

Pengolahan Air Limbah Industri Kayu Lapis secara Biologi dengan Sistem Pertumbuhan Melekat Menggunakan Media Biogrow dan Kaldness

Agnesy G. P. C. Kapitarauw¹, Vincentia Irene Meitinarti^{1*}, Chairul Anwar²

¹Program Studi Biologi, Fakultas Biologi, Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga, Indonesia; e-mail: irene.meitiniarti@uksw.edu

²PT Nusa Alam Kreasindo, Jl. Permata Argosari No.1&3, Randuacir, Salatiga, Indonesia

ABSTRAK

Industri kayu lapis merupakan sektor manufaktur penting di Indonesia. Namun, proses produksinya menghasilkan limbah cair mengandung bahan organik dan amonia dalam konsentrasi tinggi, yang apabila tidak diolah dengan baik dapat mencemari lingkungan. Selama ini, pengolahan limbah cair industri kayu lapis umumnya dilakukan secara kimiawi, yang meskipun cepat dan efisien dalam jangka pendek, memiliki beberapa kekurangan, seperti tingginya biaya operasional, produksi lumpur kimia yang besar, dan potensi menghasilkan residu berbahaya bagi lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan alternatif yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan, yaitu pengolahan secara biologis dengan memanfaatkan aktivitas mikroorganisme. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi persentase penurunan dua jenis media pertumbuhan melekat, yaitu *Biogrow* dan *Kaldness*, dalam menurunkan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan amonia pada air limbah industri kayu lapis. Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan rancangan acak lengkap, menggunakan sistem sinambung selama 10 hari, dan masing-masing perlakuan diulang sebanyak tiga kali. Proses pengolahan dilakukan dalam skala kecil (miniplan) dengan sistem pertumbuhan melekat, dan persentase penurunan pengolahan dianalisis berdasarkan persentase penurunan COD dan amonia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa media *Biogrow* lebih efisien dibandingkan *Kaldness*, dengan persentase penurunan COD mencapai 72,73% dan amonia sebesar 52,23%, sedangkan *Kaldness* hanya menurunkan COD sebesar 62,57% dan amonia sebesar 39,84%. Persentase penurunan yang lebih tinggi pada *Biogrow* diduga disebabkan oleh luas permukaan media yang lebih besar serta struktur yang mendukung pertumbuhan *biofilm* dan aktivitas mikroorganisme. Kesimpulannya, *Biogrow* lebih unggul dalam meningkatkan persentase penurunan pengolahan air limbah industri kayu lapis secara biologis dibandingkan *Kaldness*, dan berpotensi menjadi alternatif media pengolahan limbah yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Kata kunci: Amonia, COD, Industri kayu Lapis, Media Biogrow, Media Kaldness

ABSTRACT

The plywood industry is a vital manufacturing sector in Indonesia. However, its production processes generate wastewater containing high concentrations of organic matter and ammonia, which may cause environmental pollution if not properly treated. Currently, wastewater treatment in the plywood industry is generally carried out using chemical methods. Although these methods are relatively fast and effective in the short term, they have several drawbacks, including high operational costs, the production of large amounts of chemical sludge, and the potential generation of hazardous residues that may harm the environment. Therefore, alternative treatment approaches that are more environmentally friendly and sustainable are needed, particularly biological treatment that utilizes microbial activity. This study aims to evaluate the Chemical Oxygen Demand (COD) and ammonia efficiency of two attached-growth media, Biogrow and Kaldness, in plywood industry wastewater treatment. The research was conducted experimentally using a completely randomized design with a continuous system for 10 days, with three replications for each treatment. The treatment process was carried out at a small scale (miniplant) using an attached-growth system, and the treatment efficiency was analyzed based on the percentage reduction in COD and ammonia. The results showed that Biogrow medium exhibited higher removal efficiency than Kaldness. Biogrow reduced COD by 72.73% and ammonia by 52.23%, whereas Kaldness reduced COD by 62.57% and ammonia by 39.84%. The higher removal efficiency of Biogrow is likely related to its larger surface area and structure characteristic that support biofilm formation and microbial activity. In conclusion, Biogrow outperforms Kaldness in improving the biological removal efficiency of plywood industry wastewater and has the potential to serve as a more sustainable alternative treatment medium.

Keywords: Ammonia, Biogrow Media, COD, Kaldness Media, Plywood Industry

Citation: Kapitarauw, A. G. P. C., Meitinarti, V. I. dan Anwar, C. (2026). Pengolahan Limbah Industri Kayu Lapis secara Biologi Sistem Pertumbuhan Melekat Menggunakan Media Biogrow dan Kaldness. Jurnal Ilmu Lingkungan, 24(1), 92-100, doi:10.14710/jil.24.1.92-100

