

Kapasitas Resin Immobilized Photocatalyst-ZnO untuk Menyisihkan Total Nitrogen pada Limbah Dalam Reaktor Fotokatalis secara Continue

Nuriadin Kazal¹, Firra Rosariawari², Okik Hendriyanto Cahyonugroho³, Aussie Amalia⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, UPN Veteran Jawa Timur, Surabaya, Indonesia

Email: ¹yadinkazal@gmail.com, ²firra.tl@upnjatim.ac.id, ³okikhc@upnjatim.ac.id,

⁴aussieamalia.tl@upnjatim.ac.id

Abstract

Nitrogen is one of the organic compounds contained in liquid waste produced by the tofu industry. In aquatic ecosystems, excessive amount of nitrogen can lead to eutrophication and increase the amount of ammonia, nitrate and nitrite which are poisonous to humans, livestock and wildlife. In order to deal with the issues, photo-catalyst technology is employed to process the organic liquid waste by converting them into CO₂ and water which are relatively safer. Throughout the process, it requires a medium like resin immobilized photocatalyst-ZnO (RIP-ZnO) to absorb the pollutants. Based on the aforementioned background, this study aims to analyze the impact of RIP-ZnO capacity in reducing the total Nitrogen parameter. The analysis of total Nitrogen in this study was conducted by using the Kjeldahl method consisting of three processes, namely destruction, distillation and titration. The research began with the process of making reactor and RIP-ZnO. Subsequently, once the total N concentration is known, the process of resin capacity calculation is continued. As a result, the research findings indicate that the highest resin capacity of 1.14542 reduces the total N by 33%, while the lowest one of 0.00012 decreases it by 59%. In other words, the resin capacity has an impact on the percentage of total N removal. In conclusion, the lower the resin capacity is, the higher the removal percentage is, and vice versa.

Keywords: Resin Capacity, N Total, Tofu Waste.

Abstrak

Nitrogen merupakan salah satu senyawa organik yang terkandung dalam limbah cair industri tahu. Adapun dalam ekosistem perairan, nitrogen dalam kandungan berlebih dapat menyebabkan eutrofikasi serta meningkatkan jumlah amonia, nitrat, dan nitrit yang memiliki sifat beracun bagi manusia, hewan ternak, serta satwa liar. Teknologi fotokatalis termasuk salah satu teknologi yang dapat digunakan dalam mengolah limbah cair organik karena memiliki kemampuan dalam mendegradasi senyawa organik yang diubah menjadi CO₂ dan air yang relatif lebih aman. Dalam proses pengolahannya, fotokatalis membutuhkan bantuan media seperti resin immobilized photocatalyst-ZnO (RIP-ZnO) untuk mengadsorpsi bahan pencemar. Oleh sebab itu, dalam penelitian ini akan dilakukan analisis pengaruh kapasitas RIP-ZnO dalam menyisihkan parameter total nitrogen. Analisis total N pada penelitian ini dilakukan dengan metode kjeldahl yang terdiri dari tiga proses yaitu destruksi, destilasi dan titrasi. Penelitian utama diawali dengan proses pembuatan reaktor dan pembuatan RIP-ZnO. Setelah diketahui konsentrasi total N, maka dilanjutkan dengan proses perhitungan kapasitas resin. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa kapasitas resin dalam menurunkan Total N memiliki nilai tertinggi yaitu 1.14542 dengan menghasilkan persen penyisihan sebesar 33 %. Sedangkan hasil kapasitas resin terendah dalam penyisihan parameter total N yaitu 0.00012, yang juga menghasilkan persen penyisihan sebesar 59 %. Hal tersebut menunjukkan bahwa kapasitas resin memiliki pengaruh terhadap penyisihan parameter total N. Semakin tinggi persen penyisihan, maka kapasitas resin akan rendah, begitu juga sebaliknya. Semakin rendah persen penyisihan, maka kapasitas resin akan semakin tinggi.

Kata Kunci: Kapasitas Resin, Total N, Limbah Tahu.

1. PENDAHULUAN

Air buangan yang berasal dari industri tahu merupakan materi atau bahan sisa siap buang yang terbentuk dari proses produksi pembuatan tahu, yang tidak sudah digunakan lagi. Air buangan yang dihasilkan biasanya berasal dari air sisa proses perendaman, sisa air tahu yang gagal mengalami penggumpalan, dan air limbah keruh yang memiliki warna kuning muda keabu-abuan yang mana jika dibiarkan akan mengalami perubahan warna menjadi hitam bahkan menimbulkan bau busuk (Yudhistira et al., 2018). Handayani dan Niam, (2018) dalam penelitiannya menyatakan bahwa dalam pemrosesan 100 kg bahan baku kedelai, akan menghasilkan 1,5 – 2 m³ limbah cair.

