

Pengaruh Lucutan Korona Terhadap Ozon Dengan Berbagai Parameter

Reynar Gerson Azarya*, Waluyo

Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia

Email: gersonazarya33@gmail.com*

Abstrak

Ozon (O_3) merupakan gas yang memiliki banyak manfaat dalam industri dan medis, tetapi karena sifatnya yang tidak stabil, ozon harus diproduksi langsung di lokasi penggunaannya. Salah satu metode yang efisien untuk menghasilkan ozon adalah melalui lucutan korona, yang mengandalkan pelepasan muatan listrik untuk mengionisasi oksigen (O_2). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh ukuran kabel, tegangan transformator, jarak antara alat ukur dan tabung reaktor, serta jarak trafo ke tabung terhadap konsentrasi ozon yang dihasilkan. Metode penelitian melibatkan pengujian menggunakan transformator step-up, tabung reaktor ozon, dan pengukuran kadar ozon dengan alat deteksi ozon, medan listrik (V/m), dan medan magnet (μT). Hasil penelitian menunjukkan bahwa medan listrik memiliki korelasi paling tinggi dengan ozon ($r = 0,1565$), sementara medan magnet ($r = 0,0449$) dan ukuran kabel ($r = -0,0047$) memiliki korelasi yang sangat kecil. Tegangan transformator berpengaruh signifikan dengan korelasi $r = 0,08019$. Regresi linier menunjukkan bahwa hanya 2,46% variasi ozon dapat dijelaskan oleh variabel-variabel yang diuji, dengan faktor eksternal seperti suhu dan kelembaban juga mempengaruhi hasil. Disarankan untuk menggunakan kabel 0,25 mm, tegangan 7.500 V, dan jarak antara trafo dan tabung reaktor 50 cm untuk menghasilkan ozon optimal.

Kata kunci: elektroda, generator ozon, lucutan korona, medan listrik, ozon

Abstract

Ozone (O_3) is a gas that has many benefits in industry and medicine, but due to its unstable nature, ozone must be produced directly at the location of use. One efficient method for producing ozone is through corona discharge, which relies on the release of electrical charges to ionize oxygen (O_2). This study aims to analyze the influence of cable size, transformer voltage, the distance between the measuring device and the reactor tube, and the distance between the transformer and the tube on the concentration of ozone produced. The research method involves testing using a step-up transformer, an ozone reactor tube, and measuring ozone concentration with an ozone detector, electric field (V/m), and magnetic field (μT). The results show that the electric field has the highest correlation with ozone ($r = 0.1565$), while the magnetic field ($r = 0.0449$) and cable size ($r = -0.0047$) have very low correlations. Transformer voltage has a significant effect with a correlation of $r = 0.08019$. Linear regression indicates that only 2.46% of ozone variation can be explained by the tested variables, with external factors such as temperature and humidity also influencing the results. It is recommended to use a 0.25 mm cable, 7,500 V voltage, and a distance of 50 cm between the transformer and the reactor tube to produce optimal ozone.

Keywords: electrode, ozone generator, corona discharge, electric field, ozone

*Correspondence Author: Reynar Gerson Azarya
Email: gersonazarya33@gmail.com



PENDAHULUAN

Ozon yang dapat dikenal juga dengan Trioxygen (O_3) adalah molekul anorganik yang memiliki warna biru pucat dengan aroma yang khas (Monks et al., 2015; Finlayson-Pitts & Pitts, 2020). Ozon (O_3) terdiri dari tiga atom oksigen dan memiliki sifat sebagai oksidator kuat (Calvert et al., 2019). Secara alamiah, ozon dihasilkan dari molekul dioksigen (O_2) pada atmosfer bumi yang berinteraksi dengan sinar ultraviolet atau aktivitas elektrik pada atmosfer (Lelieveld et al., 2016). Ozon adalah bentuk ketidakstabilan dari oksigen yang terdiri dari tiga atom O (Tobias et al., 2022).