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu eksportir utama produk kayu di dunia, terutama dalam industri perKayuan (Anindya & Budyanra, 2024; Salsabila dkk., 2024). Salah satu sektor penting dalam industri ini adalah industri kayu lapis, yang memiliki potensi besar di Indonesia sejak lama. Namun, proses produksi kayu lapis tidak terlepas dari permasalahan limbah. Limbah, sebagai hasil dari proses produksi kayu lapis merupakan salah satu masalah utama yang sering muncul seiring dengan perkembangan industri. Limbah hasil industri ini memberi dampak negatif yang signifikan terhadap lingkungan dan menjadi persoalan serius dalam dunia industri (Asmoro & Widagdo 2021). Proses produksi kayu lapis umumnya menghasilkan limbah dengan karakteristik dan jumlah yang bervariasi, baik berupa limbah padat maupun cair. Menurut Purwanto (2009), industri kayu menghasilkan limbah sebesar 40,48% dari total produksi. Oleh karena itu, diperlukan proses pengolahan limbah kayu lapis yang efektif agar limbah yang dibuang ke badan air atau lingkungan sekitar dapat memenuhi standar baku mutu yang diatur dalam Permen LHK RI No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah Industri Kayu Lapis. Limbah padat kayu lapis yang dihasilkan dalam proses produksi meliputi, sisa potongan panel, potongan veneer, potongan kayu, kulit kayu, sisa kupasan kayu, padatan lem, serbuk gergaji, lapisan poliester, permukaan film, sisa lumpur dari unit pengolahan air limbah, kertas kemasan, dan juga abu boiler. Sedangkan limbah cair yang dihasilkan sebagian besar berasal dari proses pencucian mesin perekat lem atau *glue spreader* dan juga dari proses pencucian alat-alat produksi, sehingga air limbah yang dihasilkan juga mengandung bahan perekat yang digunakan. Air limbah dari pencucian alat perekat lem dan dari mesin pendingin serta berbagai peralatan umumnya mengandung amonia dan formaldehida (Nauman dkk., 2023). Menurut Goncalves dkk. (2021), dalam air limbah industri yang menggunakan perekat fenol-formaldehida, akan ditemukan residu fenol, yang banyak menimbulkan dampak negatif bagi organisme. Menurut Haryanto (2018), kandungan utama perekat adalah resin (mencapai 70 sampai dengan 80 % dari total campuran dalam perekat), sedangkan sisanya merupakan bahan tambahan, yang komposisinya berbeda antara satu jenis perekat dengan yang lain. Walaupun air limbah industri kayu lapis ini banyak mengandung bahan kimia, namun berdasarkan perbandingan nilai BOD/COD menunjukkan bahwa air limbah industri kayu lapis dapat diolah secara biologi (Subari dkk., 2012). Berdasarkan karakteristik air limbah yang tinggi kandungan amonia dan bahan organik, maka air limbah yang dihasilkan dari kegiatan industri kayu lapis ini perlu ditentukan kadar COD dan Ammonia nya agar dapat diketahui apakah air limbah industri kayu lapis memenuhi standar baku mutu air limbah industri.

Proses pengolahan air limbah yang mengandung polutan senyawa organik, membutuhkan teknologi

yang melibatkan penggunaan mikroorganisme yang memiliki peran penting untuk menguraikan senyawa polutan organik (Sahubawa, 2008). Proses pengolahan yang digunakan untuk mengolah kandungan polutan organik ini adalah dengan menggunakan proses biologi. Salah satu nya adalah menggunakan metode pertumbuhan melekat (*attached growth*) (Waqas dkk., 2020; Wilson dkk., 2017). Pengolahan air limbah dengan metode pertumbuhan melekat atau *biofilm* merupakan proses pengolahan limbah biologi, dimana mikroorganisme yang digunakan, ditanam pada suatu media, sehingga mikroorganisme melekat pada permukaan media (Said & Santoso, 2015). Metode pengolahan air limbah dengan pertumbuhan melekat dinilai baik, karena dengan metode ini pengolahan air limbah menjadi lebih efektif, yaitu dapat menurunkan COD hingga 94,6% (Azimi dkk., 2019), selain itu penggunaan metode ini juga merupakan teknik yang menjanjikan untuk menurunkan kadar ammonia pada limbah atau lingkungan (Chaali dkk., 2018).

Beberapa media yang dapat digunakan dalam pengolahan limbah metode pertumbuhan melekat adalah *Kaldness* (K1) dan *Biogrow* (Sohail dkk., 2020; Roebuck, 2018). *Kaldness* K1 adalah jenis filter yang digunakan pada *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR). Pada MBBR, mikroorganisme tumbuh dan berkembangbiak pada media dengan sistem *fluidized attached growth* yang bergerak bebas di dalam ruang filtrasi (Rambosson, 2024). Media *Kaldness* ini merupakan media yang dibuat dari bahan *High-Density Polyethylene* (HDPE) dengan berat jenis $\pm 0,95 \text{ g/cm}^3$ dan berbentuk silinder kecil, menyilang di dalamnya dan berbentuk sirip di luarnya yang sering digunakan karena mempunyai luas permukaan yang cukup untuk melekatnya bakteri yaitu $\pm 500 \text{ m}^2/\text{m}^3$ (Awad dkk., 2023; Said & Santoso, 2015).

Media *Biogrow* merupakan media yang relatif barudengan karakteristik mampu memisahkan partikel berukuran mikron hingga submikron dan dapat mengontrol karakter sifat fisiko-kimianya, terutama hidrofilitasnya. Media ini memiliki luas permukaan yang besar, sehingga proses perlekatan mikroorganisme dapat berjalan dengan cepat, serta pengoperasian nya lebih mudah. Mikroorganisme umumnya dapat melekat dalam waktu 72 jam, dan sistem dapat berfungsi optimal dalam waktu satu bulan. Dibandingkan dengan media *Kaldness*, adalah pada *Kaldness*, *Biogrow* memiliki tingkat hidrofilitas yang lebih baik sehingga waktu perlekatan mikroorganisme relatif lebih cepat. Selain itu, penggunaan bahan berserat elastis pada *Biogrow* mampu menjaga struktur spiral yang membantu mempertahankan keadaan aerobik yang diperlukan bakteri untuk melekat. Dengan struktur *Biogrow* sedemikian ini dapat meningkatkan sirkulasi udara, mencegah pemadatan, dan memungkinkan oksigen masuk dengan optimal. Struktur tersebut juga mendukung drainase yang baik, sehingga mencegah genangan air yang dapat memicu kondisi anaerobik. Dengan adanya aliran udara yang terjaga, mikroorganisme aerobik dapat berkembang dengan

baik dan mendukung proses biologis yang optimal. Campuran bahan yang menggunakan serat polipropilena (PP) tebal dan tipis juga meningkatkan daya lekat bakteri, sehingga *biofilm* dapat terbentuk dengan mudah, sekaligus memungkinkan proses pelepasan *biofilm* secara alami yang mempercepat regenerasi mikroorganismenya.

