

Perbandingan Efektivitas TiO₂ dan ZnO pada Resin Immobilized Photocatalyst Technology (RIPT) dalam Menyisihkan BOD pada Limbah Tahu

Dinda Ayu Lavyatra dan Euis Nurul Hidayah*

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

Email Korespondensi: cuisnh.tl@upnjatim.ac.id

ABSTRAK

Limbah cair yang dihasilkan dari pengolahan tahu mempunyai kadar BOD yang tinggi. Oleh sebab itu, perlu adanya inovasi pengolahan limbah cair industri tahu agar tidak menyebabkan menurunnya daya dukung lingkungan pada perairan. Penelitian ini menggunakan Resin Immobilized Photocatalyst Technology (RIPT) diharapkan dapat membuat inovasi baru bagi masyarakat serta dapat diaplikasikan pada IPAL industri tahu atau industri lainnya. Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan hasil semakin tinggi dosis Resin Immobilized Photocatalyst (RIP) yang ditambahkan maka semakin banyak senyawa organik yang terurai. Hasil terbaik penyisihan parameter BOD pada RIP-TiO₂ dalam dosis 15 gram persentase penyisihan BOD mencapai 79.95%, sedangkan RIP-ZnO dalam dosis yang sama 15 gram persentase penyisihannya mencapai 90.20%. Pemilihan waktu sampling 0, 30, 60, 120, dan 180 yang menghasilkan persentase penyisihan BOD paling maksimum yaitu waktu sampling 180 menit. Hal tersebut bisa terjadi karena semakin lama air limbah terpapar RIP maka pertukaran ion yang terjadi semakin banyak.

Kata Kunci:

limbah cair tahu, biological oxygen demand (BOD), fotokatalis, resin, resin immobilized photocatalyst

ABSTRACT

Liquid waste generated from tofu processing has a high BOD content. Therefore, it is necessary to innovate wastewater treatment for the tofu industry so as not to cause a decrease in the environmental carrying capacity of the waters. This research uses Resin Immobilized Photocatalyst Technology (RIPT) which is expected to create new innovations for the community and can be applied to the WWTP tofu industry or other industries. Results Based on the research, the higher the dose of Resin Immobilized Photocatalyst (RIP) added, the more organic compounds decomposed. The best results of the removal of BOD parameters in RIP-TiO₂ in a dose of 15gram the percentage of BOD removal reached 79.95%, while RIP-ZnO in the same dose of 15gram the proportion of removal reached 90.20%. The selection of sampling times of 0, 30, 60, 120 and 180 which resulted in the maximum percentage of BOD removal was a sampling time of 180 minutes. This can happen because the longer the wastewater is exposed to RIP, the more ion exchange occurs.

Keyword:

tofu liquid waste, biological oxygen demand (BOD), photocatalyst, resin, resin immobilized photocatalyst

1. PENDAHULUAN

Limbah industri tahu merupakan sisa pengolahan tahu dari kedelai yang terbuang karena tidak dapat digunakan dan tidak bisa dikonsumsi lagi. Limbah pada industri tahu dapat berupa limbah cair maupun limbah padat. Jika limbah padat, biasanya diolah menjadi tempe gembus maupun pakan ternak, sedangkan limbah cair industri tahu memiliki kandungan bahan organik yang sangat tinggi seperti BOD. Limbah cair tahu tersedia dalam jumlah besar di Indonesia. Tingkat konsumsi tahu di Indonesia mencapai 7,4 kg/orang/tahun. Data yang diperoleh dari BPPT (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi) menunjukkan bahwa untuk setiap 80 kg tahu yang dihasilkan, dihasilkan 2.610 kg limbah. Artinya, setiap tahun untuk sekitar 240 juta orang di Indonesia, 5,7942

x 10 kg limbah industri tahu yang dihasilkan setiap tahunnya (Dianursanti *et al.*, 2014). Limbah cair yang dihasilkan dari pengolahan tahu mempunyai kadar BOD yang tinggi yaitu kandungan BOD sekitar 5000 mg/L – 10.000 mg/L, jika limbah tersebut langsung dibuang ke dalam badan air dapat menyebabkan menurunnya daya dukung lingkungan pada perairan (Kelurahan *et al.*, 2020).