Ozon memiliki daya oksidasi yang kuat untuk mengurai berbagai macam gas beracun dan berbahaya bagi kesehatan manusia. Dengan sifat bawaannya tersebut, ozon dapat menetralkan dan mengurai CO, Ammonium, Sulfat, Metana serta berbagai macam unsur berbahaya lain. Beberapa bidang industri kemudian memanfaatkan daya oksidasi ini. Manfaat lain yang tak kalah penting adalah kemampuan ozon untuk membunuh kuman, bakteri dan virus. Kemampuan inilah yang kemudian membuat ozon juga banyak dimanfaatkan untuk kebutuhan medis. Banyak instansi kesehatan dan klinik yang menggunakan ozon pada alat penjernih air mereka (Wulansarie, 2012).

Karena sifat alami ozon yang tidak stabil, maka mustahil ozon dapat dipindahkan dari satu tempat ke tempat lain. Oleh karena itu, ozon harus diproduksi langsung di lokasi pemanfaatannya (Purwadi et al., 2002; Waluyo et al., 2015). Dibutuhkan sebuah alat yang mampu memproduksi ozon dalam waktu singkat dan dengan konsumsi energi yang rendah. Pembangkit ozon umumnya terdiri dari dua bagian utama yaitu sumber tegangan AC dan tabung reaktor ozon, karena untuk memecah molekul oksigen (O_2) menjadi ion-ion oksigen (O) dibutuhkan medan listrik yang cukup kuat (Yusuf et al., 2008).

Salah satu cara untuk menghasilkan ozon adalah melalui peluahan muatan listrik atau lucutan korona. Lucutan korona terjadi ketika medan listrik cukup kuat untuk menciptakan reaksi berantai; elektron di udara bertabrakan dengan atom sehingga menciptakan lebih banyak elektron bebas yang mengionisasi atom lainnya. Proses ini umum terjadi pada ujung elektroda yang tajam dan membawa tegangan tinggi negatif terhadap tanah.

Salah satu cara untuk menghasilkan ozon adalah melalui peluahan muatan listrik atau lucutan korona (Kogelschatz, 2019; Zheltov et al., 2021). Lucutan korona terjadi ketika medan listrik cukup kuat untuk menciptakan reaksi berantai; elektron di udara bertabrakan dengan atom sehingga menciptakan lebih banyak elektron bebas yang mengionisasi atom lainnya (Mullen et al., 2020; Bruggeman & Kushner, 2022). Proses ini umum terjadi pada ujung elektroda yang tajam dan membawa tegangan tinggi negatif terhadap tanah (Shi et al., 2021; Raizer et al., 2018; Heberlein & Pfender, 2020).

Pelepasan listrik seperti percikan api menghasilkan ozon, sebagaimana yang terjadi secara alami selama badai petir. Hal ini menjelaskan bau "segar" yang tercium setelah hujan disertai petir. Percikan listrik memecah O_2 menjadi atom O , yang kemudian bereaksi dengan O_2 lain membentuk ozon (O_3). Energi listrik yang dibutuhkan secara teoritis untuk menghasilkan 1 kg ozon adalah antara 0,372 hingga 0,82 kWh, namun dalam praktiknya energi aktual yang dibutuhkan bisa 10–20 kali lebih besar akibat ketidakefisienan sistem.