Menurut penelitian sebelumnya yang telah dilaksanakan oleh Ningrum et al., (2020) menyatakan bahwa air limbah yang terbentuk dari proses produksi pembuatan tahu mempunyai kandungan bahan organik yang cukup tinggi terutama kandungan protein serta asam amino. Munawaroh et al., (2013) dalam penelitiannya menyatakan bahwa nitrogen adalah salah satu senyawa organik yang terkandung dalam air buangan yang dihasilkan industri tahu. Nitrogen yang ada dalam limbah tahu berasal dari salah satu bahan baku utama dalam proses produksi tahu yaitu kacang kedelai. Senyawa nitrogen merupakan salah satu unsur penting yang ada pada proses sintesis protein. Sebagian besar nitrogen total yang ada dalam air dapat membentuk ikatan dalam bentuk nitrogen organik, yaitu pada bahan-bahan berprotein.

Kandungan nitrogen yang berlebih beresiko akan menimbulkan efek yang negatif. Salah satu contoh, kandungan nitrogen jenuh berlebih dapat mengakibatkan terjadinya penurunan nutrisi dan peningkatan derajat keasaman tanah serta air pada ekosistem hutan. Adapun pada ekosistem perairan, kandungan nitrogen dalam jumlah berlebih dapat menyebabkan terjadinya eutrofikasi serta terjadinya peningkatan jumlah amonia, nitrat, dan nitrit yang memiliki sifat beracun bagi manusia, hewan ternak, serta satwa liar (Ismail, 2011).

Berdasar pada latar belakang tersebut, maka diperlukan pengolahan terhadap air buangan industri tahu sebelum dialirkan langsung ke badan air. Teknologi fotokimia termasuk salah satu metode yang dapat dimanfaatkan untuk melakukan pengolahan bahan organik yang terkandung dalam limbah cair karena memiliki kemampuan dalam menyisihkan senyawa organik, yang diubah menjadi CO₂ dan air sehingga lebih aman (Sturini et al., 2012). Proses fotokimia dapat dilakukan dengan memanfaatkan katalis Seng Oksida (ZnO). Seng Oksida (ZnO) adalah fotokatalisis yang dapat digunakan untuk mengelola air limbah karena bersifat ramah lingkungan serta sesuai untuk organisme. ZnO memiliki kemampuan fotokatalitik yang hampir sama dengan TiO₂ karena memiliki celah pita energi (*band gap energy*) yang mirip. Adapun kelebihan penggunaan ZnO apabila dibandingkan dengan TiO₂ adalah ZnO memiliki biaya yang lebih rendah (Mawarni et al., 2021).

Dalam penelitian ini, ZnO sebagai fotokatalis akan diimobilisasi pada resin untuk mempertahankan aktivitas fotokatalitik ZnO dan memungkinkan penggunaan berulang meskipun masa aktifnya tetap ada. Selain itu, imobilisasi ZnO pada resin juga bertujuan untuk meningkatkan aktivitas fotokatalitiknya dengan cara meningkatkan luas permukaan ZnO agar lebih mengoptimalkan fungsinya sebagai fotokatalis. (Lavyatra & Hidayah, 2022). Adapun tujuan dalam penelitian kali ini adalah untuk menganalisis pengaruh kapasitas *resin immobilized photocatalyst*-ZnO dalam menyisihkan parameter total nitrogen yang ada pada limbah tahu.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Proses Penelitian

Proses pengujian total N dalam penelitian ini, akan memanfaatkan metode kjeldahl. Metode kjeldahl merupakan metode yang terdiri dari tiga tahapan proses yaitu destruksi, destilasi dan titrasi.

