

# Efektivitas Media Biochar Tongkol Jagung dalam Reaktor MBBR untuk Pengolahan Limbah Industri Kecap

Pratama Restu Aji, Novirina Hendrasarie\*

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Surabaya

\*Koresponden email: novirina@upnjatim.ac.id

Diterima: 15 Februari 2026

Disetujui: 19 Februari 2026

## Abstract

Liquid waste produced by the soy sauce industry contains excess organic matter which can have a negative impact on water quality, therefore effective and sustainable treatment technologies are required. This study was conducted to assess the efficiency of a Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) using corncob biochar as an alternative carrier media compared to the conventional Kaldnes K3 media, as well as to assess the effects of Hydraulic Retention Time (HRT) and media filling ratio on the treatment of soy sauce industrial wastewater. The research was conducted using an anoxic-oxic MBBR system with HRT variations of 8, 12, and 24 h and media filling ratios of 20% (1 L) and 30% (1.5 L). The results demonstrated that the biochar media outperformed Kaldnes K3, where under optimal conditions (media volume of 1.5 L and HRT of 24 h), COD and BOD concentrations were reduced to 146.67 mg/L and 115.87 mg/L, respectively, which showed a significant decrease compared to those achieved by Kaldnes K3 under the same operating conditions (COD 293.33 mg/L and BOD 231.73 mg/L). In addition, the biochar media exhibited higher total nitrogen (TN) removal efficiency, reaching a minimum concentration of 11.2 mg/L, along with better TSS and TDS stability, indicating its strong potential as an effective and environmentally friendly MBBR carrier media for soy sauce wastewater treatment.

**Keywords:** *soy sauce industrial wastewater, corn cob biochar, media filling ratio, hydraulic retention time*

## Abstrak

Limbah cair yang terbentuk dari industri kecap memiliki kandungan bahan organik berlebih yang dapat berdampak negatif terhadap kualitas perairan, sehingga diperlukan teknologi pengolahan yang efektif dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) menggunakan media alternatif biochar tongkol jagung dibandingkan media konvensional Kaldnes K3, serta pengaruh variasi *Hydraulic Retention Time* (HRT) dan volume media dalam pengolahan limbah cair industri kecap. Penelitian dilakukan dengan sistem MBBR anoksik - oksik menggunakan variasi HRT 8, 12, dan 24 jam serta volume media 20% (1 L) dan 30% (1,5 L). Hasil penelitian menunjukkan bahwa media biochar memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan Kaldnes K3, di mana pada kondisi optimum (volume media 1,5 L dan HRT 24 jam) konsentrasi COD dan BOD dapat diturunkan masing-masing hingga 146,67 mg/L dan 115,87 mg/L, lebih rendah dibandingkan media Kaldnes K3 pada kondisi yang sama dengan nilai COD 293,33 mg/L dan BOD 231,73 mg/L. Media biochar juga menunjukkan efisiensi penyisihan TN yang lebih tinggi dengan nilai terendah 11,2 mg/L, serta stabilitas TSS dan TDS yang lebih baik.

**Kata Kunci:** *limbah industri kecap, biochar tongkol jagung, volume media, waktu retensi hidraulik*

## 1. Pendahuluan

Sektor industri kecap di Indonesia terus berkembang seiring dengan meningkatnya kebutuhan pasar. Selama proses produksinya, industri ini juga menghasilkan limbah cair yang didominasi oleh bahan organik dalam jumlah besar. Kandungan organik yang tinggi dalam limbah ini berpotensi meningkatkan nilai senyawa beracun organik yang berbahaya bagi ekosistem perairan [1]. Sebagai contoh, efluen dari tahap fermentasi mungkin mengandung konsentrasi senyawa organik dan mikroba yang tinggi, sedangkan efluen dari tahap pemasakan mungkin memiliki pH yang lebih tinggi dan lebih banyak sisa bahan baku [2]. Oleh karena itu, dapat dilakukan pengolahan menggunakan teknologi biologis agar limbah dapat memenuhi baku mutu yang ada.

