

Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI) Volume 14 Nomor 1 Tahun 2025, hal 13-20

IDENTIFIKASI REACTIVE OXYGEN SPECIES PADA PLASMA DIELECTRIC BARRIER DISCHARGE KONFIGURASI MESH-COPPER YANG DIRANGKAI SINGLE DAN DOUBLE MENGGUNAKAN OPTICAL EMISSION SPECTROSCOPY

¹Ahmad Faruq Abdurrahman, ²Ayu Aprilia, ³Intan Zahar, ⁴Kusumandari Kusumandari, ⁵Teguh Endah Saraswati

- ¹Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Lampung, email: faruqabe@fmipa.unila.ac.id
²Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Lampung, email: ayu.aprilia@fmipa.unila.ac.id
³Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Asahan, email: intanzahar29@gmail.com
⁴Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Sebelas Maret, email: kusumandari@staff.uns.ac.id
⁵Departemen Kimia, FMIPA, Universitas Sebelas Maret, email: teguh@mipa.uns.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi reactive oxygen species (ROS) yang dihasilkan oleh plasma dielectric barrier discharge (DBD) pada konfigurasi rangkaian *single* dan *double* menggunakan Optical Emission Spectroscopy (OES). Variasi reaktor DBD digunakan untuk mengevaluasi spektrum emisi plasma. Hasil menunjukkan bahwa intensitas spektrum emisi pada rangkaian *double* secara umum lebih tinggi dibandingkan dengan *single*. Produksi radikal OH dan O pada konfigurasi *double* lebih stabil, sementara emisi spektrum N₂ menunjukkan intensitas yang lebih besar dibandingkan dengan *single*. Stabilitas ini diuji lebih lanjut pada sampel dengan pH basa, yang menunjukkan penurunan pH menuju netral. Pengukuran suhu menunjukkan kestabilan selama proses berlangsung, menjadikan konfigurasi *double* DBD efektif untuk penelitian yang membutuhkan kestabilan suhu larutan. Hasil ini mengindikasikan bahwa rangkaian *double* dapat meningkatkan efisiensi produksi ROS dalam aplikasi plasma.

Kata Kunci: Plasma DBD, spesies oksigen reaktif, spektroskopi optik emisi, rangkaian tunggal dan ganda

Abstract

This study aims to identify reactive oxygen species (ROS) generated by dielectric barrier discharge (DBD) plasma in *single* and *double* configurations using Optical Emission Spectroscopy (OES). Variations in DBD reactors were employed to evaluate the plasma emission spectra. The results showed that the emission intensity in the *double* configuration was generally higher than in the *single* configuration. The production of OH and O radicals in the *double* configuration was more stable, while the N₂ emission spectrum exhibited higher intensity compared to the *single* configuration. This stability was further tested on a sample with alkaline pH, which showed a decrease in pH toward neutrality. Temperature measurements demonstrated stability throughout the process, making the *double* DBD configuration effective for studies requiring solution temperature stability. These findings indicate that the *double* configuration can enhance ROS production efficiency in plasma applications.

Keywords: DBD plasma, reactive oxygen species, optical emission spectroscopy, *single* and *double* configurations

I. PENDAHULUAN

pH pada limbah cair bervariasi tergantung pada jenis limbah yang dihasilkan. Limbah cair rumah tangga atau domestik umumnya memiliki pH yang cenderung asam, berkisar antara 5,73 hingga 6 (Marhadi et al., 2023). Pada limbah industri tahu, pH yang terukur bahkan lebih asam, yaitu sekitar 4,07, sedangkan pada limbah industri lainnya, pH sering kali berada pada kisaran 4 (Ratna et al., 2024; Yuan et al., 2024). Sementara itu, limbah cair dari industri tekstil menunjukkan karakteristik yang lebih beragam, dengan pH yang dapat bervariasi dari kondisi asam sekitar 5,5 hingga kondisi basa mencapai 11 (Mohd Yusoff et al., 2024; Sánchez-Arévalo et al., 2024). Variasi pH ini sangat dipengaruhi oleh bahan kimia dan proses produksi yang digunakan, sehingga setiap jenis limbah memerlukan pendekatan pengolahan yang spesifik dan efektif.