Penelitian utama diawali dengan proses pembuatan reaktor dan pembuatan RIP-ZnO. Pembuatan RIP-ZnO dilakukan dengan mencampur aquades, katalis, dan resin, kemudian dilanjutkan dengan proses pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* agar senyawa katalis dapat menempel pada resin yang mana biasa disebut sebagai imobilisasi. Apabila RIP-ZnO telah siap digunakan, maka RIP-ZnO dimasukan ke dalam reaktor sesuai dengan variasi massa yang digunakan. Proses selanjutnya yaitu mengalirkan air limbah menuju reaktor berisi RIP-ZnO sesuai dengan debit yang telah ditentukan, dilanjutkan dengan pengambilan sampel pada aliran outlet reaktor sesuai dengan variasi waktu sampling, kemudian menganalisis konsentrasi total N dan fosfat.

2.2 Variabel Penelitian

2.2.1 Variabel Terikat

Variabel tetap atau variable terikat adalah segala pendukung yang penggunaannya tetap atau tidak diubah-ubah selama proses penelitian berlangsung. Variabel tetap pada penelitian ini, yaitu: penggunaan katalis ZnO ; Air limbah tahu ; lampu UV 32 watt yang digunakan untuk membantu penyinaran dalam proses fotokatalis ; Desain reaktor ; dan debit aliran pada reaktor

2.2.1 Variabel Bebas

Pada penelitian ini, variabel bebas yang akan dipakai antara lain : variasi massa katalis (25 g, 37.5 g, 50 g dan resin kontrol 25 g) ; variasi jarak lampu UV (0 cm, 10 cm, dan 20 cm) ; serta variasi waktu sampling yang dilakukan (0, 4, 8, dan 12 jam).

2.2.1 Perhitungan Kapasitas Resin

Hendrawan et al., (2016) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa Kapasitas resin penukar ion adalah berat resin yang mampu menahan (per unit volume/per unit berat) ion pada material penukar.

Adapun rumus untuk menghitung kapasitas resin adalah sebagai berikut :

$$\text{Ion yang terikat} = \frac{n_0 - n_1}{1000} \times V \text{ air} \left(\frac{1}{\text{berat resin}} \right)$$

Keterangan :

n_0 = Konsentrasi sebelum pengolahan

n_1 = Konsentrasi setelah pengolahan

V_{air} = Volume air yang diolah

Sumber : (Flynn & Weeks, 2009)

$$\text{Volume air yang diolah} = \frac{\text{Kapasitas resin} \times \text{volume resin}}{\text{Ion yang terikat resin}}$$

$$\text{Kapasitas resin} = \frac{\text{Volume air yang diolah} \times \text{Ion yang terikat resin}}{\text{Volume resin}}$$

Sumber : (Flynn & Weeks, 2009)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Karakteristik awal air limbah

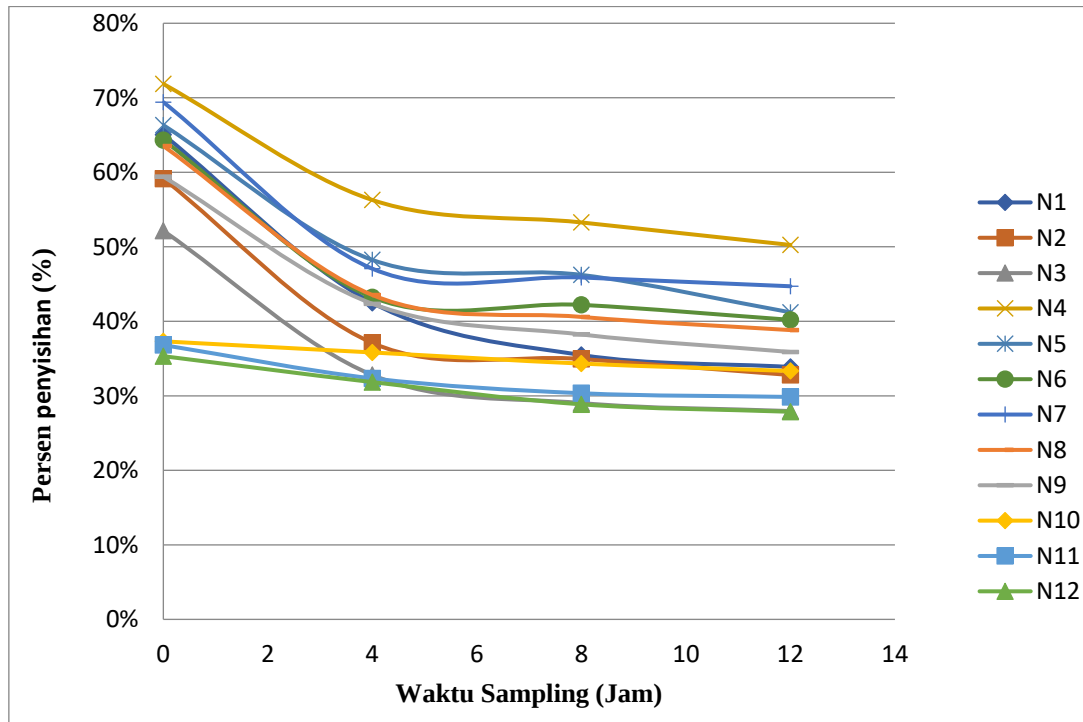
Sebelum dilakukan proses pengolahan, limbah cair tahu yang akan digunakan sebagai sampel akan diuji konsentrasi total nitrogen yang terkandung di dalamnya. Berdasarkan hasil uji, didapatkan bahwa total N yang terkandung dalam limbah cair industri tahu sebelum diolah memiliki konsentrasi rata-rata yaitu sebesar 66,15 mg/L, dimana berdasarkan hasil tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi total N dan fosfat melebihi ambang batas yang merujuk pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 5 Tahun 2014. Adapun untuk hasil uji karakteristik fosfat pada air limbah tahu sebelum dilakukan pengolahan rata-rata yaitu sebesar 32.1 mg/L, dimana berdasarkan hasil tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi total N dan fosfat melebihi batas baku mutu yang merujuk pada lampiran VI PP No. 26 Tahun 2021. Oleh sebab itu, diperlukan adanya pengolahan untuk mengurangi kandungan total N dan fosfat yang terkandung dalam limbah cair tahu yang dihasilkan.