Dalam pengolahan biologis, proses yang umumnya digunakan adalah pengolahan anaerob dan aerob [3]. MBBR menjadi unit yang paling sering diaplikasikan dalam sistem pengolahan tersebut. Teknologi ini memanfaatkan mikroorganisme guna mendegradasi senyawa organik yang terdapat dalam limbah hingga berubah menjadi senyawa sederhana dan aman bagi lingkungan [4]. Dalam sistem MBBR ini, media filter

seperti Kaldnes sering digunakan untuk media biofilm [5]. Media konvensional ini memiliki desain permukaan yang luas dan struktur yang ringan, memungkinkan aliran air limbah yang baik dan meningkatkan interaksi antara mikroorganisme dan limbah. Namun, media tersebut terbuat dari bahan yang tidak dapat terurai secara alami, sehingga dapat menyebabkan akumulasi limbah di lingkungan. Sehingga diperlukan media filter alternatif seperti biochar tongkol jagung yang lebih ramah lingkungan dan dapat digunakan kembali atau terurai. Penelitian ini akan membahas lebih lanjut tentang perbandingan efektivitas pengolahan MBBR *anoksik* dan *oksik* dengan media Kaldnes K3 dan biochar tongkol jagung.

## 2. Metode Penelitian

### Karakteristik Limbah Kecap

Penentuan karakteristik limbah cair kecap dilakukan melalui analisis awal karena limbah tersebut berpotensi menyebabkan pencemaran lingkungan apabila dibuang secara langsung. Setelah dilakukan Analisis awal pada limbah cair industri kecap, berikut. Berdasarkan **Tabel 1**, nilai parameter limbah Pabrik Kecap Cap Jeruk Pecel Tulen Surabaya:

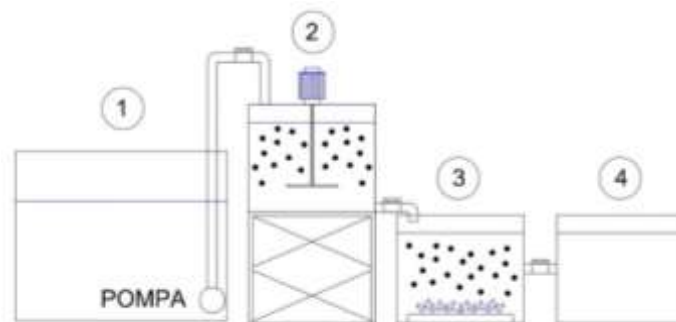
**Tabel 1.** Hasil Uji Laboratorium Awal Limbah Kecap

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	COD	8213	mg/l
2	BOD	7440	mg/l
3	TSS	4210	mg/l
4	TDS	4542	mg/l
5	Total N	32	mg/l

Sumber : Peneliti (2026)

### Desain Reaktor

Berdasarkan **Gambar 1** reaktor yang digunakan terdiri dari kombinasi zona anoksik dan oksik. Limbah cair dipompa ke reaktor anoksik yang tidak diberi suplai oksigen dan efluen dialirkan ke reaktor oksik yang dilengkapi aerasi. Reaktor Batch Anoksik-Oksik digunakan untuk menentukan waktu pemrosesan anoksik-aerobik optimal di iklim tropis [6].



**Gambar 1:** Reaktor MBBR Anoksik dan Oksik

Sumber : Peneliti (2026)

### Keterangan :

1. Bak Pengumpul
2. Bak Anoksik
3. Bak Oksik
4. Bak Penampung

### Penelitian Utama

Penelitian diawali dengan melakukan seeding dan aklimatisasi untuk menumbuhkan mikroorganisme pada media. Proses seeding dan aklimatisasi dilakukan hingga MLSS mencapai 2000 mg/l dan memperhatikan rasio C : N : P [7]. Selanjutnya dilakukan penelitian utama dengan cara air limbah sejumlah 30 L dimasukkan pada bak penampung ukuran 45 liter kemudian masuk ke reaktor yang berisi media berupa Kaldnes K3 dan biochar tongkol jagung yang telah dilapisi biofilm. Jumlah media adalah 1 liter dan 1,5 L dengan limbah yang diolah pada setiap reaktor adalah 5 L. Waktu tinggal pada reaktor MBBR adalah 8 jam, 12 jam, dan 24 jam.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### Penyisihan COD