Reactive Oxygen Species (ROS) dikenal sebagai salah satu agen oksidasi yang efektif dalam mendegradasi limbah cair berwarna, terutama yang dihasilkan oleh plasma yang bekerja pada tekanan atmosfer. Salah satu artikel menunjukkan bahwa kelarutan oksigen (O_2) dalam limbah cair berhubungan erat dengan pH limbah (Chida et al., 2024). Pada pH yang lebih basa, kelarutan oksigen cenderung menurun, sehingga penggunaan ROS menjadi solusi yang tepat untuk meningkatkan kadar oksigen terlarut dan menstabilkan pH ke angka normal. Artikel lain secara khusus membahas peran radikal hidroksil (OH radical) sebagai jenis ROS yang kuat, di mana pembentukannya berkaitan dengan peluruhan ozon (O_3) (Grimmig et al., 2024). Dalam hal ini, teknologi Dielectric Barrier Discharge (DBD) sangat tepat digunakan karena dikenal sebagai salah satu metode unggul dalam menghasilkan ozon. Selain itu, penelitian lain juga menunjukkan bahwa ROS yang dihasilkan oleh DBD terbukti efektif dalam mendegradasi zat pewarna yang terlarut dalam limbah cair, menjadikannya teknologi yang menjanjikan untuk pengolahan limbah industri (Kooshki et al., 2024).

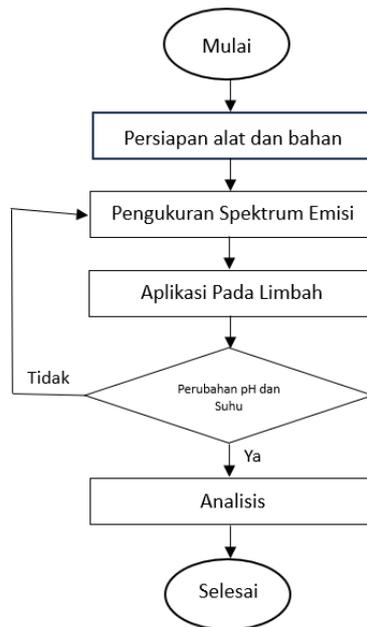
Plasma Dielectric Barrier Discharge (DBD) telah dikenal sebagai teknologi yang efektif dalam menghasilkan Reactive Oxygen Species (ROS). Berdasarkan salah satu artikel yang dikutip, plasma DBD mampu menghasilkan berbagai jenis ROS, termasuk ozon (O_3), radikal hidroksil (OH radical), dan superoksida (O_2^-), yang berperan penting dalam proses degradasi limbah cair (Bae et al., 2024). Artikel lain juga menguatkan temuan ini dengan menyebutkan bahwa plasma DBD sangat efisien dalam menciptakan lingkungan oksidatif melalui produksi ROS dalam jumlah yang signifikan (Kang et al., 2020). Efektivitas ini menjadikan DBD sebagai salah satu metode unggulan dalam pengolahan limbah, terutama untuk aplikasi yang membutuhkan reaksi oksidasi kuat pada tekanan atmosfer.

Berdasarkan kemampuan plasma DBD dalam menghasilkan ROS yang efektif, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi berbagai jenis ROS seperti $\bullet OH$, $\bullet O$ dan N_2 sebagai NRS yang dihasilkan pada sistem DBD dengan konfigurasi *single* dan *double* menggunakan Optical Emission Spectroscopy (OES). Kemudian konfigurasi terbaik akan diaplikasikan pada limbah untuk diukur suhu dan pHnya. Metode OES memungkinkan analisis mendalam terhadap emisi spektral plasma, sehingga memberikan gambaran jelas mengenai jenis dan intensitas ROS yang dihasilkan dalam kedua konfigurasi tersebut. Dengan memahami perbedaan produksi ROS pada masing-masing konfigurasi, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam optimalisasi teknologi DBD untuk pengolahan limbah cair yang lebih efisien, terutama dalam skala industri.

