimbangan amonia setelah adsorpsi.

o qe dihitung sebagai $qe = (C0 - Ce) \cdot V / A$, di mana C0 adalah konsentrasi awal, V adalah volume larutan dalam waktu operasi 4 jam, dan A adalah luas media.

2. Linearization:

o Persamaan isoterm Langmuir dilinearisasi untuk plot 1/qe vs. 1/Ce.

o Linearization ini membantu dalam menentukan qmax dan KL melalui kemiringan dan intercept.

3. Parameter Isoterm Langmuir:

o Kemiringan garis yang diperoleh dari plot adalah 1/qmaxKL.

o Intercept adalah 1/qmax.

o Dari grafik yang disediakan:

- Untuk kondisi dengan PVA-Gel:
- 1/qmax = 0,4655
- 1/qmaxKL = 0,7716
- Untuk kondisi tanpa PVA-Gel:
- 1/qmax = 0,7835
- 1/qmaxKL = 1,1734

4. Perhitungan qmax dan KL:

o qmax dihitung sebagai kebalikan dari intercept.

o KL dihitung dengan membagi kemiringan dengan intercept.

- Berdasarkan perhitungan:
- Untuk kondisi dengan PVA-Gel:
- qmax = 1 / 0,4655 = 2,15 mg/m²
- KL = 1 / (0,7716 / 0,4655) = 0,60
- Untuk kondisi tanpa PVA-Gel:
- qmax = 1 / 0,7835 = 1,28 mg/m²
- KL = 1 / (1,1734 / 0,7835) = 0,67

Interpretasi:

 Nilai qmax yang lebih tinggi atau Surface Area Loading Rate (SALR) untuk kondisi dengan PVA-Gel menunjukkan bahwa media biofilter dengan Gel PVA memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih tinggi dibandingkan dengan media tanpa Gel PVA.

 Nilai KL mewakili afinitas adsorben terhadap adsorbat. Nilai KL yang sedikit lebih rendah pada kondisi PVA-Gel menunjukkan afinitas yang sebanding namun sedikit berkurang dibandingkan dengan kondisi tanpa PVA, mungkin karena adanya gel yang mempengaruhi dinamika adsorpsi.

Analisis ini menunjukkan bahwa keberadaan Gel PVA meningkatkan kapasitas adsorpsi media biofilter, menjadikannya pengolahan yang lebih efektif untuk air limbah yang mengandung amonia. Model Langmuir memberikan kecocokan yang baik, seperti yang ditunjukkan oleh nilai R^2 mendekati 1, menunjukkan bahwa data adsorpsi sesuai dengan isoterm Langmuir.

KESIMPULAN

Berdasarkan temuan dan diskusi dari penelitian tentang pengolahan air limbah amonia menggunakan biofilter dengan media gel PVA, beberapa kesimpulan penting dapat diambil:

a. Temuan studi ini menekankan peran penting ketinggian media dan inklusi gel PVA dalam meningkatkan efisiensi penghilangan amonia dalam sistem biofilter. Media setinggi 60 cm dengan gel PVA tidak hanya mencapai pengurangan konsentrasi amonia yang paling signifikan tetapi juga menunjukkan tingkat konsistensi yang tinggi, sebagaimana dibuktikan oleh korelasi yang kuat dengan model peluruhan eksponensial. Hasil ini menunjukkan bahwa mengoptimalkan ketinggian media dan mengintegrasikan gel PVA dapat secara signifikan meningkatkan kinerja sistem biofilter dalam aplikasi pengolahan air limbah.

b. Studi ini menggunakan air limbah buatan yang disiapkan dengan melarutkan amonium klorida dan glukosa dalam air,

Copyright © 2022, Template JIM: Jurnal Ilmiah Multidisiplin
ISSN: 2964-6723 (Online)

menghasilkan kualitas air awal dengan kadar amonia 48,65 mg/L, COD/BOD 300 mg/L, pH 8,19, suhu 24°C, oksigen terlarut 2,40 mg/L, nilai permanganat 293,3 mg/L, dan nitrit 0,059 mg/L. Semua parameter ini melebihi standar kualitas air limbah yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 68 Tahun 2016, menekankan perlunya pengolahan untuk mencapai standar kualitas air yang aman.