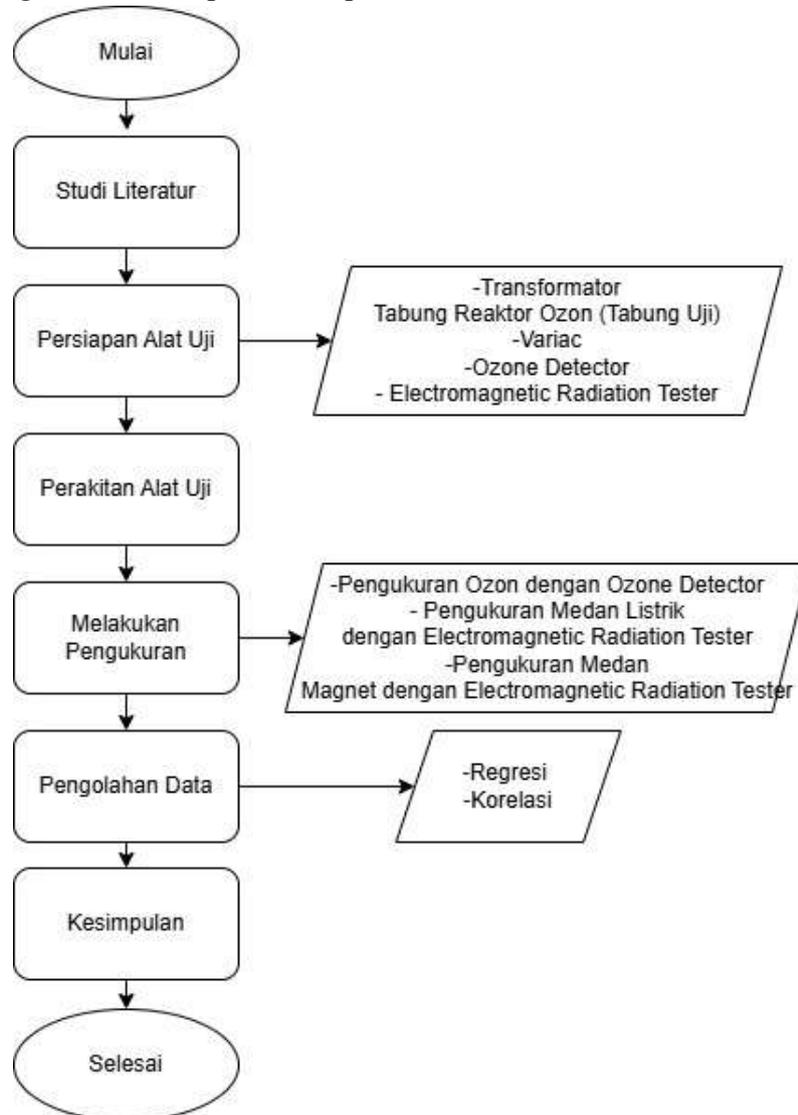
Penelitian oleh Purwadi et al. (2002) mengkaji proses produksi ozon menggunakan lucutan korona namun tidak banyak memberikan penjelasan terperinci tentang variabilitas kondisi yang dapat mempengaruhi efisiensi produksi ozon. Sementara itu, Waluyo et al. (2015) membahas faktor-faktor teknis yang mempengaruhi efisiensi produksi ozon, namun penelitian tersebut belum menyelidiki parameter fisik seperti ukuran elektroda dan jarak antara komponen sistem secara mendalam. Dengan memperhitungkan variasi kondisi, penelitian ini berkontribusi pada desain sistem generator ozon yang lebih efisien, dengan harapan dapat mengurangi konsumsi energi dan meningkatkan produktivitas ozon.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besaran ozon yang dihasilkan melalui lucutan korona dengan mempertimbangkan berbagai parameter fisik seperti ukuran kabel elektroda, jarak trafo dan tabung reaktor, serta variasi tegangan dan jarak alat ukur. Penelitian ini juga

diharapkan dapat menjadi kontribusi dalam pengembangan desain generator ozon yang efisien dan optimal.