II. METODE

A. Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan sekian tahapan seperti pada Gambar 1, yaitu konfigurasi reactor DBD, pengambilan spektrum emisi dan aplikasi pada larutan limbah cair tekstil untuk diukur pH dan suhunya. Penelitian dilakukan selama Januari-Maret 2024 di Sub Laboratorium Kimia Universitas Sebelas Maret.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

B. Variabel Operasional Penelitian

Variabel yang diteliti dalam penelitian ini meliputi variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol. Variabel bebas adalah konfigurasi rangkaian DBD yang terdiri atas konfigurasi *single* dan *double*. Variabel terikat mencakup produksi reactive oxygen species (ROS), yaitu radikal OH dan O, serta emisi N₂. Adapun variabel kontrol mencakup kondisi operasi yang dijaga konstan, seperti tegangan, frekuensi, pH sampel, dan suhu larutan. Pengukuran emisi dilakukan menggunakan Optical Emission Spectroscopy (OES) untuk menganalisis spektrum emisi plasma, pH meter untuk mengukur pH larutan sebelum dan sesudah perlakuan plasma, serta termometer untuk memonitor kestabilan suhu selama proses berlangsung.

C. Teknik Pengumpulan Data

Data dalam penelitian ini diperoleh melalui beberapa metode pengukuran. Data spektrum emisi plasma dikumpulkan menggunakan Optical Emission Spectroscopy (OES) yang ditempatkan di ujung reaktor yang harapannya dapat menginterpretasikan produk akhir reaksi plasma untuk menganalisis intensitas radikal OH, O, dan N₂ yang berada pada Panjang gelombang sekitar 300-315nm, 777nm dan 330-340nm (Misra et al., 2015; Qusnudin et al., 2021). OES efektif untuk menangkap spektrum emisi dari plasma karena memiliki sensitifitas tinggi (Zaplotnik et al., 2021). Selain itu, data pH diperoleh dengan mengukur sampel larutan menggunakan pH meter setelah perlakuan plasma dilakukan selama 60 menit. Penggunaan pH meter umum digunakan untuk mengetahui pH dari suatu larutan. Pengukuran suhu larutan diukur dengan menggunakan termometer secara kontinu selama proses berlangsung untuk memastikan kestabilan suhu selama eksperimen.

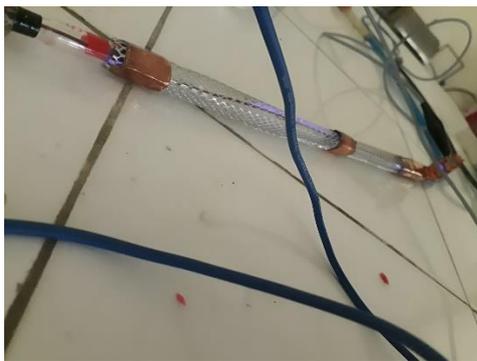
D. Teknik Pengolahan Data

Data spektrum dianalisis menggunakan perangkat lunak Origin untuk mengidentifikasi puncak emisi spesifik dari radikal OH, O, dan N₂. Perbandingan intensitas spektrum antara konfigurasi *single* dan *double* dilakukan secara kuantitatif untuk menilai perbedaan yang signifikan. Data pH dianalisis dengan membandingkan nilai pH sebelum dan sesudah perlakuan plasma untuk mengamati perubahan yang terjadi. Selain itu, analisis suhu dilakukan dengan mengevaluasi kestabilan suhu larutan selama proses berlangsung, guna memastikan konsistensi kondisi selama eksperimen.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Spektrum Emisi Plasma DBD