3.2. Pengaruh Kapasitas Resin

Nitrogen total adalah kadar atau jumlah keseluruhan nitrogen yang terkandung dalam air limbah, air permukaan dan lain-lain. Nitrogen merupakan unsur yang sangat melimpah di biosfer bumi serta termasuk salah satu dari enam unsur (C, H, O, N, P, dan S) yang merupakan unsur utama dari jaringan hidup. Nitrogen merupakan salah satu unsur penyusun yang memiliki peran penting dalam sintesa protein. Di dalam air, sebagian besar nitrogen total dapat membentuk ikatan menjadi nitrogen organik, lebih tepatnya yaitu dalam bahan-bahan yang berprotein. Adapun di dalam air limbah, bentuk utama nitrogen adalah material protein yang diurai dengan bantuan enzim proteinase sehingga menjadi ammonia, nitrat, serta nitrit. Senyawa-senyawa nitrogen terdiri atas 2 bentuk yaitu terlarut ataupun tersuspensi (Munawaroh et al., 2013).

Kandungan nitrogen yang berlebih dapat menimbulkan dampak yang buruk. Salah satu contoh, kandungan nitrogen jenuh berlebih dapat mengakibatkan terjadinya penurunan nutrisi dan peningkatan derajat keasaman tanah serta air pada ekosistem hutan. Adapun pada ekosistem perairan, kandungan nitrogen dalam jumlah berlebih dapat menyebabkan terjadinya eutrofikasi serta terjadinya peningkatan jumlah amonia, nitrat, dan nitrit yang memiliki sifat beracun bagi manusia, hewan ternak, serta satwa liar (Ismail, 2011).