Informasi penggunaan *Kaldness* sebagai media pelekatan mikroorganismenya dalam pengolahan air limbah telah banyak diketahui, namun informasi tentang persentase penurunan penggunaan *Kaldness* dan *Biogrow* dalam pengolahan air limbah industri kayu lapis masih sangat terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi penggunaan media *Biogrow* dan *Kaldness* dalam mengolah limbah cair hasil produksi kayu lapis, dan menentukan media yang memiliki persentase penurunan yang lebih baik dalam menurunkan COD dan amonia. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi persentase penurunan pengolahan air limbah industri kayu lapis dengan menggunakan sistem pertumbuhan melekat dengan media pelekatan yang berbeda, yaitu *Biogrow* dan *Kaldness* (K1).

2. METODE PENELITIAN

2.1. Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan satu faktor perlakuan, yaitu pengolahan aerob menggunakan pertumbuhan melekat yang berbeda,

yaitu *Biogrow* dan *Kaldness* (K1). Unit penelitian diulang 3 kali, yaitu air limbah yang sama diolah dalam tiga unit miniplan.

2.2. Alat dan Bahan

Penelitian ini dilakukan dalam skala kecil menggunakan Miniplan. Miniplan yang digunakan untuk setiap perlakuan, masing-masing terdiri dari bak ekualisasi (digunakan akuarium berukuran 35 × 29 × 29 cm), bak pengolahan biologi (digunakan akuarium berukuran 35 × 29 × 29 cm yang berisi media perlakuan dan aerator), dan bak sedimentasi (digunakan galon air mineral ukuran 15 liter).

Media yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu *Kaldness* KI (bahan HDPE dengan diameter ± 11 mm) dan *Biogrow* yang disediakan oleh PT. Nusa Alam Kreasindo (NAK) (Gambar 1). Selain itu diperlukan alat-alat untuk analisis parameter kimia air limbah, seperti alat-alat gelas, spektrofotometer UV-Vis Shimadzu, dan COD inkubator.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah air limbah yang berasal dari bak sedimentasi setelah proses pengolahan kimia dari PT Indotama Omicron Purworejo (Industri kayu lapis). Selain itu, diperlukan juga *BOD balancer*, enzim, dan resin bakteri (GreenBio) yang diperoleh dari PT NAK (Gambar 2), serta bahan-bahan kimia untuk analisis COD dan amonia, seperti larutan digesti, larutan standar Kalium Hidrogen Ptalat (KHP), reagen Nessler, dan lain-lain.



(a)

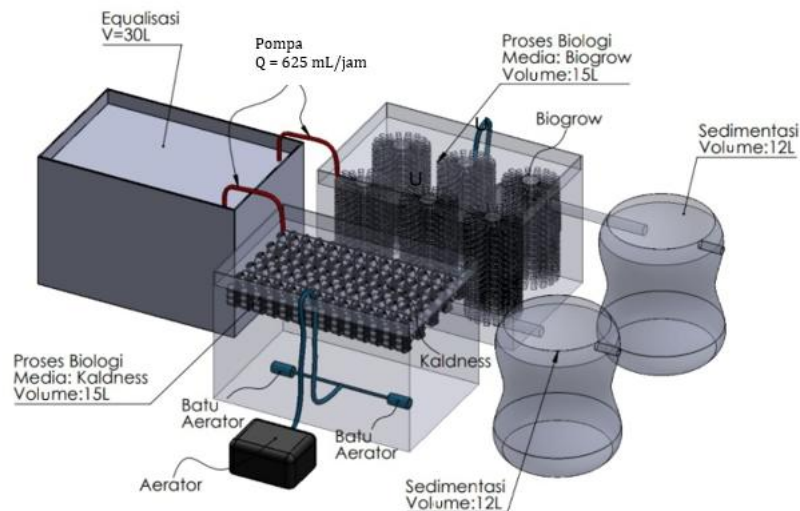


(b)

Gambar 1. Media Pertumbuhan Mikroba Berbentuk *Biogrow* (a) dan *Kaldness* (b)



Gambar 2. Resin Bacteria (GreenBio)



Gambar 3. Miniplan Pengolahan Air Limbah Perlakuan dengan Media *Biogrow* dan *Kaldness*

2.3. Prosedur Penelitian

a. Persiapan (*seeding*) bakteri pada media *Biogrow* dan *Kaldness*

Proses *seeding* bakteri pada media *Biogrow* dan *Kaldness* dilakukan pada bak perlakuan yang diaerasi. Ke dalam wadah, dimasukkan 60 gram resin bakteri yang dilarutkan dengan 5 L air bersih dan diaduk 30 menit sehingga homogen. Setelah itu, hasil pencampuran dimasukkan ke masing-masing bak perlakuan yang telah berisi media dan ditambah 250 mL enzim dan 250 mL *BOD balancer*. Campuran diaerasi selama 3 hari hingga terbentuk *biofilm* pada setiap medianya. Media dalam bak aerasi ini siap digunakan untuk mengolah air limbah.

b. Proses pengolahan

Miniplan sistem pengolahan yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Gambar 3. Air limbah yang akan diolah sebanyak 30 L, dimasukkan ke bak ekualisasi yang telah dipasang pengaduk untuk menghomogenkan karakter air limbah, seperti pH, suhu, serta konsentrasi bahan pencemar. Dari bak ekualisasi, air limbah akan dialirkan ke masing-masing bak perlakuan (media *Biogrow* atau *Kaldness*) menggunakan pompa dengan kecepatan 625 mL/jam. Pada bak perlakuan, juga telah dipasang aerator dengan daya 16 watt, kapasitas udara 30 L/menit, serta tekanan > 0,030 Mpa, yang dinyalakan selama 24 jam. Air limbah diproses di bak perlakuan dengan waktu tinggal 24 jam. Setelah 24 jam, air limbah yang telah diolah di bak perlakuan akan mengalir ke bak sedimentasi sebagai *overflow*. Pada bak sedimentasi, air limbah akan tinggal selama ± 24 jam. Air limbah diproses dengan sistem sinambung dan sampel diambil dari bak sedimentasi setiap 24 jam, mulai hari pertama hingga hari ke 10. Ulangan penelitian dilakukan sebanyak 3 kali. Parameter yang dianalisis setiap pengambilan sampel adalah kadar COD dan kadar Amonia. Persentase penurunan dari kedua media yang diuji dalam penelitian ini ditentukan berdasarkan nilai persentase penurunan parameter.