Lucutan plasma senyap (Silent Discharge Plasma) adalah plasma yang beroperasi pada tekanan atmosfer dan digunakan dalam industri skala besar sebagai pembangkit ozon, dengan udara atau oksigen sebagai gas sumber. Ciri khasnya adalah celah lucutan sempit (millimeter) dan elektroda yang dilapisi isolator, sehingga juga disebut lucutan plasma berpenghalang dielektrik (Dielectric Barrier Discharge) sebagaimana ditunjukkan **Gambar 2**. (Nur, 2014). Hasil penelitian menunjukkan bahwa intensitas spektrum emisi pada konfigurasi *double* lebih besar dibandingkan dengan *single* sebagaimana **Gambar 3**. Hal ini dapat dijelaskan oleh mekanisme proses ionisasi yang terjadi dalam konfigurasi *double*. Pada reaktor pertama, gas yang melewati plasma mengalami ionisasi awal, namun tidak semua molekul gas terionisasi secara sempurna. Ketika gas tersebut melewati reaktor kedua, sisa molekul yang belum terionisasi memiliki peluang untuk mengalami ionisasi tambahan. Proses bertahap ini meningkatkan jumlah partikel terionisasi, yang akhirnya menghasilkan intensitas spektrum yang lebih tinggi secara keseluruhan. Konfigurasi *double* memungkinkan pemanfaatan lebih optimal dari gas yang digunakan, sehingga meningkatkan efisiensi produksi plasma aktif.

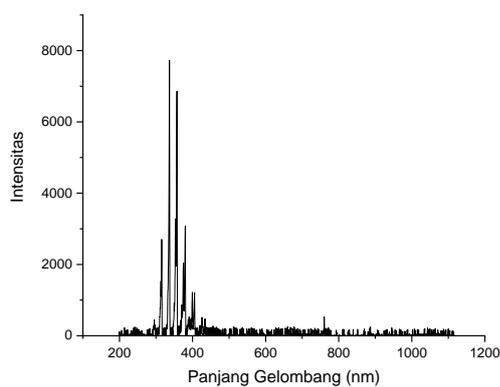


(a)

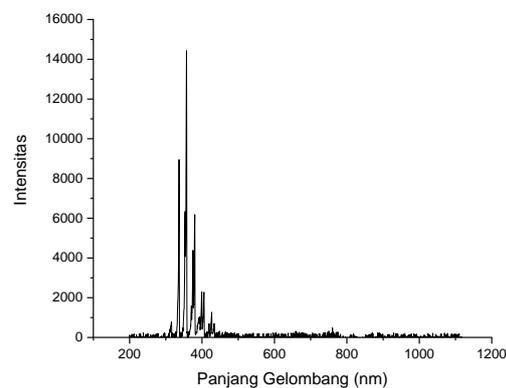


(b)

Gambar 2. (a) Discharge Plasma DBD dan (b) pada ruang gelap



(a)

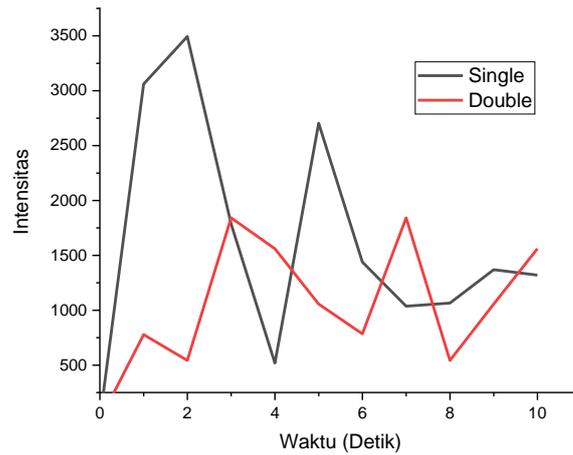


(b)