Tidak disarankan untuk membuang konsentrasi BOD yang tinggi ke sungai secara langsung. Konsentrasi BOD tinggi pada ampas tahu. Akibatnya, nilai BOD perlu diturunkan sesuai dengan persyaratan kualitas limbah sebelum dibuang. Limbah dapat dibuang di aliran yang berbeda untuk menurunkan tingkat BOD. Lompatan saat jatuh tiba-tiba dan lompatan dalam ekstensi mendadak adalah contoh variasi

aliran. Variasi aliran yang berbeda menghasilkan karakteristik aliran yang berbeda (Hendrasari, 2016).

Proses Pengendapan kimia merupakan pengolahan limbah yang membutuhkan dana tinggi sehingga perlu adanya pengolahan lanjutan terutama pada lumpur hasil pengendapan yang berbahaya (Safni *et al.*, 2008). *Photocatalyst* merupakan salah satu cara yang dinilai efektif oleh para ahli (Ye *et al.*, 2019). Pada saat ini, perlu mengembangkan bahan fotokatalis dengan preparasi imobilisasi fotokatalis ke dalam resin. Imobilisasi yang berasal dari kata imobil yaitu berarti berulang kali (Paun, 2012). Senyawa kimia yang memiliki sifat sebagai fotokatalis adalah oksida titan (TiO_2) dan zinc oksida (ZnO). Saat ini, TiO_2 paling banyak digunakan sebagai fotokatalis dalam aplikasi reaksi fotokatalitik karena keunggulannya dibandingkan jenis semikonduktor lain (Rahman, 2012) dan terbukti mampu mendegradasi senyawa rhodamin B sebanyak 90% (Paul 2020).

Fotokatalisis adalah suatu reaksi perpaduan fotokimia dan katalis. Fotokatalis merupakan suatu material semikonduktor yang memiliki keunggulan baik sifat fisika maupun kimia. Umumnya, semikonduktor dapat mempercepat proses fotodegradasi. Performa yang dimiliki semikonduktor tersebut berbeda-beda, tergantung pada metode sintesis yang berpengaruh pada ukuran partikel, kristalisasi, kemurnian, serta komposisi fasa. Beberapa material fotokatalis yang biasanya digunakan dalam pengolahan air limbah yaitu TiO_2 dan ZnO dengan bantuan sinar UV dapat mempercepat proses degradasi (Suahya *et al.*, 2016).

Pada penelitian ini, akan dilakukan imobilisasi senyawa TiO_2 dan ZnO dalam bentuk organik dan anorganiknya ke dalam resin dengan tujuan untuk mempertahankan aktivitas fotokatalis dari senyawa fotokatalis tersebut sehingga dapat digunakan secara berulang kali, walaupun tetap akan mempunyai masa aktif. Selain itu, imobilisasi fotokatalis ke dalam resin dapat meningkatkan aktivitas fotokatalis yaitu dengan memperbesar luas permukaan TiO_2 dan ZnO sehingga fungsi sebagai katalis menjadi lebih optimal. Berbagai hasil penelitian telah diketahui bahwa serangkaian proses fotolisis menggunakan UV buatan atau sinar UV dari radiasi sinar matahari dapat mempercepat laju reaksi fotokimia dengan menggunakan material fotokatalis (Paun, 2012).

Berdasarkan latar belakang, akan dilakukan perbandingan efektivitas fotokatalis TiO_2 -resin dan ZnO -resin dapat dilihat dari hasil uji aktivitas fotokatalis pada dalam mendegradasi BOD sehingga diharapkan penelitian ini dapat diaplikasikan pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) secara tepat.

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, berikut langkah yang dilakukan untuk penelitian utama yaitu: menyiapkan limbah industri tahu yang akan digunakan sebanyak dan membagi RIP yang siap digunakan sebagai fotokatalis ke dalam reaktor. Reaktor yang digunakan yaitu beaker glass. Perbandingan RIP yang digunakan yaitu 5 gr, 10 gr, dan 15 gr. Kemudian, setelah mencampurkan air limbah dan RIP, terjadi proses pengadukan menggunakan *jar test*. Pada proses ini, memanfaatkan lampu tungsten 50 watt ditempatkan di atas *jar test* sebagai sinar UV-nya dan percobaan dilakukan di dalam ruangan agar sinar UV dapat mengenai semua katalis.