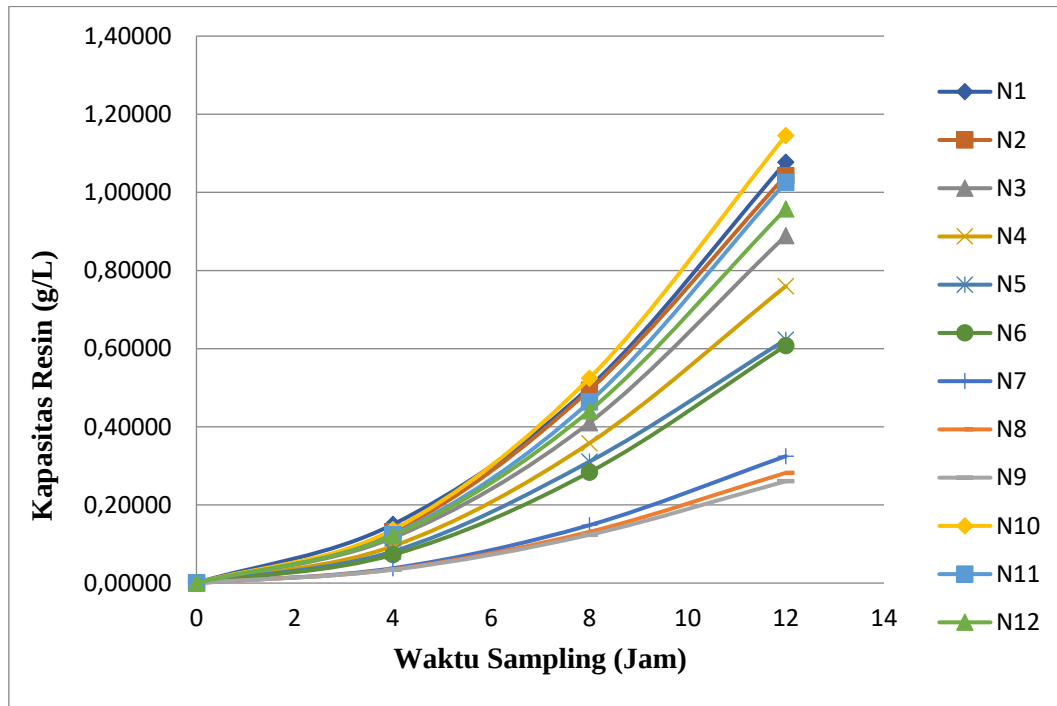
Dalam penelitian ini, telah dilakukan pengujian parameter pencemar limbah, yaitu Total N. Analisis parameter Total N tersebut dikerjakan sesuai dengan standar Nasional Indonesia (SNI). Berdasarkan hasil analisis tersebut, maka akan dilanjutkan dengan proses perhitungan kapasitas resin. Berikut ini merupakan tabel data yang menunjukkan persen penyisihan dan kapasitas resin.



Gambar 1 Grafik Hubungan Persen penyisihan Dan Waktu Sampling Terhadap Parameter Total N

Pada Gambar 1 menunjukkan bahwa terjadi penurunan persen penyisihan seiring bertambahnya waktu. Hal tersebut karena seiring berjalanya waktu, akan terjadi peningkatan jumlah akumulasi dari kandungan polutan yang menutupi permukaan atau pori dari katalis. Hal tersebut menyebabkan kurang maksimalnya kontak antara katalis dengan sinar UV yang berakibat pada penurunan kemampuan penyisihan polutan (Rosariawari et al., 2012). Hal tersebut didukung oleh Sakthivel et al., (2003) yang hasil penelitiannya menyatakan bahwa terjadinya penambahan konsentrasi polutan awal akan mempengaruhi panjang jalur foton yang menyinari larutan serta sampai pada katalis akan menurun, hal ini juga yang menyebabkan terjadinya penurunan laju degradasi.

Pada Gambar 1 diketahui bahwa persen penyisihan parameter total N terjadi peningkatan dari penggunaan massa RIP ZnO sebesar 25 gr yang menghasilkan persen penyisihan tertinggi sebesar 65 % pada jarak lampu 0 cm, kemudian meningkat menjadi 72 % pada penggunaan massa RIP ZnO sebesar 37.5 gr. Terjadinya peningkatan persen penyisihan tersebut dipengaruhi oleh jumlah katalis yang juga meningkat. Jika terjadi penambahan jumlah katalis, maka akan semakin banyak pula jumlah sisi aktif untuk mendukung proses fotokatalis. Sehingga energi foton yang terserap oleh katalis akan semakin banyak, serta meningkatkan terbentuknya OH untuk proses fotodegradasi parameter pencemar (Osya et al., 2023). Akan tetapi, kembali terjadi penurunan nilai persen penyisihan parameter total N pada penggunaan massa RIP ZnO yang lebih besar tepatnya pada massa 50 gr. Hal ini menunjukan bahwa penambahan massa katalis tidak selalu berbanding lurus dengan persen penyisihan parameter pencemar, karena dalam penambahan massa katalis, tidak hanya terjadi peningkatan electron-hole yang tersedia guna mendegradasi parameter pencemar, akan tetapi penambahan massa katalis juga dapat menyebabkan terjadinya penggumpalan pada katalis sehingga luas permukaan aktif dapat berkurang yang mana dapat berakibat pada penurunan kemampuan penyisihan terhadap parameter pencemar (Ridho, 2021)



Gambar 2 Grafik Hubungan Kapasitas Resin Terhadap Waktu Sampling Parameter Total N