Gambar 3. (a) Grafik spektrum emisi pada rangkaian *single* dan (b) *double*

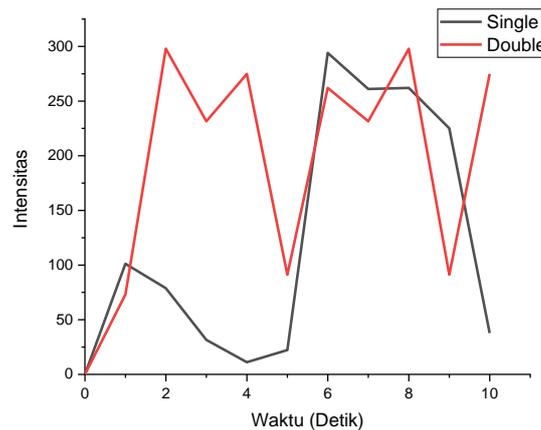
Gambar 4. menunjukkan pola perubahan intensitas OH radikal selama 10 detik pertama untuk masing-masing konfigurasi reaktor. Pada konfigurasi *double*, pola intensitas OH radikal terlihat jauh lebih stabil dibandingkan dengan konfigurasi *single*, yang menunjukkan fluktuasi signifikan. Stabilitas ini mencerminkan konsistensi produksi radikal OH dalam konfigurasi *double*, yang dapat disebabkan oleh pengulangan proses ionisasi dalam dua tahap. Dalam konfigurasi *double*, gas yang terpapar plasma di reaktor pertama telah

mengalami pemrosesan awal, sehingga pada reaktor kedua, ionisasi berjalan lebih terkontrol dan menghasilkan pola emisi yang lebih stabil.



Gambar 4. Grafik spektrum emisi OH radikal pada rangkaian *single* dan *double*

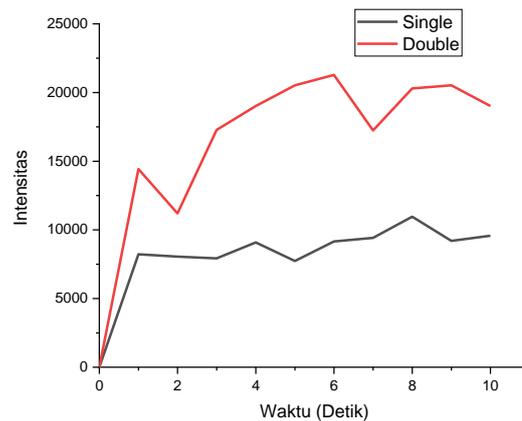
Hal serupa juga diamati pada O radical, di mana konfigurasi double menunjukkan spektrum yang lebih stabil dibandingkan dengan *single* sebagaimana **Gambar 5**. Stabilitas ini menunjukkan bahwa konfigurasi *double* mampu mempertahankan proses ionisasi dan pembentukan radikal dengan efisiensi tinggi. Dalam konfigurasi *single*, fluktuasi dapat terjadi karena plasma cenderung lebih sensitif terhadap variasi kondisi lokal, seperti distribusi energi atau konsentrasi gas, yang dapat memengaruhi intensitas produksi radikal. Dengan dua tahap ionisasi dalam konfigurasi double, ketidaksempurnaan pada tahap pertama dapat dikompensasi pada tahap kedua, sehingga menghasilkan pola emisi yang lebih konsisten. Stabilitas ini menjadi keunggulan konfigurasi double untuk aplikasi yang membutuhkan output plasma yang seragam.