Melakukan proses pengujian dengan waktu pengambilan sampel air limbah 0, 30, 60, 120, dan 180 menit. Setelah itu, masing-masing limbah cair diukur kadar BOD, kemudian hasil yang diperoleh dapat diketahui grafik persen penyisihan kandungan polutan organik. Proses identifikasi perbandingan efektivitas berdasarkan nilai rata-rata penyisihan *Resin Immobilized Photocatalyst* TiO_2 dan ZnO dengan menggunakan Uji Statistik ANOVA.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

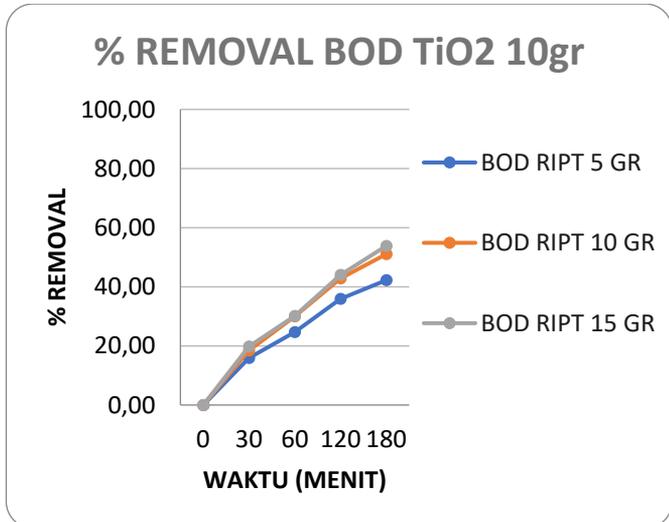
3.1 Analisis Kadar BOD Awal

Pada penelitian ini, bertujuan untuk menurunkan kandungan BOD limbah cair. Air limbah yang digunakan sebagai media pengujian adalah air limbah industri tahu. Air limbah tahu yang digunakan sebagai bahan penelitian diperoleh dari pabrik tahu di Jl. Kedung Tarukan, Kecamatan Tambaksari, Surabaya. Air limbah tahu diambil dari saluran pembuangan pabrik tahu. Berdasarkan analisis awal karakteristik limbah yang telah dilakukan di Laboratorium Lingkungan Teknik Lingkungan UPN "Veteran" Jawa Timur digunakan untuk mengetahui kandungan awal pada air limbah tahu sebelum dilakukannya penelitian menggunakan *Resin Immobilized Photocatalyst* TiO_2 dan ZnO . Adapun hasil BOD pada analisis awal karakteristik limbah cair tahu adalah 707.97 mg/L.

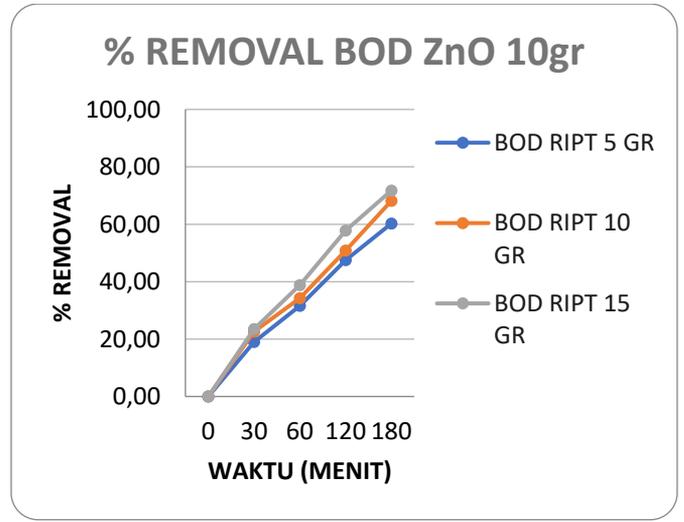
Hasil analisis awal menunjukkan bahwa kandungan BOD pada air limbah tahu belum memenuhi baku mutu menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 5 Tahun 2014 sehingga perlu dilakukan pengolahan lebih lanjut lagi guna memenuhi baku mutu yang diharuskan untuk mengurangi masalah gangguan lingkungan yang ditimbulkan karena tingginya kandungan BOD.