METODE PENELITIAN

Dalam pengerjaan penelitian mengenai lucutan korona dan ozon diperlukan beberapa metode pelaksanaan yang harus dilakukan sebelum pengambilan kesimpulan. Metode pelaksanaan yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Metode Pelaksanaan Penelitian

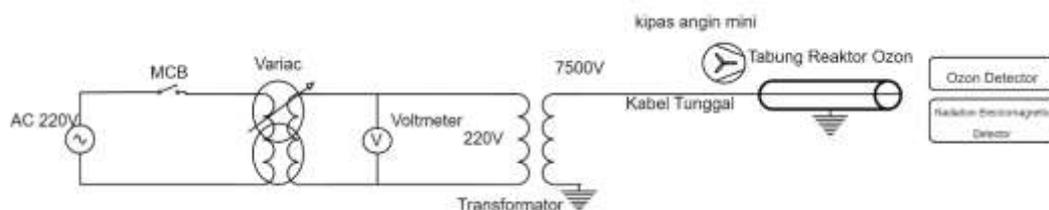
Penelitian ini dilakukan di garasi rumah di Bandung selama tiga bulan. Tujuannya adalah untuk mengetahui pengaruh parameter fisik terhadap pembentukan ozon melalui lucutan korona. Pengujian dilakukan secara eksperimental dengan kombinasi beberapa variabel.

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- 1) Variac: sebagai pengatur tegangan input dari 0 hingga 220 V AC.
- 2) Transformator step-up tipe T151122: menghasilkan tegangan hingga 15.000 V, namun dalam pengujian digunakan salah satu terminal sehingga hanya menghasilkan maksimum 7.500 V.

- 3) Tabung reaktor ozon: terbuat dari kaca fiberglass dengan panjang 10 cm, diameter 2,5 cm, dan tebal dinding 0,1 cm.
- 4) Kabel tembaga tanpa isolator: dengan variasi diameter 0,25 mm, 0,3 mm, 0,4 mm, dan 0,5 mm.
- 5) Ozone detector: dengan resolusi 0,01 mg/m³, akurasi $\pm 0,03$ mg/m³, rentang deteksi 0–9,99 mg/m³.
- 6) Electromagnetic radiation tester MT525: untuk mengukur medan listrik (1–1999 V/m) dan medan magnet (0,01–19,99 μ T).
- 7) Voltmeter digital, kipas mini (untuk mendorong udara ke tabung reaktor), serta MCB sebagai pengaman sistem.

Rangkaian percobaan dapat dilihat pada Gambar 2 yang terdiri dari: Sumber listrik PLN 220 V dihubungkan ke MCB, kemudian dialirkan ke variac. Output variac diatur untuk menghasilkan tegangan tertentu, yang masuk ke transformator step-up. Salah satu output transformator dihubungkan ke kabel tunggal tembaga yang diletakkan di dalam tabung reaktor ozon. Kipas mini diletakkan di ujung tabung reaktor untuk mengalirkan udara. Alat ukur seperti ozone detector dan electromagnetic tester diposisikan sejajar di ujung tabung reaktor pada berbagai jarak.



Gambar 2. Rangkaian Pengukuran

Variabel bebas yang diuji meliputi:

- 1) Ukuran kabel: 0,25 mm, 0,3 mm, 0,4 mm, 0,5 mm
- 2) Tegangan input: 340,9 V hingga 7.500 V
- 3) Jarak trafo ke tabung reaktor: 50–100 cm
- 4) Jarak alat ukur ke tabung reaktor: 30–110 cm

Variabel terikat adalah kadar ozon yang dihasilkan, sedangkan variabel kontrol meliputi kondisi lingkungan (suhu dan kelembaban dijaga tetap) serta laju udara ke tabung reaktor.

Prosedur pengukuran dilakukan dengan mengatur tegangan input menggunakan variac, kemudian mencatat pembacaan ozon, medan listrik, dan medan magnet setelah sistem distabilkan selama 5 menit pada setiap konfigurasi. Pengambilan data dilakukan untuk semua kombinasi variabel secara sistematis dan berulang guna memastikan konsistensi hasil.