Gambar 5. Grafik spektrum emisi OH radikal pada rangkaian *single* dan *double*

Spektrum emisi N_2 pada kedua konfigurasi menunjukkan pola yang serupa, yang mengindikasikan bahwa mekanisme eksitasi molekul nitrogen berlangsung dengan cara yang sama dalam kedua reaktor ditunjukkan oleh **Gambar 6**. Namun, intensitas emisi N_2 pada konfigurasi *double* secara signifikan lebih tinggi dibandingkan dengan *single*. Hal ini menunjukkan bahwa konfigurasi *double* mampu meningkatkan jumlah molekul nitrogen yang tereksitasi selama proses plasma berlangsung. Peningkatan intensitas ini kemungkinan besar disebabkan oleh adanya dua tahap proses ionisasi dalam konfigurasi double, di mana molekul-molekul yang tidak sepenuhnya tereksitasi pada reaktor pertama memiliki peluang untuk

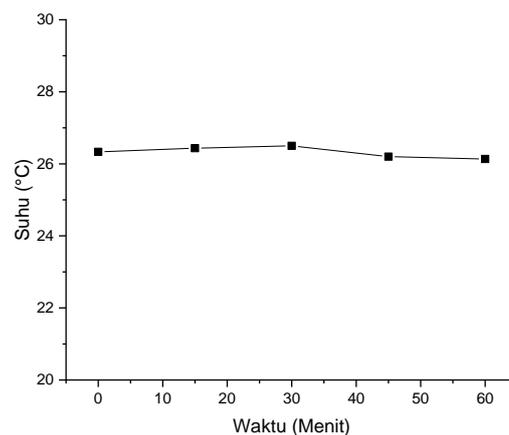
tereksitasi lebih lanjut di reaktor kedua. Dengan demikian, konfigurasi double memberikan efisiensi yang lebih tinggi dalam menghasilkan emisi N_2 , yang dapat meningkatkan efektivitas keseluruhan proses plasma untuk aplikasi yang memerlukan eksitasi molekul nitrogen.



Gambar 6. Grafik spektrum emisi OH radikal pada rangkaian *single* dan *double*

B. Suhu dan pH

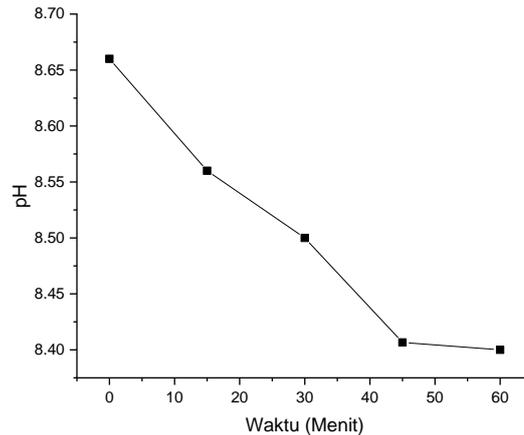
Hasil pengukuran seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 7, menyatakan bahwa suhu larutan tetap stabil selama perlakuan plasma, yaitu sekitar 26°C . Stabilitas suhu ini mencerminkan bahwa konfigurasi plasma DBD tidak menghasilkan panas berlebih selama proses berlangsung. Hal ini sangat penting untuk aplikasi yang membutuhkan perlakuan dengan suhu konstan, seperti pengolahan sampel yang sensitif terhadap perubahan suhu. Keunggulan ini menjadikan plasma DBD cocok untuk digunakan dalam penelitian dan industri yang memerlukan kestabilan termal, sehingga menjaga karakteristik fisik dan kimia sampel tetap terjaga selama proses berlangsung.



Gambar 7. Grafik perubahan suhu selama perlakuan plasma 60 menit

Selama perlakuan plasma, pH limbah yang awalnya bersifat basa mengalami penurunan secara bertahap menuju nilai yang lebih netral seperti ditunjukkan pada Gambar 8. Penurunan pH ini terjadi akibat interaksi plasma dengan sampel, di mana ion OH^- yang dihasilkan plasma pada waktu perlakuan yang lebih lama memainkan peran penting. Selain itu, reaksi plasma dengan limbah menghasilkan senyawa-senyawa asam, seperti yang dilaporkan oleh Wulandari (2019) yang turut menyebabkan penurunan pH. Mekanisme lain yang mendukung adalah terbentuknya produk-produk reaktif seperti NO_2^- , sebagaimana dijelaskan oleh Huang (2010) yang berkontribusi terhadap peningkatan keasaman larutan. Proses ini menunjukkan bahwa plasma DBD tidak hanya efektif dalam menghasilkan ROS, tetapi juga mampu mengubah karakteristik kimia