3.2 Dosis dan Waktu Sampling yang Paling Optimal dalam Menurunkan Kandungan BOD

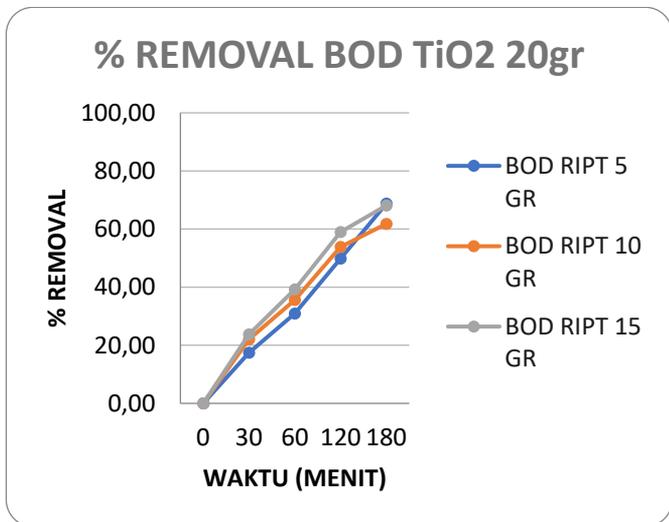
BOD (*Biological Oxygen Demand*) adalah jumlah kebutuhan oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme dalam air limbah yang berguna untuk mengoksidasi senyawa organik. BOD didefinisikan sebagai jumlah oksigen yang diperlukan oleh proses mikroorganisme aerob untuk mengoksidasi menjadi bahan anorganik. Pada proses oksidasi fotokatalitik polutan organik, terjadi perpindahan elektron dari pita valensi ke pita konduksi sehingga menghasilkan *hole* dan kesediaan molekul oksigen yang dapat menghasilkan spesies radikal ($\bullet\text{OH}$, $\text{O}_2\text{-}\bullet$, $\text{HO}_2\bullet$). Hasil penelitian ini menunjukkan adanya perubahan konsentrasi BOD dengan hasil yang bervariasi karena perbedaan jenis fotokatalis dan rasio fotokatalis yang bervariasi juga. Dari hasil penelitian, diketahui semakin besar penambahan rasio fotokatalis dan rasio RIP memberikan hasil persentase penyisihan yang semakin tinggi yang dijelaskan seperti gambar 1 dan 2.



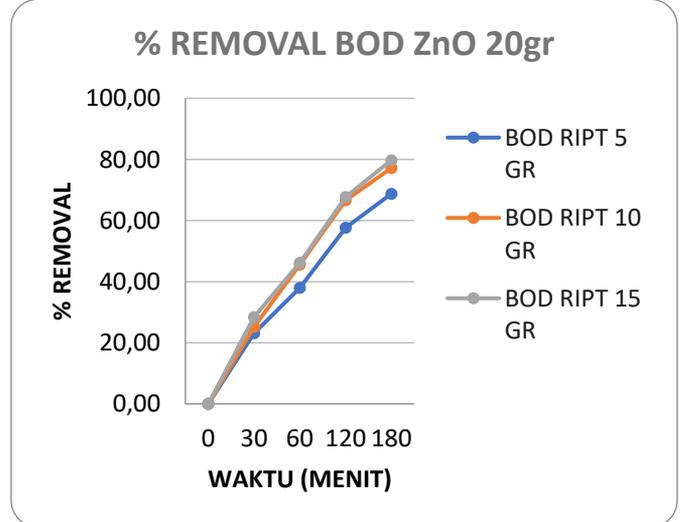
Gambar 1. Peningkatan Persentase Penyisihan Konsentrasi BOD dengan Fotokatalis TiO₂ Variasi 10 Gram