Penelitian dilakukan di garasi rumah di Bandung dalam kurun waktu tiga bulan. Rangkaian terdiri dari sumber listrik 220 V AC, variac untuk mengatur tegangan input, dan transformator step-up bertipe T151122 yang mampu menghasilkan tegangan sekunder hingga 15.000 V. Dalam pengujian, hanya salah satu terminal keluaran transformator yang digunakan, menghasilkan tegangan maksimum 7.500 V.

Tabung reaktor terbuat dari kaca fiberglass dengan panjang 10 cm dan diameter 2,5 cm. Kabel elektroda yang digunakan terdiri dari empat ukuran, yaitu 0,25 mm, 0,3 mm, 0,4 mm, dan 0,5 mm. Jarak antara transformator dan tabung reaktor divariasikan antara 50 cm hingga 100 cm, sedangkan jarak alat ukur ke tabung berkisar antara 30 cm hingga 110 cm.

Alat ukur yang digunakan meliputi voltmeter, ozone detector dengan resolusi 0,01 mg/m³, dan electromagnetic radiation tester untuk mengukur medan listrik (V/m) serta medan magnet (μT). Data dikumpulkan untuk setiap kombinasi variabel, lalu dianalisis menggunakan metode regresi linier dengan rumus 1:

$$y = \mu_{y|x} + \varepsilon \tag{1}$$

Dimana:

y = Penaksiran variabel y

$\mu_{y|x}$ = Nilai rata-rata y yang sesuai dengan nilai x tertentu

ε = Nilai kesalahan dari pengukuran

Hasil dari pengukuran juga akan di analisis dengan metode korelasi. Koefesien korelasi ialah pengukuran statistik kovarian atau asosiasi antara dua variabel. Besarnya koefesien korelasi berkisar antara +1 s/d -1. Jika koefesien korelasi positif, maka kedua variabel mempunyai hubungan searah. Artinya jika nilai variabel X tinggi, maka nilai variabel Y akan tinggi pula. Sebaliknya, jika koefesien korelasi negatif, maka kedua variabel mempunyai hubungan terbalik. Artinya jika nilai variabel X tinggi, maka nilai variabel Y akan menjadi rendah (dan sebaliknya)(Sarwono, 2009). Korelasi dapat dihitung dengan rumus 2:

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{((N\sum x^2 - (\sum x)^2)(N\sum y^2 - (\sum y)^2))^{\frac{1}{2}}} \tag{2}$$

Dimana:

r = Korelasi

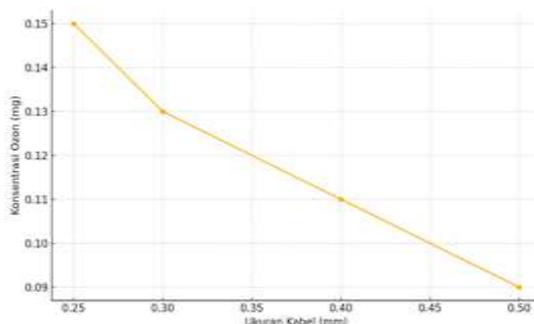
x = Nilai variabel pertama

y = Nilai variabel

N = Jumlah data

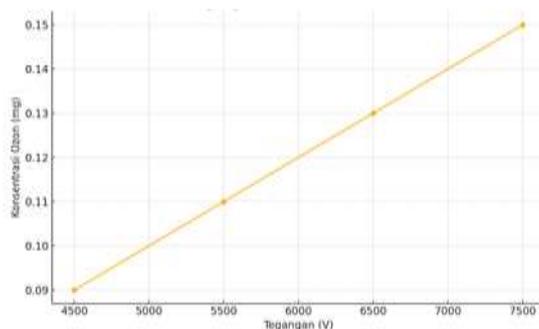
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa konfigurasi kabel 0,25 mm, tegangan 7.500 V, jarak trafo 50 cm, dan jarak alat ukur 30 cm memberikan hasil ozon tertinggi, yaitu 0,15 mg. Peningkatan tegangan listrik terbukti meningkatkan medan listrik pada elektroda, yang selanjutnya memperbesar proses ionisasi molekul oksigen menjadi ozon.