2.4. Analisis parameter

a. Penentuan Kadar COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Penentuan COD menggunakan metode SNI 6989.2:2019 secara spektrofotometrik (Ramadhan dkk., 2022). Sampel air limbah sebanyak 2,5 mL ditambah 1,5 mL larutan digesti dan 3,5 mL larutan pereaksi asam sulfat. Hasil pencampuran larutan tersebut kemudian dipanaskan dalam sistem refluks tertutup pada suhu 150°C selama 2 jam. Setelah selesai pemanasan, campuran reaksi didinginkan secara perlahan hingga suhu ruang. Selanjutnya, diambil bagian yang jernih dari campuran reaksi dan dilakukan pengukuran absorbansi menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 600 nm. Sebagai blanko, digunakan akuades yang diperlakukan sama dengan sampel. Kadar COD sampel diperoleh dengan mengonversikan absorbansi sampel ke persamaan linier kurva kalibrasi.

b. Penentuan Kadar Amonia

Kadar ammonia diukur menggunakan prosedur Kinyua dkk. (2016). Seratus mL sampel air limbah ditambah 1 mL larutan $ZnSO_4$ 10% (b/v), dan ditambah 0,4 - 0,5 ml NaOH 6 M untuk memperoleh pH 10,5 (gunakan pH meter untuk mengetahui kondisi pH). Setelah itu, campuran didiamkan selama ± 5 menit dan disaring menggunakan kertas saring. Dua puluh lima mL filtrat yang pertama dibuang dahulu dan diambil 50 mL filtrat sampel berikutnya, untuk digunakan dalam pengukuran amonia. Ke dalam sampel, ditambahkan 3 tetes larutan garam rochelle dan campur secara baik. Setelah itu, ke dalam campuran ditambahkan 1 ml reagen Nessler dan diencerkan hingga 100 ml menggunakan air suling. Campuran dihomogenkan dan diinkubasi selama ± 10 menit. Setelah selesai waktu inkubasi, campuran dimasukkan ke dalam kuvet 1 cm dan diukur absorbansinya pada panjang gelombang 425 nm. Sebagai blanko, digunakan air suling sebagai pengganti sampel dan diperlakukan dengan cara yang sama dengan sampel.

c. Perhitungan Persentase Penurunan Parameter

Persentase penurunan parameter COD atau Amonia dihitung menggunakan rumus Adi dkk. (2016). Persentase penurunan parameter ini digunakan untuk menentukan persentase penurunan proses pengolahan air limbah dalam menurunkan kadar polutan dari waktu ke waktu.

$$\text{Persentase Penurunan} = \frac{a-b}{a} \times 100\%$$

Keterangan:

a : Inlet (pengukuran awal) (mg/L)

b : Outlet (pengukuran akhir) (mg/L)

2.5. Analisis Data

Data nilai pengukuran COD dan Ammonia dianalisis menggunakan SPSS versi 25 (Field, 2014), meliputi Uji Normalitas menggunakan uji Shapiro-Wilks dan Uji homogenitas menggunakan uji Levenes dengan masing-masing taraf signifikansi 0.05. Apabila data terdistribusi secara normal dan homogen dilanjutkan dengan uji *One Way ANOVA* untuk mengetahui pengaruh persentase penurunan media *Biogrow* dan *Kaldness* terhadap nilai COD dan amonia pada air limbah pada industri kayu lapis, dengan taraf signifikansi 0.05.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengaruh Perlakuan Media *Biogrow* dan *Kaldness* Terhadap Nilai COD dan Amonia Limbah Cair Kayu Lapis

Hasil pengukuran COD dan amonia berdasarkan uji statistik terdapat pengaruh yang signifikan dari perlakuan media dan setiap pengukuran yang berbeda terhadap nilai COD ($P = 0,000$) dan N-NH₃ ($P = 0,000$), serta terdapat efek interaksi yang signifikan antara perlakuan media dan hari pengukuran yang berbeda terhadap Nilai COD ($P = 0,000$), sedangkan untuk kandungan amonia diketahui juga memberikan efek interaksi ($P = 0,000$). Nilai rata-rata COD dan amonia pada sampel air limbah awal (tanpa perlakuan), sampel air limbah yang telah diolah dengan media *Kaldness*, dan dengan media *Biogrow* (sistem alir sinambung) ditunjukkan pada Gambar 4.

Penggunaan media tambahan untuk pelekatan mikroba, seperti *Kaldness* dan *Biogrow* terbukti mampu menurunkan kadar COD dan amonia pada air limbah. Kadar COD pada luaran pengolahan dengan media *Biogrow* (106,67 mg/L) sudah sesuai baku mutu (125 mg/L), namun kadar amonia (113,33 mg/L) belum memenuhi baku mutu (4 mg/L). Terjadinya penurunan kadar COD dan amonia ini akibat aktivitas mikroorganisme yang memanfaatkan bahan organik dan nitrogen dalam air limbah sebagai sumber energi dan nutrisi. Media *Biogrow* dan *Kaldness* dirancang untuk mendukung pertumbuhan *biofilm* yang memberikan permukaan yang luas untuk pelekatan mikroorganisme dan kontak yang efisien dengan air limbah. Hal ini menyebabkan mikroorganisme bekerja lebih efisien dalam proses degradasi. Menurut Soedarmanto & Setiawati (2022), sistem *biofilm* memungkinkan mikroorganisme untuk