larutan, sehingga memungkinkan pemanfaatannya untuk aplikasi pengolahan limbah cair yang memerlukan penyesuaian pH.



Gambar 8. Grafik perubahan pH selama perlakuan plasma 60 menit

IV. PENUTUP

A. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, konfigurasi plasma DBD double menunjukkan kinerja yang lebih unggul dibandingkan dengan konfigurasi *single*. Intensitas spektrum emisi pada konfigurasi double secara umum lebih tinggi, dengan stabilitas yang lebih baik pada produksi radikal OH dan O, serta intensitas emisi N₂ yang lebih besar. Stabilitas suhu selama perlakuan plasma pada 26°C menunjukkan bahwa konfigurasi ini sangat cocok untuk aplikasi yang membutuhkan kestabilan termal. Selain itu, penurunan pH dari kondisi basa menuju netral selama perlakuan plasma menegaskan efektivitas plasma DBD dalam mengubah sifat kimia larutan. Temuan ini mengindikasikan bahwa konfigurasi double DBD lebih efisien dan stabil untuk aplikasi pengolahan limbah cair yang memerlukan kestabilan suhu dan kontrol kimia.

B. Saran

Penelitian lanjutan disarankan untuk mengembangkan desain reaktor plasma DBD yang lebih efisien dalam menghasilkan reactive oxygen species (ROS), dengan mempertimbangkan variasi parameter seperti material dielektrik, tegangan, frekuensi, dan jenis gas input. Uji coba pada berbagai jenis limbah cair dengan karakteristik kimia yang berbeda juga diperlukan untuk mengevaluasi efektivitas konfigurasi double DBD dalam skala yang lebih luas. Selain itu, monitoring jangka panjang terhadap kestabilan produksi ROS dan efeknya terhadap perubahan kimia larutan akan memberikan pemahaman yang lebih baik tentang keandalan teknologi ini untuk aplikasi industri. Analisis lebih mendalam terhadap produk reaktif lainnya yang dihasilkan selama proses plasma juga dapat memberikan wawasan tambahan tentang mekanisme reaksi yang terjadi. Akhirnya, optimalisasi konsumsi energi dalam konfigurasi double perlu dilakukan untuk memastikan efisiensi yang lebih tinggi tanpa mengorbankan stabilitas dan hasil produksi ROS.

DAFTAR PUSTAKA

- M. Nur (2014), Fisika Plasma dan Aplikasinya. Badan Penerbit UNDIP
- Bae, J. H., Huh, S. C., Park, J. Y., Park, S., Eom, S., Ryu, S., Lee, H., & Park, S. (2024). Lifetime of nitric oxide produced by surface dielectric barrier discharge in controlled atmospheres: Role of O₂ content. *Chemical Engineering Journal Advances*, 20. <https://doi.org/10.1016/j.ceja.2024.100647>