Pada Gambar 2 menunjukkan nilai kapasitas resin berdasarkan waktu pengambilan sampel. Setiap garis pada grafik mewakili variasi massa katalis dan jarak lampu UV yang berbeda. Berdasarkan grafik tersebut dapat dikatakan bahwa seiring pertambahan waktu pengambilan sampel, nilai kapasitas resin akan mengalami peningkatan. Sedangkan apabila dibandingkan dengan grafik persen penyisihan parameter total N pada Gambar 1 berbanding terbalik, yaitu menunjukkan pola yang menurun. Hal ini disebabkan karena kapasitas resin dapat dipengaruhi oleh nilai konsentrasi parameter pencemar sebelum dan setelah pengolahan. Apabila penyisihan setiap waktunya konsisten, maka hasilnya akan baik. Selain itu, kapasitas resin juga dipengaruhi oleh jumlah berat resin yang dipakai serta jumlah volume air limbah yang diolah.

Bererdasarkan dari hasil pengujian, didapatkan bahwa kapasitas resin tertinggi ditunjukkan oleh garis yang berkode N10 yaitu sebesar 1.14542 g/L dengan menghasilkan persen penyisihan sebesar 33 %. Garis N10 adalah kode dari keadaan penggunaan massa resin kontrol 25 gr dan penggunaan lampu UV pada jarak 20 cm. Adapun untuk kapasitas resin terendah ditunjukkan oleh garis yang berkode N9 yaitu sebesar 0.00012 g/L dengan menghasilkan persen penyisihan sebesar 59 %. Garis N9 adalah kode dari keadaan penggunaan massa RIP ZnO 50 gr dan penggunaan lampu UV pada jarak 0 cm.

Apabila dibandingkan persen penyisihannya antara kapasitas resin tertinggi (N10) dan yang terendah (N9) yaitu, didapatkan bahwa N10 memiliki persen penyisihan yang sangat kecil jika dibandingkan dengan N9. Hal ini karena pada perlakuan yang diwakili kode N10 katalis yang digunakan hanyalah resin sedangkan garis berkode N9 menggunakan RIP-ZnO sebagai katalis. Selain itu, waktu penelitian juga cukup berpengaruh terhadap kinerja katalis, karena proses pertukaran ion yang dilakukan katalis memiliki kapasitas tukar sehingga apabila telah mencapai waktu jenuhnya, kinerja katalis dalam mendegradasi polutan akan semakin berkurang. Hal tersebut sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh (Ayuningtiyas et al., 2022) yang menyebutkan bahwa seiring bertambahnya waktu penggunaan suatu resin penukar ion,

serta menyebabkan terjadinya penurunan kemampuan tukar pada resin penukar ion yang mana apabila telah mencapai waktu jenuhnya, maka resin penukar ion tersebut akan kehilangan kemampuan untuk mempertukarkan ion-ion pengotor dalam air dengan H^+ ataupun OH^- . Selain dari waktu penelitian, hal yang juga mempengaruhi persen penyisihan yaitu jarak lampu UVC yang digunakan. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan oleh (Sativa et al., 2021) yang menyebutkan bahwa semakin dekat jarak lampu, maka semakin besar pula persen penyisihan polutan. Karena sinar UV akan menyebabkan elektron pada pita valensi akan tertarik ke pita konduksi yang menghasilkan lubang positif dan radikal hidroksil.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh bahwa kapasitas resin dengan nilai tertinggi, yaitu 1.14542, menghasilkan persen penyisihan sebesar 33 % sedangkan kapasitas resin terendah, yaitu 0.00012, menghasilkan persen penyisihan sebesar 59 %. Hasil ini menunjukkan bahwa kapasitas resin memiliki pengaruh terhadap penyisihan parameter total N. Dalam hal ini, semakin tinggi kapasitas resin, maka persen penyisihan semakin rendah. Sebaliknya, semakin rendah kapasitas resin, persen penyisihan semakin tinggi.