Hasil pengujian kualitas air limbah setelah melalui proses pengolahan menggunakan sistem *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) yang berbasis media Kaldnes K3 dan biochar tongkol jagung disajikan pada grafik berikut :

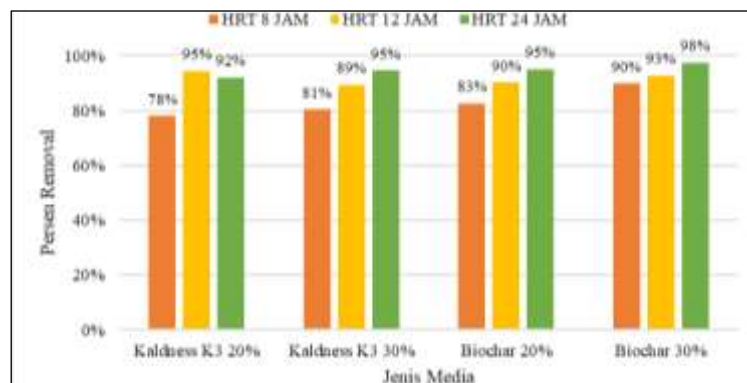


**Gambar 2:** Persen Removal Parameter COD pada MBBR  
 Sumber : Peneliti (2026)

Berdasarkan **Gambar 2** media biochar menunjukkan kinerja penurunan COD yang lebih optimal dibandingkan Kaldnes K3 pada seluruh variasi HRT dan volume media, yang mengindikasikan kemampuan biochar dalam menyediakan luas permukaan dan kondisi yang lebih baik bagi pertumbuhan biofilm [8]. Peningkatan volume media juga meningkatkan efisiensi penyisihan COD akibat bertambahnya luas permukaan aktif untuk proses biodegradasi [9]. Selain itu, peningkatan HRT juga meningkatkan persen penyisihan COD pada seluruh variasi, menunjukkan bahwa waktu tinggal yang lebih lama mendukung proses degradasi senyawa organik secara lebih optimal [10]. Efisiensi tertinggi diperoleh pada penggunaan media biochar dengan volume 30% dan HRT 24 jam, sehingga kombinasi tersebut merupakan kondisi paling efektif dalam meningkatkan kinerja penyisihan COD pada sistem MBBR [11].

#### Penyisihan BOD

Hasil pengujian kualitas air limbah setelah melalui proses pengolahan menggunakan sistem *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) yang berbasis media Kaldnes K3 dan biochar tongkol jagung disajikan pada grafik berikut :



**Gambar 3:** Persen Removal Parameter BOD pada MBBR  
 Sumber : Peneliti (2026)

Berdasarkan **Gambar 3** media biochar memberikan efisiensi penyisihan BOD yang lebih tinggi dibandingkan Kaldnes K3 pada seluruh kondisi operasi, yang menunjukkan bahwa biochar mampu menciptakan lingkungan mikro yang lebih stabil bagi aktivitas metabolisme mikroorganisme heterotroph [10]. Peningkatan volume media dari 20% menjadi 30% berkontribusi terhadap meningkatnya efisiensi penyisihan BOD karena semakin banyak biomassa aktif yang dapat dipertahankan di dalam reaktor [12]. Sementara itu, peningkatan HRT juga mengindikasikan bahwa proses penguraian senyawa organik *biodegradable* memerlukan waktu kontak yang cukup untuk mencapai kondisi optimal [13]. Efisiensi

tertinggi diperoleh pada kombinasi media biochar dengan volume 30% dan HRT 24 jam, yang menegaskan bahwa parameter operasi tersebut paling mendukung proses stabilisasi bahan organik biodegradable dalam sistem MBBR.