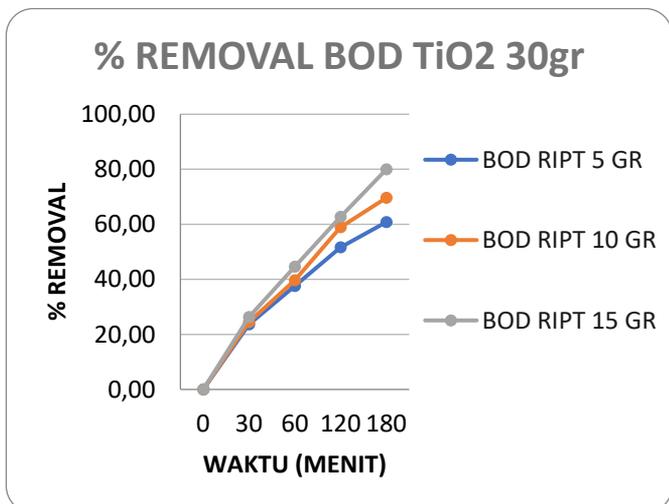
Gambar 4. Gambar Grafik Persentase Penyisihan Konsentrasi BOD dengan Fotokatalis ZnO Variasi 10 Gram



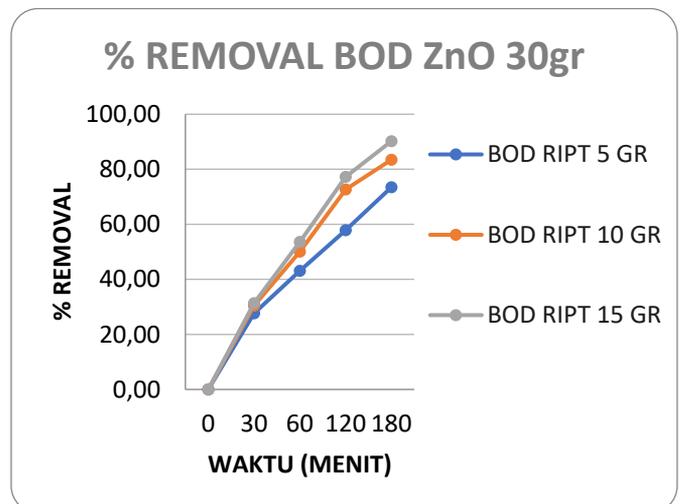
Gambar 2. Peningkatan Persentase Penyisihan Konsentrasi BOD dengan Fotokatalis TiO₂ Variasi 20 Gram



Gambar 5. Gambar Grafik Persentase Penyisihan Konsentrasi BOD dengan Fotokatalis ZnO Variasi 20 Gram



Gambar 3. Peningkatan Persentase Penyisihan Konsentrasi BOD dengan Fotokatalis TiO₂ Variasi 30 Gram



Gambar 6. Gambar Grafik Persentase Penyisihan Konsentrasi BOD dengan Fotokatalis ZnO Variasi 30 Gram

Gambar di atas telah menunjukkan bahwa waktu *sampling* berpengaruh dalam memengaruhi penurunan kandungan BOD, di mana waktu *sampling* yang digunakan yaitu 0, 30, 60, 120, dan 180 menit. Berdasarkan grafik tersebut, pada setiap penambahan variasi waktu *sampling* terjadi penurunan kandungan BOD. Semakin lama waktu *sampling* pada proses *Resin Immobilized Photocatalyst Technology* (RIPT) maka semakin meningkat persentase penyisihan yang dihasilkan. Persentase penurunan kandungan BOD yang optimal terjadi pada waktu *sampling* 180 menit. Penurunan kandungan BOD yang paling rendah terjadi pada waktu *sampling* 0 menit. Hal tersebut terjadi karena semakin lama proses *Resin Immobilized Photocatalyst Technology* (RIPT) semakin lama air limbah terpapar RIP maka berdasarkan cara kerja resin, proses pertukaran ion yang terjadi semakin banyak, sedangkan jika berdasarkan cara kerja fotokatalis, semakin lama air limbah yang terdapat material fotokatalis terinduksi oleh sinar UV akan menghasilkan radikal-radikal yang akan menguraikan senyawa-senyawa organik, oleh karena itu pada proses *Resin Immobilized Photocatalyst Technology* (RIPT) semakin lama waktu *sampling* maka semakin efektif untuk penurunan BOD.