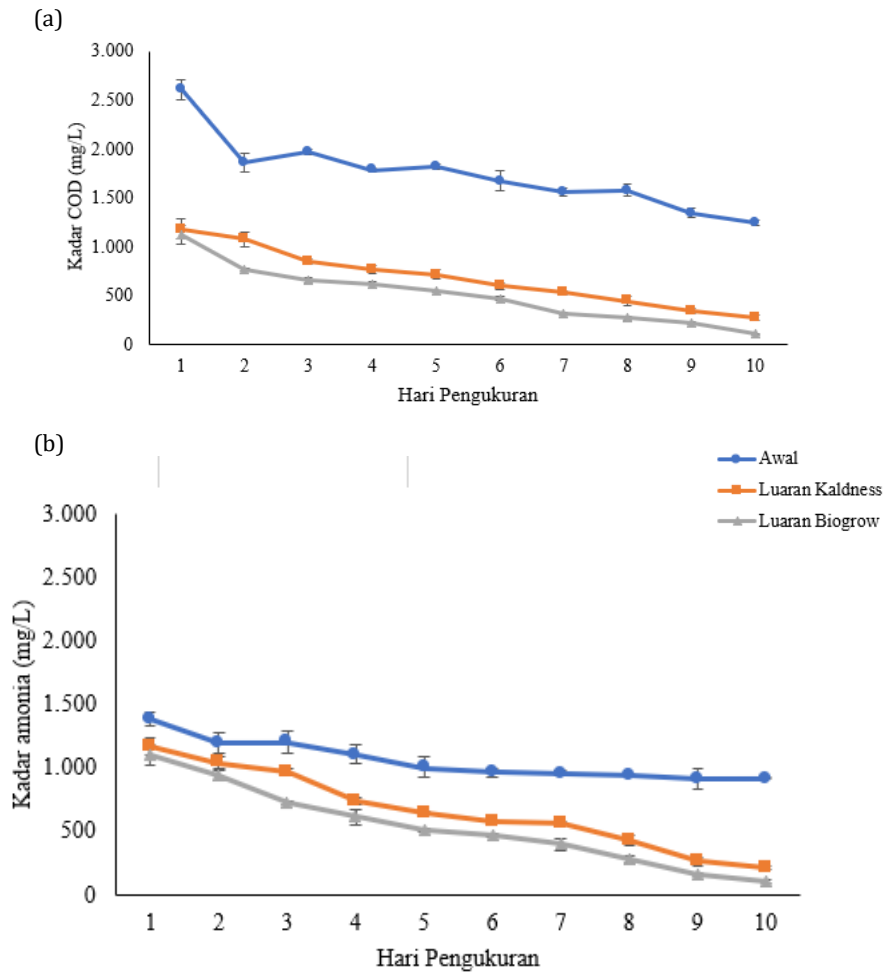
lebih tahan terhadap fluktuasi beban limbah dan meningkatkan persentase penurunan pengolahan. Berdasarkan hasil pengukuran kadar COD menunjukkan terjadi penurunan kadar COD yang lebih signifikan pada media *Biogrow* dibandingkan dengan *Kaldness*. Persentase penurunan yang lebih tinggi ini disebabkan desain dan struktur fisik media *Biogrow* yang lebih porous, sehingga memberikan area yang lebih luas dan memungkinkan pertumbuhan mikroorganisme yang lebih beragam. Menurut Murshid dkk. (2023), persentase penurunan pengolahan limbah sangat bergantung pada desain media *biofilm*. Haider dkk. (2022) juga menyatakan bahwa sistem dengan media yang memiliki struktur porositas tinggi dapat meningkatkan persentase penurunan penghilangan bahan organik. Dalam penelitian ini, area permukaan yang lebih besar, seperti pada *Biogrow* menjadi salah satu faktor yang memungkinkan pertumbuhan mikroorganisme lebih optimal. Untuk parameter amonia, penurunan konsentrasi amonia terutama disebabkan oleh proses nitrifikasi, yaitu konversi amonia menjadi nitrit dan nitrat oleh mikroba nitrifikasi, salah satunya adalah *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter* (Radu & Racoviteanu, 2021). Pada penelitian ini, kadar amonia hasil olahan belum mencapai baku mutu kemungkinan karena lingkungan mikro tidak cukup stabil untuk mendukung aktivitas bakteri nitrifikasi. Cui dkk. (2020) dan Garcia dkk. (2022) mengungkapkan bahwa nitrifikasi sangat bergantung pada stabilitas lingkungan, seperti konsentrasi oksigen terlarut, dan media dengan kapasitas retensi *biofilm* yang tinggi mendukung proses ini dengan baik.

3.2. Persentase Penurunan COD dan Amonia pada Perlakuan Media *Biogrow* dan *Kaldness*

Berdasarkan perhitungan persentase penurunan kadar COD, tampak bahwa persentase penurunan media *Biogrow* dalam menurunkan kadar COD lebih tinggi dibandingkan *Kaldness*. Pada media *Biogrow* persentase penurunan kadar COD mencapai $72,73 \pm 4,33$ %, sementara pada media *Kaldness* hanya mencapai $62,57 \pm 4,70$ %. Tren serupa terlihat pada penurunan kadar amonia. Pada media *Biogrow* penurunan kadar amonia mencapai $52,23 \pm 2,78$ %, sedangkan pada media *Kaldness* hanya mencapai $39,84 \pm 2,88$ %. Persentase rata-rata penurunan kadar COD dan amonia selama 10 hari secara sinambung ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 5.

Berdasarkan nilai persentase penurunan parameter COD maupun amonia tampak adanya perbedaan yang nyata antar media pelekatan yang digunakan dalam proses pengolahan air limbah menggunakan sistem sinambung. Pada sistem pengolahan limbah sinambung pada penelitian ini, persentase penurunan pengolahan tidak dapat ditinjau berdasarkan perubahan kadar polutan antar hari secara linier, karena setiap pengambilan sampel mewakili campuran air limbah yang berbeda. Hal ini sejalan dengan pendekatan dalam kajian pengolahan air limbah menggunakan MBBR, yaitu sistem

pengolahan air limbah sinambung yang menggunakan sistem pertumbuhan melekat juga. Menurut Gupta dkk., (2022) dan Boavida-Dias dkk., (2022), persentase penurunan dalam sistem sinambung dipengaruhi secara langsung oleh karakteristik *biofilm* dan distribusi beban organik harian.