#### Penyisihan TSS

Hasil pengujian kualitas air limbah setelah melalui proses pengolahan menggunakan sistem *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) yang berbasis media Kaldnes K3 dan biochar tongkol jagung disajikan pada grafik berikut :

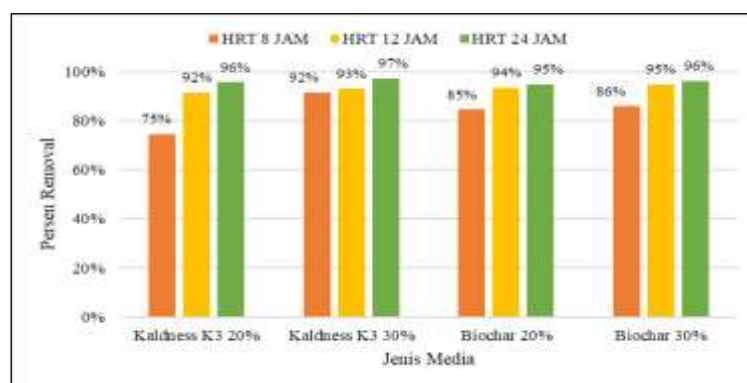


**Gambar 4:** Persen Removal Parameter TSS pada MBBR  
 Sumber : Peneliti (2026)

Berdasarkan **Gambar 4** media biochar dan Kaldnes K3 sama-sama mampu menghasilkan efisiensi penyisihan TSS yang tinggi, tetapi peningkatan volume media dari 20% menjadi 30% memberikan dampak yang lebih jelas terhadap kestabilan persen removal. Peningkatan HRT cenderung meningkatkan efisiensi penyisihan TSS pada seluruh variasi [14]. Hal ini mengindikasikan bahwa waktu tinggal yang lebih lama memungkinkan terjadinya pengendapan mikroflok dan penempelan partikel tersuspensi pada permukaan media secara lebih efektif [15]. Pada kondisi volume media 30% dan HRT 24 jam, kedua jenis media menunjukkan efisiensi TSS yang relatif setara dan tinggi.

#### Penyisihan TDS

Hasil pengujian kualitas air limbah setelah melalui proses pengolahan menggunakan sistem *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) yang berbasis media Kaldnes K3 dan biochar tongkol jagung disajikan pada grafik berikut :



**Gambar 5:** Persen Removal Parameter TDS pada MBBR  
 Sumber : Peneliti (2026)

Berdasarkan **Gambar 5** terlihat bahwa efisiensi penurunan padatan terlarut dalam sistem MBBR relatif lebih rendah dibandingkan parameter lainnya. Hal ini menunjukkan keterbatasan proses biologis dalam menghilangkan senyawa terlarut [16]. Media biochar menunjukkan kinerja penyisihan TDS yang lebih baik dibandingkan Kaldnes K3 pada seluruh variasi HRT dan volume media, yang mengindikasikan adanya kontribusi mekanisme adsorpsi pada permukaan biochar selain proses biodegradasi biologis [17].

### Penyisihan Total Nitrogen

Hasil pengujian kualitas air limbah setelah melalui proses pengolahan menggunakan sistem *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) yang berbasis media Kaldnes K3 dan biochar tongkol jagung disajikan pada gambar grafik berikut :



**Gambar 6:** Persen Removal Parameter Total Nitrogen pada MBBR  
 Sumber : Peneliti (2026)

Berdasarkan **Gambar 6** media biochar secara umum memberikan efisiensi penyisihan total nitrogen yang lebih tinggi dibandingkan Kaldnes K3 pada seluruh variasi HRT dan volume media. Hal ini mengindikasikan bahwa struktur pori biochar mampu mendukung retensi biomassa serta pembentukan mikrozonasi aerob-anoksik di dalam biofilm yang menunjang proses nitrifikasi dan denitrifikasi [18]. Peningkatan volume media dari 20% menjadi 30% pada kedua jenis media meningkatkan efisiensi penyisihan total nitrogen karena semakin banyak biofilm aktif yang terlibat dalam transformasi senyawa nitrogen [19]. Selain itu, peningkatan HRT dari 8 jam menjadi 12 jam dan 24 jam menunjukkan tren kenaikan persen removal total nitrogen yang konsisten, yang menandakan bahwa proses konversi nitrogen memerlukan waktu tinggal yang lebih lama agar berlangsung lebih optimal [20]. Efisiensi tertinggi diperoleh pada penggunaan media biochar dengan volume 30% dan HRT 24 jam, sehingga kombinasi tersebut merupakan kondisi paling efektif untuk mendukung penyisihan total nitrogen dalam sistem MBBR

### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pengolahan limbah cair industri kecap menggunakan sistem *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) dengan variasi jenis media, volume media, dan *Hydraulic Retention Time* (HRT), dapat disimpulkan bahwa penggunaan media biochar memberikan kinerja yang lebih unggul dibandingkan media Kaldnes K3. Hal ini dikarenakan biochar berfungsi ganda sebagai media lekat biofilm dan adsorben yang mendukung mekanisme penyisihan biologis dan adsorptif secara simultan. Peningkatan volume terbukti meningkatkan efisiensi dan kestabilan penyisihan akibat meningkatnya biofilm pada reaktor dalam menahan beban organik dan nutrien. Selain itu, peningkatan HRT secara umum berpengaruh positif terhadap kinerja penyisihan, khususnya pada parameter COD, BOD, dan Total Nitrogen, karena waktu kontak antara mikroorganisme dan substrat menjadi lebih optimal, meskipun pada HRT yang lebih panjang masih ditemukan fluktuasi pada nilai TSS dan TDS.

### 5. Daftar Pustaka

- [1] Oktaviani, Zuhria, and Novirina Hendrasarie. "Efektivitas Konsorsium Mikroalga *Chlorella* sp. dan Mikroba Indigenous Dalam Menurunkan BOD, COD, dan TN Air Limbah Industri Kecap Menggunakan MBBR." *Jurnal Serambi Engineering* 9.4 (2024).
- [2] N. Hendrasarie, F. Rosariawari, And A. Amalia, "Enhanced Biofilter And Ultrafiltration For Clean Water From The Soy Sauce, Bread, And Sticker Peeling Industries Wastewater," *J. Ecol. Eng.*, Vol. 25, Pp. 352–365, Dec. 2024, Doi: 10.12911/22998993/194176.
- [3] S. Madan, R. Madan, And A. Hussain, "Advancement In Biological Wastewater Treatment Using Hybrid Moving Bed Biofilm Reactor (MbbR): A Review," *Appl. Water Sci.*, Vol. 12, No. 6, Pp. 1–13, 2022, Doi: 10.1007/S13201-022-01662-Y.
- [4] Muhammad Al Kholif, Miftakhul Rohmah, Pungut, Indah Nurhayati, Djoko Adi Walujo, And D. Majid, "Penurunan Beban Pencemar Rumah Potong Hewan (Rph) Menggunakan Sistem Biofilter Anaerob," *J. Sains & Teknologi Lingkungan.*, Vol. 14, No. 2, Pp. 100–113, 2022, Doi:

- 10.20885/Jstl.Vol14.Iss2.Art1.
- [5] A. Dickdoyo And O. Cahyonugroho, “Pengolahan Limbah Domestik Rumah Makan Dengan Moving Bed Biofilm Reactor (Mbbbr),” *J. Envirotek*, Vol. 13, Pp. 33–36, Apr. 2021, Doi: 10.33005/Envirotek.V13i1.116.
- [6] N. Hendrasarie And F. Zarfandi, “Integrated Anoxic-Oxic Sequencing Batch Reactor Combined With Coconut Fiber Waste As Biofilm And Adsorbent Media,” *J. Ecol. Eng.*, Vol. 24, Pp. 176–189, Nov. 2023, Doi: 10.12911/22998993/170994.
- [7] N. Hendrasarie And K. Fadilah, “Sequencing Batch Reactor To Treatment Tofu Wastewater Using Impeller Addition,” *J. Ecol. Eng.*, Vol. 23, Pp. 158–164, Oct. 2022, Doi: 10.12911/22998993/153491.
- [8] A. Riswandi, *Biofilm: Penerapan Mikrobiologi Dalam Bidang Bioteknologi*. Guepedia, 2020.
- [9] T. A. Aimia And N. R. Jar, “Penyisihan COD, TSS, dan TN Pada Lindi TPA Klotok Menggunakan Anoxic-Oxic Moving Bed Biofilm Reactor,” *Insologi J. Sains Dan Teknol.*, Vol. 2, No. 4, Pp. 771–779, 2023.
- [10] T. Santoso And R. B. Cahyono, “Hybrid Technology–Based Produced Water Treatment As A Risk Mitigation Effort For Environmental And Occupational Health & Safety Hazards At Pt Xyz,” *J. Kesehat. Komunitas (Journal Community Heal.*, Vol. 11, No. 3, Pp. 598–611, 2025.
- [11] J. A. Kawan, F. Suja’, S. K. Pramanik, A. Yusof, R. Abdul Rahman, And H. Abu Hasan, “Effect Of Hydraulic Retention Time on The Performance of A Compact Moving Bed Biofilm Reactor For Effluent Polishing Of Treated Sewage,” 2022. Doi: 10.3390/W14010081.
- [12] N. Hendrasarie, A. Ramadhani, F. Rosariawari, And A. Amalia, “Hybrid Biofilter-Adsorption Performance To Removal Organic Matter And Color On Black Soybean Sauce Wastewater,” *Iop Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, Vol. 1454, P. 12030, Feb. 2025, Doi: 10.1088/1755-1315/1454/1/012030.
- [13] Aryani, Sabina Zagad, et al. "Efektivitas Proses MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor) Menggunakan Media Parinet Berlapis PVA Gel dalam Menurunkan Polutan Organik dan Amonia dari Air Limbah Domestik." *Seminar Nasional Teknik Lingkungan (SNTL)*. Universitas Islam Indonesia, 2025.
- [14] N. Hendrasarie, M. Y. C. Nugraha, And K. Fadilah, “Restaurant Wastewater Treatment With A Two-Chamber Septic Tank And A Sequencing Batch Reactor,” *E3s Web Conf.*, Vol. 328, P. 1011, Jan. 2021, Doi: 10.1051/E3sconf/202132801011.
- [15] H. Wang, J. Wu, D. Yang, Y. Chen, And Y. Xia, “The Fate And Clogging Mechanisms Of Suspended Particles In Natural Biofilm-Coated Porous Media,” *Water*, Vol. 17, No. 10, 2025, Doi: 10.3390/W17101480.
- [16] N. Gaur, D. Dutta, A. Singh, R. Dubey, And D. Kamboj, “Recent Advances In The Elimination Of Persistent Organic Pollutants By Photocatalysis,” *Front. Environ. Sci.*, Vol. 10, P. 22076, Nov. 2022, Doi: 10.3389/Fenvs.2022.872514.
- [17] F. Sadegh, N. Sadegh, W. Wongniramaikul, R. Apiratikul, And A. Choodum, “Adsorption Of Volatile Organic Compounds On Biochar: A Review,” *Process Saf. Environ. Prot.*, Vol. 182, Pp. 559–578, 2024, Doi: <https://doi.org/10.1016/J.Psep.2023.11.071>.
- [18] P. Rattanaphaiboon, N. Homdoug, And N. Tippayawong, *Production And Characterization Of Corncob Biochar For Agricultural Use*, Vol. 2681. 2022. Doi: 10.1063/5.0117160.
- [19] D. Wang, A. Xu, C. Elmerich, And L. Z. Ma, “Biofilm Formation Enables Free-Living Nitrogen-Fixing Rhizobacteria To Fix Nitrogen Under Aerobic Conditions,” *Isme J.*, Vol. 11, No. 7, Pp. 1602–1613, Jul. 2020, Doi: 10.1038/Ismej.2017.30.
- [20] Y. Ye *Et Al.*, “Research Progress On Biological Denitrification Process In Wastewater Treatment,” *Water*, Vol. 17, No. 4, 2025, Doi: 10.3390/W17040520.