Setelah diolah menggunakan reaktor biofilter dengan sistem Sequencing Batch Reactor (SBR), terdapat penurunan yang signifikan dalam kandungan materi organik dan konsentrasi amonia. Reaktor dengan lapisan sabut kelapa setebal 60 cm yang dilapisi gel PVA menunjukkan pengurangan tertinggi, dengan efisiensi penghilangan nilai permanganat sebesar 99,78% dan efisiensi penghilangan amonia sebesar 114,15%. Hasil ini menunjukkan pengolahan air limbah yang efektif, menjadikan kombinasi media sabut kelapa setinggi 60 cm dan gel PVA sebagai metode yang sangat efisien untuk pengurangan amonia.

DAFTAR PUSTAKA

Anisa, Ana, Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Institut Teknologi, and Sepuluh Nopember. 2017. "Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) Dengan Proses Aerobik-Anoksik Untuk Menurunkan Nitrogen" 6 (2).

Bengtson, Harlan H. 2017. "Biological Wastewater Treatment Process Design Calculations." In Copyright © 2017 by Harlan H. Bengtson, 116.

D. Zerrouki, A.Benhadji, M. Taleb Ahmed. 2011. "Treatment of Textile Dye Wastewater by Electrocoagulation Method." Advanced Materials Research 281. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.281.276.

HOA, TRAN THI HIEN, LUONG NGOC KHANH, LIU ZHIJUN, TAKAO FUJII, JOSEPH D. ROUSE, and KENJI FURUKAWA. 2006. "Nitrogen Removal by Immobilized Anammox Sludge Using PVA Gel as Biocarrier." Japanese Journal of Water Treatment Biology 42 (3): 139–49.

Mara, Duncan. 2004. Domestic Wastewater Treatment in Developping Countries. Earthscan. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004.

Menteri Lingkungan Hidup, *. 2014. "Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014." Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia, no. 1815: 56.

Nkwonta, Onyeka, and George Ochieng. 2009. "Roughing Filter for Water Pre-Treatment Technology in Developing Countries: A Review." International Journal of Physical … 4 (9): 455–63. http://www.academicjournals.org/IJPS/PDF/pdf2009/September/Nkwonta and Ochieng.pdf.

Rajpal, Ankur, Ghazal Srivastava, Akansha Bhatia, Jasdeep Singh, Yuu Ukai, and A. A. Kazmi. 2021. "Optimization to Maximize Nitrogen Removal and Microbial Diversity in PVA-Gel Based Process for Treatment of Municipal Wastewater." Environmental Technology and Innovation 21 (December). https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101314.

Said, Nusa Idaman, Muhammad Rizki Sya, Penghilangan Amoniak, Di Dalam, Air Limbah, Teknologi Moving Bedbiofilmreaktor, and Kata Kunci. 2014. "Penghilangan Amoniak Di Dalam Air Limbah Domestik Dengan Proses Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)." Pusat Teknologi Lingkungan, (PTL) – BPPT 7 (1).

Sulistia, Susi, and Alifya Cahaya Septisya. 2020. "Analisis Kualitas Air Limbah Domestik Perkantoran." Jurnal Rekayasa Lingkungan 12 (1): 41–57. https://doi.org/10.29122/jrl.v12i1.3658.

Vandith, Va, Ahmad Soleh Setiyawan, Prayatni Soewondo, Pom Bophann, and Hardjono. 2018. "Kinetics of Nutrient Removal in an On-Site Domestic Wastewater Treatment Facility." MATEC Web of Conferences 147: 1–7. https://doi.org/10.1051/matecconf/201814704004.

Wang, Yibo, Yonghong Liu, Minquan Feng, and Lina Wang. 2018. "Study of the

Copyright © 2022, Template JIM: Jurnal Ilmiah Multidisiplin
ISSN: 2964-6723 (Online)

Treatment of Domestic Sewage Using Pva Gel Beads as a Biomass Carrier." Journal of Water Reuse and Desalination 8 (3): 340–49. https://doi.org/10.2166/wrd.2017.181.

Copyright © 2022, Template JIM: Jurnal Ilmiah Multidisiplin
ISSN: 2964-6723 (Online)