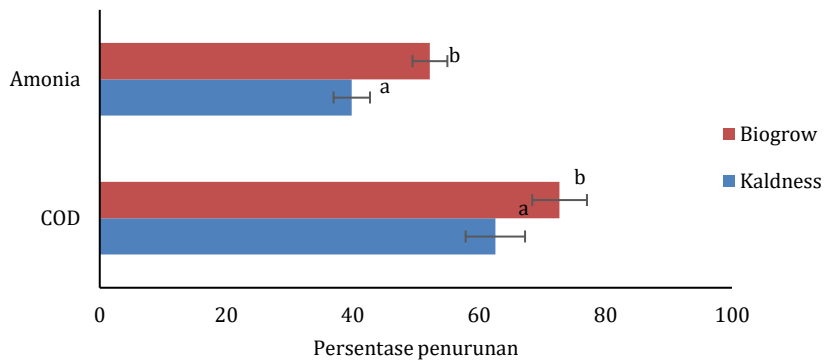
Gambar 4. KadarCOD (mg/L) (a) dan Kadar Amonia (mg/L) (b) pada Pengolahan Air Limbah Selama 10 Hari

Tabel 1. Persentase Penurunan COD dan Amonia pada Limbah yang Diolah Secara Sinambung Selama 10 Hari

No	Media	Persentase penurunan COD (%)	Persentase penurunan Amonia (%)
1	Kaldness	62,57 ± 4,70a	39,84 ± 2,88a
2	Biogrow	72,73 ± 4,33b	52,23 ± 2,78b

Keterangan: ± menunjukkan nilai standar deviasi

Angka yang diikuti huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan nyata pada taraf kepercayaan 5% ($P > 0.05$)



Keterangan: Huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan nyata pada taraf kepercayaan 5% ($P > 0.05$)

Gambar 5. Rata-Rata Persentase Penurunan Nilai COD dan Amonia pada Air Limbah yang Diolah Secara Sinambung Selama 10 Hari

Adanya perbedaan persentase penurunan COD dan amonia pada air limbah yang diolah menggunakan media *Kaldness* dan *Biogrow*, diduga karena perbedaan desain media dan kemampuan *biofilm* dalam melakukan degradasi bahan pencemar. Media *Biogrow*, yang dirancang dengan area permukaan yang lebih luas, memberikan ruang lebih besar bagi mikroorganisme untuk tumbuh dan membentuk *biofilm*. Penelitian Liu dkk., (2018) menunjukkan bahwa luas permukaan media sangat mempengaruhi kapasitas *biofilm* dalam menangkap bahan organik, sehingga meningkatkan persentase penurunan pengurangan COD. Dalam hal ini, *Biogrow* mampu mencapai penurunan COD lebih tinggi dibandingkan dengan *Kaldness*.

Persentase penurunan *Biogrow* yang lebih baik dalam menurunkan COD juga dapat dikaitkan dengan kinerja mikroorganisme heterotrofik yang kemungkinan lebih optimal dibandingkan pada media *Kaldness*. Senyawa organik dalam limbah yang diukur sebagai COD merupakan substrat utama bagi mikroorganisme ini. Struktur *Biogrow* yang memungkinkan difusi oksigen lebih baik, mendukung aktivitas mikroba aerobik, yang berperan besar dalam dekomposisi bahan organik. Selain itu, persentase penurunan *Biogrow* juga terlihat pada % penurunan amonia yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan *Kaldness*. Persentase penurunan ini menunjukkan bahwa *Biogrow* mampu mendukung proses nitrifikasi dengan lebih baik. Nitrifikasi, yang melibatkan konversi amonia menjadi nitrit dan nitrat, sangat bergantung pada aktivitas mikroorganisme, seperti *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter* (Metcalf dkk., 2013). Media dengan area permukaan lebih besar cenderung mendukung populasi mikroorganisme ini, sehingga proses penghilangan amonia menjadi lebih efisien.

Meskipun kedua media menunjukkan fluktuasi dalam persentase penurunan COD dan amonia selama masa pengamatan, namun fluktuasi ini wajar terjadi dalam sistem pengolahan limbah biologis karena mikroorganisme sangat sensitif terhadap kondisi lingkungan. Dengan semakin lamanya proses berlangsung, efisiensi penurunan COD dan amonia menggunakan *Kaldness* dan *Biogrow* dalam menurunkan COD dan amonium cenderung meningkat dan semakin stabil. Stabilitasnya persentase penurunan COD dan amonia ini kemungkinan disebabkan dengan bertambah lamanya waktu operasional sistem pengolahan, mikroorganisme sudah beradaptasi dengan baik terhadap kondisi limbah dan tidak terjadi perubahan beban pencemar yang fluktuatif (Gavlak dkk., 2024).

Jika dibandingkan persentase penurunan kadar COD dan amonia dalam penelitian ini dengan hasil olahan unit pengolahan air limbah di beberapa industri kayu lapis (Subari dkk., 2012; Soedarmanto & Setiawati, 2022), efisiensi pengolahan menggunakan *biofilm* dalam penelitian ini sangat rendah. Rendahnya efisiensi pengolahan dalam penelitian ini dibandingkan pengolahan pada industri kemungkinan disebabkan pada unit pengolahan air limbah pada

industri menggunakan banyak tahapan dan metode, seperti perlakuan primer (sedimentasi, koagulasi, flokulasi) dan sekunder (aerasi, filtrasi, adsorpsi menggunakan karbon aktif, dan penukar ion) (Soedarmanto & Setiawati, 2022). Dalam penelitian ini, air limbah hanya diolah secara biologi menggunakan metode pertumbuhan melekat (*biofilm*), sehingga sangat mungkin pengolahan tidak optimal. Peningkatan konsentrasi bahan pencemar yang melebihi kapasitas biodegradasi oleh *biofilm* atau kurang optimalnya pertumbuhan mikroba pada *biofilm* dapat menyebabkan hasil pengolahan tidak optimal. Menurut Kanwar dkk. (2023), pada media dengan kapasitas *biofilm* yang rendah dan beban limbah yang tinggi, dapat terjadi akumulasi bahan pencemar yang menghambat aktivitas mikroorganisme.