REFERENSI

- Ayuningtiyas, K. K., Hidayah, E. N., & Aussie Amalia. (2022). Kapasitas Resin Immobilized Photocatalyst Technology (RIPT) untuk Menurunkan Parameter Bod Limbah Cair Industri Tahu. *INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 1(5), 595–602. <https://doi.org/10.55123/insologi.v1i5.1002>
- Flynn, D. J., & Weeks, J. (2009). *The Nalco Water Handbook (J. D. Flynn (ed.) Third)*. The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Handayani, T., & Niam, M. A. (2018). Pemanfaat Limbah Tahu Sebagai Pupuk Cair Organik dan Es Krim Untuk Meningkatkan Pendapatan dan Pengembangan Produk. *Jurnal DEDIKASI*, 15, 100–106.
- Hendrawan, B., Prihandoko, D., & Sriwinarno, H. (2016). PENGGUNAAN NATRIUM KLORIDA (NaCl) SEBAGAI REGENERAN RESIN AMBERLITE IR 120 NA DALAM MENURUNKAN KESADAHAN TOTAL AIR SUMUR. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 16(2), 1–19.
- Ismail, H. M. (2011). Pemodelan Total Nitrogen pada Sungai Pesanggrahan Akibat Input Lindi TPA Cipayung Kota Depok berupa Beban Impuls. *Skripsi*, 1–183.
- Lavyatra, D. A., & Hidayah, E. N. (2022). Perbandingan Efektivitas TiO_2 dan ZnO pada Resin Immobilized Photocatalyst Technology (RIPT) dalam Menyisihkan BOD pada Limbah Tahu. *ESEC PROCEEDING*, 3(1), 143–148.
- Mawarni, T., Fadarina, H. C., Aznury, M., & Taufik, M. (2021). DEGRADASI ZAT WARNA RHODAMIN B MENGGUNAKAN SINTESIS FOTOKATALIS $ZnO/NiFe_2O_4$ DAN DIAPLIKASIKAN PADA LIMBAH CAIR INDUSTRI PULP DAN KERTAS DEGRADATION OF RHODAMIN B USING $ZnO/NiFe_2O_4$ PHOTOCATALYS AND APPLIED TO INDUSTRIAL LIQUID WASTE PULP AND PAPER. *Jurnal Kinetika*, 12(03), 44–50.
- Munawaroh, U., Sutisna, M., & Pharmawati, K. (2013). Penyisihan Parameter Pencemar Lingkungan pada Limbah Cair Industri Tahu Menggunakan Efektif Mikroorganisme 4 (EM4) Serta Pemanfaatannya. *Jurnal Institut Teknologi Nasional*, 1(2), 93–104.

- Ningrum, Y. D., Ghofar, A., & Haeruddin, H. (2020). Efektivitas Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solm) sebagai Fitoremediator pada Limbah Cair Produksi Tahu. *Management of Aquatic Resources Journal (MAQUARES)*, 9(2), 97–106. <https://doi.org/10.14710/marj.v9i2.27765>
- Osy, Y. B., Sanjaya, H., & Yohandri. (2023). Degradasi Zat Warna Methyl Orange dengan Katalis TiO₂ Menggunakan Metode Fotosonolisis. *Chemistry Journal of State University of Padang*, 12(1), 17–21.
- Ridho, R. (2021). Aplikasi Fotokatalis TiO₂-Resin pada Fotoreduksi Ion Cu⁺. *Jurnal Crystal*, 3(1), 1–11.
- Rosariawari, F., Masduki, A., & Hadi, W. (2012). PROSES FOTOKATALISIS UNTUK PENYISIHAN E . coli. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 4(1), 27–36.
- Sakthivel, S., Neppolian, B., Shankar, M. V, Arabindoo, B., Palanichamy, M., & Murugesan, V. (2003). *Solar photocatalytic degradation of azo dye : comparison of photocatalytic efficiency of ZnO and TiO₂*. 77(3), 65–82.
- Sativa, S. O., Zulfikar, M. A., & Alni, A. (2021). Optimization of UV light source conditions for photocatalytic activity of methyl orange using TiO₂. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1143(1), 012074. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1143/1/012074>
- Sturini, M., Speltini, A., Maraschi, F., Profumo, A., Pretali, L., Irastorza, E. A., Fasani, E., & Albini, A. (2012). Photolytic and photocatalytic degradation of fluoroquinolones in untreated river water under natural sunlight. *Applied Catalysis B: Environmental*, 119–120(August 2018), 32–39. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2012.02.008>
- Yudhistira, B., Andriani, M., & Utami, R. (2018). Karakterisasi: Limbah Cair Industri Tahu Dengan Koagulan Yang Berbeda (Asam Asetat Dan Kalsium Sulfat). *Caraka Tani: Journal of Sustainable Agriculture*, 31(2), 137. <https://doi.org/10.20961/carakatani.v31i2.11998>