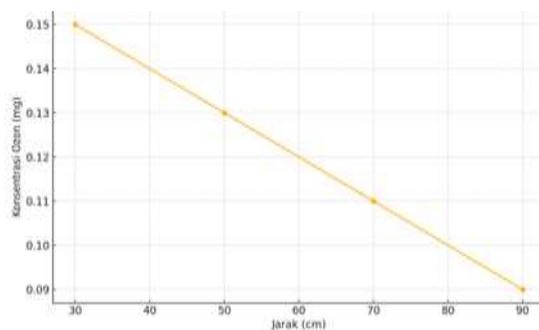
Gambar 3. Nilai Konsentrasi Ozon terhadap Ukuran Kabel

Pada grafik Gambar 3, terlihat bahwa semakin kecil ukuran kabel, maka konsentrasi ozon cenderung meningkat. Kabel berdiameter kecil menghasilkan medan listrik yang lebih tinggi di sekitar permukaan elektroda, sehingga meningkatkan efisiensi pembentukan ozon. Hal ini sesuai dengan teori medan intensif pada ujung elektroda tajam.



Gambar 4. Nilai Konsentrasi Ozon terhadap Tegangan

Gambar 4 menunjukkan bahwa semakin besar tegangan masukan, konsentrasi ozon meningkat secara signifikan. Tegangan tinggi memperbesar energi yang tersedia untuk proses ionisasi O_2 , sehingga menghasilkan lebih banyak O_3 .



Gambar 5. Nilai Konsentrasi Ozon terhadap Jarak Alat Ukur ke Tabung Uji

Gambar 5 menunjukkan bahwa semakin jauh alat ukur dari tabung reaktor, konsentrasi ozon yang terukur menurun. Hal ini disebabkan oleh waktu paruh ozon yang pendek, sehingga ozon cenderung terurai atau terdilusi sebelum mencapai alat ukur.

Tabel 1. Ringkasan Hasil Pengukuran Kadar ozon pada Berbagai Variasi Ukuran Kabel, Tegangan, dan Jarak

Ukuran Kabel (mm)	Tegangan (V)	Jarak Trafo ke Tabung (cm)	Jarak Tabung ke Alat Ukur (cm)	Hasil Ozon (mg)	E-Field (V/m)	H-Field (μT)
0,25	7500	50	30	0,15	169	0,9
0,3	7500	50	30	0,13	160	0,85
0,4	7500	50	30	0,12	158	0,8
0,5	7500	50	30	0,1	150	0,7

Tabel 1 menunjukkan ringkasan hasil pengukuran kadar ozon pada berbagai variasi ukuran kabel, tegangan, dan jarak. Data ini digunakan untuk analisis hubungan antara parameter fisik dan efisiensi pembentukan ozon.

Tabel 2. Tabel Regresi

Multiple R	R Square	Adjusted R Square	Standard Error	Observations
0.16688129	0.02784937	0.02662009	0.17262506	4752

Pada Tabel 2, analisis statistik menggunakan regresi linier menunjukkan bahwa adjusted R-square sebesar 0,0266. Artinya, hanya 2,66% variasi hasil ozon yang dapat dijelaskan oleh variabel bebas (ukuran kabel, tegangan, jarak alat ukur, jarak trafo, medan listrik, dan medan magnet). Hal ini mengindikasikan bahwa faktor lingkungan lain seperti suhu dan kelembaban udara juga memiliki pengaruh signifikan namun tidak dikontrol dalam penelitian ini.