Berdasarkan karakteristik air limbah industri kayu lapis yang mempunyai kandungan bahan organik tinggi yang biodegradabel, selain bahan kimia lain, sangat memungkinkan air limbah industri kayu lapis diolah secara biologi. Namun, dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa air limbah industri kayu lapis tidak dapat diolah hanya dengan pengolahan biologi. Diperlukan beberapa tahap pengolahan dengan berbagai metode untuk menghasilkan luaran pengolahan air limbah yang memenuhi baku mutu.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa media *Biogrow* lebih efisien dibandingkan *Kaldness* dalam menurunkan nilai COD dan amonia pada air limbah industri kayu lapis. Media *Biogrow* lebih efisien dibandingkan *Kaldness* dalam menurunkan COD dan amonia selama pengolahan limbah cair, dengan persentase penurunan, masing-masing sebesar $72,73 \pm 4,33\%$ dan $52,23 \pm 2,78\%$. Keunggulan *Biogrow* disebabkan oleh desain media yang mendukung pertumbuhan *biofilm* dan aktivitas mikroorganisme secara optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, H.P., M. Razif, A. Moesriati. 2016. *Perancangan Ulang Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik dengan Proses Anaerobic Baffled Reactor dan Anaerobic Filter*. Surabaya. ITS.
- Anindya K., Budyanra. 2024. Analisis Daya Saing dan Determinan Ekspor Kerajinan Kayu Indonesia Tahun 2011 - 2021. *Jurnal Ekonomi dan Pembangunan* 32 (1), 113-133. Doi:10.55981/jep.2024.856
- Anisa, A. & W. Herumurti. 2017. Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Moving Bed *Biofilm* Reactor (MBBR) dengan Proses Aerobik-Anoksik untuk Menurunkan Konsentrasi Senyawa Organik dan Nitrogen. *Jurnal Teknik ITS* 6(2), F361-F366. Doi: 10.12962/j23373539.v6i2.25166.
- Asmoro, E. I., & P. S. Widagdo. 2021. Pemanfaatan Limbah *Furniture* (Plywood dan HPL) sebagai bahan produk turunan di tructic interior. *Dinamika Teknik Industri* 14(2), 44-51. ISSN: 1412-3339
- Azimi, S. C., F. Shirini, & A. Pendashte. 2019. Evaluation of COD and turbidity removal from woodchips

- wastewater using biologically sequenced batch reactor. *Process Safety and Environmental Protection* 128, 211-227. Doi:10.1016/j.psep.2019.05.043.
- Awad, A. M., H. T. Ibrahim, & A. H. Al-Aboodi. 2023. Performance of Compact Bio-Contact Oxidation Reactors for Municipal Wastewater Treatment Under Different Hydraulic Retention Time. *Journal of Ecological Engineering* 24(12), 304-318. Doi:10.12911/22998993/173579.
- Boavida-Dias, R., J. R. Silva, A. D. Santos, R. C. Martins, L. M. Castro, & R. M. Quinta-Ferreira. 2022. A Comparison of Biosolids Production and System Efficiency Between Activated Sludge, Moving Bed *Biofilm* Reactor, and Sequencing Batch Moving Bed *Biofilm* Reactor in the Dairy Wastewater Treatment. *Sustainability* 14(5), 2702. Doi:10.3390/su14052702.
- Chaali, M., M. Naghdi, S. K. Brar, & A. Avalos-Ramirez. 2018. A Review on the Advances in Nitrifying *Biofilm* Reactors and Their Removal Rates in Wastewater Treatment. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology* 93(11), 3113-3124. DOI:10.1002/jctb.5692.
- Cui, B., Q. Yang, X. Liu, S. Huang, Y. Yang, & Z. Liu. 2020. The effect of dissolved oxygen concentration on long-term stability of partial nitrification process. *Journal of Environmental Sciences* 90, 343-351. Doi:10.1016/j.jes.2019.12.012.
- Field, A. 2014. *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics*. 4th edition. Sage. Los Angeles.
- Garcia, KA, P. McLee, & A. J. Schuler. 2022. Efek Panjang Media pada *Biofilm* dan Nitrifikasi dalam Reaktor *Biofilm* dengan Lapisan Bergerak. *Biofilm* 4, 100091. Doi:10.1016/j.biofilm.2022.100091.
- Gavlak, G., A. A. Battistelli, C. R. Pedroso, V. C. M. de Sousa, & K. V. de Souza. 2024. Evaluating the Performance and Membrane Fouling of a Submerged Membrane Bioreactor (MBR) Treating Plywood Industry Wastewater. *Water Science & Technology* 89(1), 187-198. Doi:10.2166/wst.2023.416.
- Goncalves, D., J. M. Bordado, A. C. Marques, & R. G. dos Santos. 2021. Non-formaldehyde, bio-based adhesives for use in wood-based panel manufacturing industry a review. *Polymers* 13(23), 4086. Doi:10.3390/polym13234086.
- Gupta, B., A. K. Gupta, P. S. Ghosal, S. Lal, D. Saidulu, A. Srivastava, & M. Upadhyay. 2022. Recent Advances in Application of Moving Bed *Biofilm* Reactor for Wastewater Treatment: Insights into Critical Operational Parameters, Modifications, Field-Scale Performance, and Sustainable Aspects. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 10 (3), 107742. Doi:10.1016/j.jece.2022.107742.
- Haider, F. U., X. Wang, U. Zulfiqar, M. Farooq, S. Hussain, T. Mehmood, M. Naveed, Y. Li, C. Liqun, Q. Saeed, I. Ahmad, & A. Mustafa. 2022. Biochar Application for Remediation of Organic Toxic Pollutants in Contaminated Soils; an Update. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 248, 114322. Doi:10.1016/j.ecoenv.2022.114322.
- Haryanto, M. P. 2018. Perimbangan Penerapan Sanksi Pidana Dalam UU No 32 Tahun 2009 Tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup Dihubungkan Dengan Asas Subsidiaritas Hukum Pidana. *Doctoral dissertation*, Fakultas Hukum Unpas.
- Kanwar, R. M. A., Z. M. Khan, & H. U. Farid. 2023. Fate of *Biofilm* Activity in Cascade Aerating Trickling Filter for Wastewater Treatment: Comparison of Two Types of Indigenous Support Media. *Biochemical Engineering Journal* 194, 108875. DOI:10.1016/j.bej.2023.108875.
- Kinyua, A. N., T. Thuku, P. Githira, & W. Siele. 2016. Comparative Study of Surface and Ground Water Quality, Nyeri County Urban-Rural Surroundings, Kenya. *International Journal of Innovative Research and Advanced Studies (IJIRAS)* 3(13), 365-369. ISSN: 2394-4404.
- Liu, Y., C. Li, S. Lackner, M. Wagner, & H. Horn. 2018. The Role of Interactions of Effective *Biofilm* Surface Area and Mass Transfer in Nitrogen Removal Efficiency of an Integrated Fixed-Film Activated Sludge System. *Chemical Engineering Journal* 350, 992-999. Doi:10.1016/j.cej.2018.06.053.
- Nauman, K., A. Nauman, & M. Arshad. 2023. Slaughter Wastes-A Curse or Blessing: An Appraisal. In *Climate Changes Mitigation and Sustainable Bioenergy Harvest Through Animal Waste: Sustainable Environmental Implications of Animal Waste* (pp. 35-67). Cham: Springer Nature Switzerland. Doi:10.1007/978-3-031-26224-1_2.
- Metcalf, E., G. Tchobanoglous, H. D. Stensel, R. Tsuchihashi, & F. Burton. 2013. *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery* McGraw-Hill. New York, NY, USA.
- Permen LHK RI No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah. Jakarta. Sekretariat Negara.
- Murshid, S., A. Antonyamy, G. Dhakshinamoorthy, A. Jayaseelan, & A. Pugazhendhi. 2023. A Review on *Biofilm*-Based Reactors for Wastewater Treatment: Recent Advancements in *Biofilm* Carriers, Kinetics, Reactors, Economics, and Future Perspectives. *Science of The Total Environment* 892, 164796. Doi:10.1016/j.scitotenv.2023.164796.
- Purwanto, D. 2009. Analisa jenis limbah kayu pada industri pengolahan kayu di Kalimantan Selatan. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan* 1(1), 14-20. Doi:10.24111/jrihh.v1i1.864.
- Radu, G., & G. Racoviteanu. 2021. Removing Ammonium from Water Intended for Human Consumption. A Review of Existing Technologies. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ Sci* 664, 012029. Doi:10.1088/1755-1315/664/1/012029.
- Ramadhan, I., Yulirohyami, & R. Ahdiaty. 2022. Verifikasi Metode Uji COD secara Spektrofotometri UV-Vis untuk Low Concentration dan High Concentration. *Indian Journal of Analytical Chemistry* 5 (10), 52-61.
- Rambosson, P. 2024. Moving Bed *Biofilm* Reactor in Municipal Used Water Purification. In: Lahnsteiner, J. (eds) *Handbook of Water and Used Water Purification*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-78000-9_123
- Roebuck, P. 2018. *Ultrasonic Pretreatment: Impact on Solubilization, Biogas Production and Kinetics of Anaerobic Digestion of Conventional and Biofilm Waste Sludges*, (Doctoral dissertation, Université d'Ottawa/University of Ottawa).
- Sahubawa, L. 2008. Analisis dan Prediksi Beban Pencemaran Limbah Cair Industri Kayulapis PT. Jati Dharma Indah, Serta Dampaknya Terhadap Kualitas Perairan Laut (Analysis and Prediction of Plywood Industry Liquid Waste Pollution Impact at PT. Jati Dharma Indah and Their). *Jurnal Manusia dan Lingkungan* 15(2), 70-78. Doi:10.22146/jml.18680.