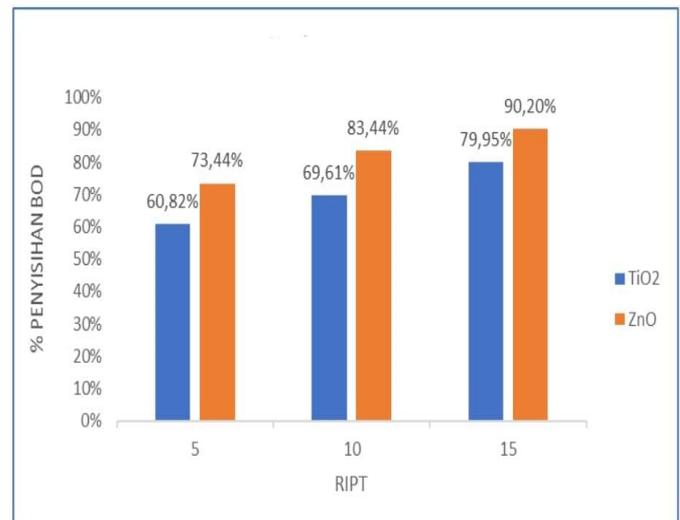
Setelah dilakukan percobaan selama 180 menit, berdasarkan variasi fotokatalis 10 gram, 20 gram, dan 30 gram, diketahui pada dosis fotokatalis 30 gram persentase penyisihan BOD mengalami peningkatan paling besar dari semua dosis katalis yang diberikan, sedangkan berdasarkan dosis RIPT yang telah dilakukan menggunakan dosis RIP-TiO₂ dan dosis RIP-ZnO sebesar 5 gram, 10 gram, dan 15 gram. Diketahui pada dosis 15 gram, persentase penyisihan BOD mengalami peningkatan yang paling besar dari semua dosis yang diberikan pada jam ke 180 dan dosis katalis 30 gram khususnya pada RIP-ZnO. Hal ini menunjukkan jika semakin banyak dosis RIP yang ditambahkan maka semakin banyak senyawa organik yang terurai. Kemampuan RIP dalam menguraikan senyawa organik juga menunjukkan keberhasilan lama pengadukan. Pada RIP-TiO₂ dalam dosis 15 gram persentase penyisihan BOD mencapai 79.95%, sedangkan RIP-ZnO dalam dosis yang sama 15 gram, persentase penyisihannya mencapai 90.20%.

Pada RIP-TiO₂ dan RIP ZnO dosis 5 gram, persentase penyisihan tertinggi yaitu pada dosis katalis 30 gram. Pada RIP-TiO₂ dosis 5 gram persentase penyisihannya, BOD sebesar 60.82% dan pada RIP-ZnO sebesar 73.44%, sedangkan pada RIP-TiO₂ dan RIP ZnO dosis 10 gram, persentase penyisihan tertinggi yaitu sama seperti dosis RIP 5 gram dan 15 gram pada dosis katalis 30 gram. Pada RIP-TiO₂ dosis 10 gram persentase penyisihannya BOD sebesar 69.61% dan pada RIP-ZnO sebesar 83.44%, pada dosis 5 gram RIP-TiO dan RIP-ZnO memiliki perbedaan yang signifikan jika dibandingkan dengan perbedaan dosis yang lain. Diketahui antara dua fotokatalis yang digunakan, RIP-ZnO memiliki persentase penyisihan lebih tinggi dari RIP-TiO₂. Hal serupa juga dengan nilai persentase penyisihan BOD, di mana persentase penyisihan BOD lebih tinggi oleh RIP-ZnO meskipun selisih antara keduanya tidak terlalu besar.

3.3 Efektivitas Penyisihan Kadar BOD Menggunakan TiO₂ dan ZnO pada RIPT

Pengolahan limbah cair tahu menggunakan TiO₂ dan ZnO pada *Resin Immobilized Photocatalyst Technology* (RIPT)

pada penelitian ini, perlakuan pada air limbah tahu baik menggunakan TiO₂ dan ZnO dilakukan dengan teknik yang sama yaitu menggunakan proses *batch* yaitu *sampling* air limbah tahu pada saat pengolahan dilakukan selang waktu tertentu atau tidak terus menerus. Namun, meski menggunakan teknik yang sama, perbedaan jenis katalis yang digunakan memengaruhi hasil dari penyisihan BOD limbah tahu. Perbedaan persentase penurunan BOD dapat dilihat pada grafik penurunan gambar 3.