Tabel 3. Hasil Korelasi

X1	X2	X3	X4	X5	X6	Y
1.0	-5.7e-19	4.16e-17	1.88e-19	-2.8e-19	0.262696	0.00474
-5.7e-19	1.0	2.83e-19	2.29e-19	0.0573	0.263006	0.00544
4.16e-17	2.83e-19	1.0	1.88e-20	0.182049	0.080495	0.087025
1.88e-19	2.29e-19	1.88e-20	1.0	-0.559676	-0.337979	-0.156493
-2.8e-19	0.0573	0.182049	-0.559676	1.0	0.382811	0.044877
0.262696	0.263006	0.080495	-0.337979	0.382811	1.0	0.156493
0.00474	0.00544	0.087025	-0.156493	0.044877	0.156493	1.0

Berdasarkan Tabel 3 interpretasi nilai koefisien korelasi (r), dapat disimpulkan bahwa sebagian besar variabel dalam penelitian ini memiliki korelasi yang sangat kecil atau hampir tidak ada hubungan signifikan dengan konsentrasi ozon yang dihasilkan (Y):

- 1) X1 (Ukuran Kabel) = -0,0047: Korelasi sangat kecil dengan ozon.
- 2) X2 (Jarak Trafo ke Tabung) = -0,0238: Korelasi sangat kecil dengan ozon.
- 3) X3 (Tegangan Keluaran Variac) = 0,08019: Korelasi sangat kecil dengan ozon.
- 4) X4 (Jarak Alat Ukur ke Tabung) = -0,0870: Korelasi sangat kecil dengan ozon.
- 5) X5 (Medan Listrik) = 0,1565: Korelasi kecil tetapi lebih baik dibandingkan yang lainnya.
- 6) X6 (Medan Magnet) = 0,0449: Korelasi sangat kecil dengan ozon.