- Chida, T., Sasaki, S., Hiromori, K., Shibasaki-Kitakawa, N., Kaneko, T., & Takahashi, A. (2024). Insight into the generation network of reactive oxygen species in H₂O under nonthermal atmospheric-pressure plasma irradiation using a kinetic modeling approach. *Chemical Engineering Journal*, 501, 157640. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.157640>
- Grimmig, R., Gillemot, P., Kretschmer, A., Günther, K., Baltruschat, H., & Witzleben, S. (2024). Challenges in the determination of reactive oxygen species evolving during membrane water electrolysis for in situ ozone production. *Journal of Water Process Engineering*, 64, 105623. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.105623>
- Huang, F., Chen, L., Wang, H., & Yan, Z. (2010). Analysis of the degradation mechanism of methylene blue by atmospheric pressure dielectric barrier discharge plasma. *Chemical Engineering Journal*, 162(1), 250–256. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.05.041>
- Kang, K. A., Piao, M. J., Eom, S., Yoon, S.-Y., Ryu, S., Kim, S. B., Yi, J. M., & Hyun, J. W. (2020). Non-thermal dielectric-barrier discharge plasma induces reactive oxygen species by epigenetically modifying the expression of NADPH oxidase family genes in keratinocytes. *Redox Biology*, 37, 101698. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2020.101698>
- Kooshki, S., Pareek, P., Janda, M., & Machala, Z. (2024). Selective reactive oxygen and nitrogen species production in plasma-activated water via dielectric barrier discharge reactor: An innovative method for tuning and its impact on dye degradation. *Journal of Water Process Engineering*, 63. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.105477>
- M. Nur. (2014). Fisika Plasma dan Aplikasinya. Badan Penerbit UNDIP
- Marhadi, Adriansyah, E., Herawati, P., Suzana, A., & Pratama, A. I. (2023). Decreasing pH, COD and TSS of Domestic Liquid Waste Using Photocatalysis TiO₂ (Titanium Dioxide). *International Journal of Research in Vocational Studies (IJRVOCAS)*, 3(2), 11–15. <https://doi.org/10.53893/ijrvocas.v3i2.201>
- Misra, N. N., Keener, K. M., Bourke, P., & Cullen, P. J. (2015). Generation of In-Package Cold Plasma and Efficacy Assessment Using Methylene Blue. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 35(6), 1043–1056. <https://doi.org/10.1007/s11090-015-9638-5>
- Mohd Yusoff, N. H., Chew, W. J., Chong, C. H., & Wan, Y. K. (2024). Artificial intelligence in color classification of 3D-printed enhanced adsorbent in textile wastewater. *Journal of Water Process Engineering*, 65, 105776. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.105776>
- Qusnudin, A., Kusumandari, K., & Saraswati, T. E. (2021). OH Radical Intensity of Dielectric Barrier Discharge (DBD) Plasma Measured by Optical Emission Spectroscopy (OES). *Journal of Physics: Conference Series*, 1825(1), 12072. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1825/1/012072>
- Ratna, R., Mutia, M., Darwin, D., Munawar, A. A., Fitriani, F., & Handayani, L. (2024). Utilization of tofu liquid waste for the manufacture of bioplastic food packaging. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 10, 100830. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100830>
- Sánchez-Arévalo, C. M., García-Suarez, L., Camilleri-Rumbau, M. S., Vogel, J., Álvarez-Blanco, S., Cuartas-Urbe, B., & Vincent-Vela, M. C. (2024). Treatment of industrial textile wastewater by means of forward osmosis aiming to recover dyes and clean water. *Heliyon*, 10(23), e40742. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40742>
- Wulandari, S. W., Kusumandari, K., & Saraswati, T. E. (2019). Study of textile wastewater degradation using plasma corona discharge in batch system. *Journal of Physics: Conference Series*, 1153(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1153/1/012142>
- Yuan, X., Ma, S., Zhao, C., Chen, X., Zhou, Y., Xi, S., & Liu, S. (2024). Cadmium (II) ion adsorption of an industrial liquid waste-derived ferric oxide loaded with chitosan: Parameters optimization, isotherms, kinetics and thermodynamics. *Desalination and Water Treatment*, 319. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100578>
- Zaplotnik, R., Primc, G., & Vesel, A. (2021). Optical Emission Spectroscopy as a Diagnostic Tool for Characterization of Atmospheric Plasma Jets. *Applied Sciences*, 11(5), 2275. <https://doi.org/10.3390/app11052275>