Gambar 7. Gambar Grafik Perbandingan % Penyisihan Tertinggi Kadar BOD oleh RIP TiO₂ dan ZnO

Gambar 3 menampilkan perbedaan persentase penyisihan parameter BOD oleh RIP TiO₂ dan ZnO. Diketahui di antara dua jenis katalis yang digunakan dengan dosis RIPT 5 gr, 10 gr, dan 15 gr RIP ZnO memiliki persentase penyisihan BOD lebih besar jika dibandingkan RIP TiO₂. Pengolahan air limbah menggunakan fotokatalis TiO₂ sudah banyak digunakan karena jenis katalis tersebut merupakan oksidator kuat, fotostabilitas jangka panjang, dan non-toksik, tetapi pada penelitian ini diketahui menggunakan RIP dengan jenis katalis ZnO memiliki persentase penyisihan yang lebih besar, penggunaan fotokatalis ZnO mampu menyisihkan hingga 90.20% pada BOD. Jenis katalis ZnO memiliki kemampuan lebih sebagai fotokatalis karena memiliki celah pita atau *band gap* yang besar, kualitas listrik, optik, dan mekanik yang sesuai, serta memiliki efisiensi penyerapan senyawa yang lebih tinggi dibanding TiO₂ (Hidayah et al., 2021).

3.4 Uji Analisis Statistika

Pada penelitian ini, analisis statistika digunakan untuk memecahkan masalah serta untuk membuktikan hubungan antar variabel yang digunakan dalam penelitian ini agar dapat melihat tingkat efektivitas penurunan kandungan limbah tahu menggunakan *Resin Immobilized Photocatalyst Technology* (RIPT) TiO₂ dan ZnO. Metode uji statistika yang dilakukan yaitu ANOVA *One-Way*.

Tabel 1. *Analysis of variance*

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Jenis Fotokatalis	1	0,1192	0,11920	1,77	0,187
Error	88	5,9384	0,06748		
Total	89	6,0576			

Tabel 2. *Means*

Jenis Fotokatalis	N	Mean	StDev	95% CI
TiO ₂	45	0,2843	0,2374	(0,2074; 0,3613)
ZnO	45	0,3571	0,2804	(0,2801; 0,4341)

Pooled StDev = 0,259773

Hipotesis:

H₀ : Terdapat perbedaan yang signifikan pada rata-rata persentase penyisihan kadar BOD berdasarkan Jenis Fotokatalis

H₁ : Tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada rata-rata persentase penyisihan kadar BOD berdasarkan Jenis Fotokatalis.

Daerah Penolakan:

$p\text{-value} < 0.05 = H_0$ Ditolak

$p\text{-value} > 0.05 = H_1$ Ditolak

Berdasarkan hasil uji *One Way Anova*, didapat nilai *p-value* lebih besar dari α 0.05, yakni sebesar 0.187. Hasil ini mengindikasikan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan pada rata-rata persentase penyisihan kadar BOD berdasarkan jenis fotokatalis (TiO₂ & ZnO). Berdasarkan *p-value* tersebut maka dinyatakan H₁ ditolak atau bisa dikatakan bahwa rata-rata persentase penyisihan kadar BOD berdasarkan jenis fotokatalis dalam hal ini adalah TiO₂ dan ZnO berbeda signifikan.

Berdasarkan hasil perbandingan nilai rata-rata menggunakan metode Tukey dengan nilai kepercayaan sebesar 95%, diketahui jenis fotokatalis yakni TiO₂ dan ZnO berada pada grup yang sama yaitu grup A, hal tersebut bisa diasumsikan bahwa jenis fotokatalis yang digunakan dalam penelitian memiliki nilai rata-rata persentase penyisihan BOD yang hampir sama atau tidak berbeda cukup signifikan, tetapi jika dilihat pada nilai mean didapat bahwa nilai mean ZnO 0.3571 lebih besar dari ada nilai mean TiO₂ yakni sebesar 0.2843, hal tersebut dapat disimpulkan bahwa fotokatalis ZnO memberi pengaruh lebih besar untuk menyisihkan konsentrasi BOD pada limbah tahu.