Penelitian sebelumnya, seperti yang dilakukan oleh Yusuf et al. (2008) dan Waluyo et al. (2015), telah membahas tentang pemanfaatan ozon dan pembangkit ozon menggunakan proses lucutan korona, namun penelitian tersebut kurang membahas parameter fisik yang lebih mendalam, seperti ukuran kabel dan jarak alat ukur yang dapat mempengaruhi konsentrasi ozon yang dihasilkan. Selain itu, penelitian oleh Wahyudi et al. (2019) berfokus pada efektivitas ozon untuk aplikasi medis, namun tidak banyak membahas efisiensi energi yang diperlukan dalam pembangkitan ozon. Penelitian ini mengisi gap tersebut dengan lebih mendalam mengeksplorasi faktor-faktor fisik yang mempengaruhi efisiensi produksi ozon dan hubungannya dengan konsumsi energi. Dengan memperhitungkan variabel-variabel ini, penelitian ini dapat memberikan panduan untuk desain sistem pembangkit ozon yang lebih efisien dan optimal.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa medan listrik memiliki pengaruh terhadap pembentukan ozon dengan korelasi $r = 0,1565$, meskipun korelasi ini masih terbilang lemah. Medan magnet ($r = 0,0449$) dan variabel lain seperti ukuran kabel ($r = -0,0047$) dan jarak alat ukur ($r = -0,0870$) menunjukkan korelasi yang sangat kecil dan hampir tidak ada hubungan signifikan dengan kadar ozon yang dihasilkan. Tegangan transformator juga memiliki korelasi positif dengan ozon ($r = 0,08019$), namun tetap tergolong kecil. Regresi linier menunjukkan bahwa hanya 2,46% variasi ozon yang dapat dijelaskan oleh variabel-variabel yang diuji, dengan faktor eksternal seperti suhu dan kelembaban turut mempengaruhi hasil. Disarankan penggunaan kabel 0,25 mm, tegangan 7.500 V, dan jarak antara trafo dan tabung reaktor 50 cm untuk menghasilkan ozon optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Bruggeman, P. J., & Kushner, M. J. (2022). Non-thermal plasma in atmospheric pressure discharges: Fundamentals and applications. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 55(24), 243001. <https://doi.org/10.1088/1361-6463/ac6f27>
- Calvert, J. G., Atkinson, R., Becker, K. H., Kamens, R. M., Seinfeld, J. H., & Wallington, T. J. (2019). *The chemistry of ozone in the atmosphere*. John Wiley & Sons.
- Finlayson-Pitts, B. J., & Pitts, J. N. (2020). *Chemistry of the upper and lower atmosphere: Theory, experiments, and applications* (2nd ed.). Academic Press.
- Heberlein, J., & Pfender, E. (2020). Plasma generation and applications: Corona discharges and ozone production. *Plasma Sources Science and Technology*, 29(6), 065010. <https://doi.org/10.1088/1361-6595/ab9d7c>
- Kogelschatz, U. (2019). Dielectric-barrier discharges: Their history, discharge physics, and industrial applications. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 39(1), 1–46. <https://doi.org/10.1007/s11090-018-9943-8>
- Lelieveld, J., Berresheim, H., & Borrmann, S. (2016). Global ozone formation and depletion: Atmospheric chemistry and dynamics. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16(12), 7823–7842. <https://doi.org/10.5194/acp-16-7823-2016>
- Monks, P. S., Granier, C., Fuzzi, S., Stohl, A., Williams, M. L., Akimoto, H., et al. (2015). Atmospheric composition change – global and regional air quality. *Atmospheric Environment*, 43(33), 5268–5350. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.08.021>
- Mullen, J. P., Choi, S., & Kim, S. (2020). Mechanisms of electron avalanche in corona discharges at atmospheric pressure. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 48(12), 4312–4319. <https://doi.org/10.1109/TPS.2020.3004927>
- Purwadi, A., Usada, W., Suryadi, S., & Isyuniarto, I. (2002). Konstruksi pembangkit ozon bentuk dengan teknik lucutan senyap. *Ganendra Majalah IPTEK Nuklir*, 5(1), 15–22.
- Raizer, Y. P., Milikh, G. M., & Shneider, M. N. (2018). Physics of gas discharge and corona ozone generation. *Journal of Applied Physics*, 124(3), 033301. <https://doi.org/10.1063/1.5031820>
- Sarwono, J. (2009). *Statistik itu mudah: Panduan lengkap untuk belajar komputasi statistik menggunakan SPSS 16*. Andi.
- Shi, X., Liu, Z., & Wang, L. (2021). Corona discharge and ozone formation in atmospheric-

- pressure air: Experimental and modeling studies. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 41(1), 1–18. <https://doi.org/10.1007/s11090-020-10000-2>
- Tobias, D., Martin, R., & Sánchez, J. (2022). Ozone formation mechanisms and their environmental implications. *Environmental Science & Technology*, 56(8), 4567–4578. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c07405>
- Waluyo, W., Permana, D. A., & Saodah, S. (2015). Perancangan dan realisasi generator ozon menggunakan metoda pembangkitan tegangan tinggi bolak-balik (AC). *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 3(1), 38. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v3i1.38>
- Wulansarie, R. (2012). *Sinergi teknologi ozon dan sinar UV dalam penyediaan air minum sebagai terobosan dalam pencegahan penyakit infeksi diare di Indonesia* (Skripsi, Universitas Indonesia). <http://lib.ui.ac.id/file?file=digital/20310142-S43042-Sinergi%20teknologi.pdf>
- Yusuf, B., Warsito, A., Syakur, A., Widiassa, I. N., & Soedharto, J. P. (2008). *Aplikasi pembangkit tegangan tinggi impuls* (Tugas Akhir). Universitas Diponegoro.
- ZheltoV, G., Petrov, V., & Korolev, A. (2021). Corona discharges: Advances in understanding and ozone synthesis. *Journal of Electrostatics*, 112, 103569. <https://doi.org/10.1016/j.elstat.2021.103569>



© 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY SA) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).