- Said, N. I., & T. I. Santoso. 2015. Penghilangan Polutan Organik dan Padatan Tersuspensi di dalam Air Limbah Domestik dengan Proses Moving Bed *Biofilm* Reactor (MBBR). *Jurnal Air Indonesia* 8(1), 245240. Doi: 10.29122/jai.v8i1.2382.
- Salsabila A.N., Putri F.H., Nariswari I.Z. 2024. Pengaruh Nilai Tambah Ekspor Dalam Pemanfaatan Pengolahan Kayu Jati Sebagai Produk Furnitur. *Jurnal Ilmiah Ekonomi Dan Manajemen* 2 (12), 145-158. DOI: <https://doi.org/10.61722/jiem.v2i12.3057>
- Soedarmanto, H., & E. Setiawati. 2022. The Analysis of Plywood Industrial Wastewater Treatment in South Kalimantan. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 950(1), 012045. Doi: 10.1088/1755-1315/950/1/012045.
- Sohail, N., S. Ahmed, S. Chung, & M. S. Nawaz. 2020. Performance Comparison of Three Different Reactors (MBBR, MBR and MBBMR) for Municipal Wastewater Treatment. *Desalination and Water Treatment* 174, 71-78. Doi:10.5004/dwt.2020.24866.
- Subari, D., Udiansyah, Yanuwiyadi, B. & Setiawan B. 2012. Efektifitas Pengelolaan Limbah Cair pada Industri Kayu Lapis di Kalimantan Selatan. *Buana Sains* 12 (1), 99-1808
- Waqas, S., M. R. Bilad, Z., Man, Y. Wibisono, J. Jaafar, T.M.I. Mahlia, K.L. Khan, & M. Aslam. 2020. Recent Progress in Integrated Fixed-Film Activated Sludge Process for Wastewater Treatment: a Review. *Journal of Environmental Management* 268, 110718. Doi:10.1016/j.jenvman.2020.110718.
- Wilson, C., R. Lukowicz, S. Merchant, H. Valquier-Flynn, J. Caballero, J. Sandoval, M. Okuom, C. Huber, T.D. Brooks, E. Wilson, B. Clement, C.D. Wentworth, & A. E. Holmes. 2017. Quantitative and qualitative assessment methods for *biofilm* growth: a mini-review. *Res Rev J Eng Techno* 6(4). PMID: 30214915, PMCID: PMC6133255.