4. KESIMPULAN

Dari semua hasil penelitian dan ulasan pembahasan yang dilakukan maka dapat diperoleh kesimpulan bahwa dosis katalis yang paling optimal dalam penurunan BOD dalam penelitian ini adalah dosis katalis 30 gram, sedangkan dosis RIP yang paling dalam penurunan BOD dalam penelitian ini

yaitu dosis RIP 15 gram. Semakin tinggi dosis RIP yang ditambahkan maka semakin banyak senyawa organik yang terurai. Namun, perlu diperhatikan dosis RIP, penambahan dosis RIP yang berlebihan mengakibatkan RIP mudah teroksidasi sehingga umur RIP akan lebih pendek.

Pemilihan waktu *sampling* yang menghasilkan persentase penyisihan BOD paling maksimum yaitu waktu *sampling* 180 menit, penambahan waktu *sampling* memungkinkan karena berdasarkan hasil penelitian semakin tinggi waktu *sampling* semakin lama air limbah terpapar RIP, proses pertukaran ion yang terjadi semakin banyak. Namun, tetap harus memperhatikan kapasitas RIP agar tidak terjadi kejenuhan yang dapat mengakibatkan penurunan persentase penyisihan.

Pada penelitian ini diketahui variasi jenis katalis yang memiliki persentase penyisihan BOD pada limbah tahu yaitu katalis jenis ZnO lebih optimal dibandingkan dengan katalis TiO₂.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dan mendukung dalam keberhasilan penelitian ini. Diharapkan penelitian ini dapat dijadikan sebagai salah satu inovasi baru.

DAFTAR PUSTAKA

- Dianursanti, Rizkytata, B. T., Gumelar, M. T., & Abdullah, T. H. (2014). Industrial tofu wastewater as a cultivation medium of microalgae *Chlorella vulgaris*. *Energy Procedia*, 47, 56–61.
- Hayami, Y., Ohmori, K., Yoshino, K., & Garno, Y. S. (2008). Observation of anoxic water mass in a tropical reservoir: The Cirata Reservoir in Java, Indonesia. *Limnology*, 9(1), 81–87.
- Hendrasari, R. S. (2016). Kajian Penurunan Kadar BOD Limbah Cair Tahu pada Berbagai Variasi Aliran. *Semesta Teknika*, 19(1), 26–36.
- Hidayah, E. N., Pachwarya, R. B., & Cahyonugroho, O. H. (2021). *Immobilization of resin photocatalyst in removal of soluble effluent organic matter and potential for disinfection by-products*. 0–3.
- Kelurahan, D. I., Kecamatan, U., Kabupaten, K., & Augustine, K. D. (2020). *Agri-SosioEkonomi Unsrat* . 16, 245–252.
- Paul, Henri Allé, Guy Didier Fanou, Didier Robert, Kopoin Adouby, Patrick Drogui. (2020). Photocatalytic degradation of Rhodamine B dye with TiO₂ immobilized on SiC foam using full factorial design. *Applied Water Science Volume*, 2017.
- Paun, R. (2012). *Kitorsan ADLN Perpustakaan Universitas Airlangga* 22. 071211533039, 22–72.
- Rahman, A. J. (2012). *Imobilisasi TiO₂ Ke dalam Resin Penukar Kation sebagai Fotokatalis pada Fotodegradasi Zat Warna Kuning Metanil*. ADLN Perpustakaan Universitas Airlangga.
- Reynolds, T. D., & Richards, P. A. (1996). *Unit operations and processes in environmental engineering*. (2nd ed.). PWS Publishing Company.
- Safni, S., Fardila, S., Maizatrisna, M., & Zulfarman, Z.

- (2008). Degradasi Zat Warna Metanil Yellow secara Sonolisis Dan Fotolisis dengan Penambahan Tio₂-Anatase. *Jurnal Sains Dan Teknologi Farmasi*, 47–51.
- Soetrisno, Y. (2002). Beban Pencemaran Limbah Perikanan Budidaya dan Yutrofikasi di Perairan Waduk pada DAS Citarum. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 3(2).
- Ye, Y., Bruning, H., Liu, W., Rijnaarts, H., & Yntema, D. (2019). Effect of dissolved natural organic matter on the photocatalytic micropollutant removal performance of TiO₂ nanotube array. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 371(November 2018), 216–222.