

**SKRIPSI**

**SIMULASI PEMBENTUKAN OZON PADA REAKTOR OZON  
ELEKTRODA SILINDER KOAKSIAL  
MENGGUNAKAN COMSOL MULTIPHYSICS**



**Disusun untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik pada  
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik  
Universitas Sriwijaya**

**Oleh :**

**INDAH FEBIOLA**

**03041281823035**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
2022**

## LEMBAR PENGESAHAN

### SIMULASI PEMBENTUKAN OZON PADA REAKTOR OZON ELEKTRODA SILINDER KOAKSIAL MENGGUNAKAN COMSOL MULTIPHYSICS



## SKRIPSI

Disusun untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik pada  
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik  
Universitas Sriwijaya

Oleh :

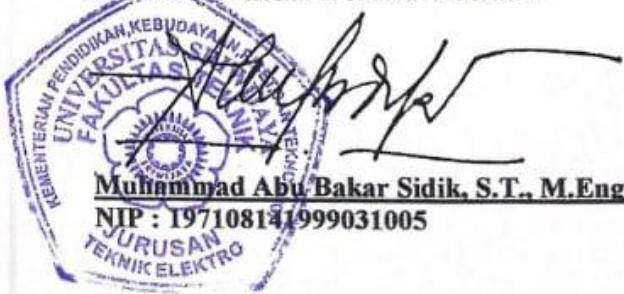
INDAH FEBIOLA

03041281823035

Indralaya, 15 September 2022

Mengetahui,  
Pembimbing Utama

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Elektro



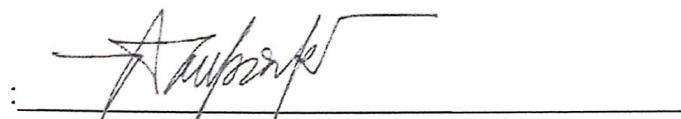
Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D.  
NIP : 197108141999031005

Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D.  
NIP : 197108141999031005

**LEMBAR PERNYATAAN DOSEN**

Saya sebagai pembimbing dengan ini menyatakan bahwa saya telah membaca dan menyetujui skripsi ini dan dalam pandangan saya lingkup dan kualitas skripsi ini mencukupi sebagai skripsi mahasiswa sarjana strata satu (S1).

Tanda Tangan

Pembimbing Utama : Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D

Tanggal

: 15 / SEPTEMBER / 2022

## PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademika Universitas Sriwijaya, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

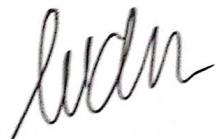
Nama : Indah Febiola  
NIM : 03041281823035  
Jurusan : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

Untuk kepentingan pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul, "Simulasi Pembentukan Ozon Pada Reaktor Ozon Elektroda Silinder Koaksial Menggunakan COMSOL Multiphysics" beserta perangkat yang ada.

Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini, Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tulisan saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Dibuat di : Palembang  
Pada Tanggal : 12 September 2022  
Yang Menyatakan



Indah Febiola

NIM. 03041281823035

## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Indah Febiola

NIM : 03041281823035

Fakultas : Teknik

Jurusan/Prodi : Teknik Elektro

Universitas : Sriwijaya

Presentase plagiarism (*Turnitin*) : 20 %

Dengan ini menyatakan karya ilmiah berupa skripsi dengan judul “Simulasi Pembentukan Ozon pada Reaktor Ozon Elektroda Silinder Koaksial Menggunakan COMSOL *Multiphysics*” merupakan karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata dikemudian hari karya ilmiah ini merupakan hasil plagiat atas karya ilmiah orang lain, maka saya bersedia bertanggung jawab dan menerima sanksi yang sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan.

Indralaya, 12 September 2022  
Yang menyatakan,



Indah Febiola  
NIM. 03041281823035

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang telah menganugerahkan rahmat-Nya, sehingga Saya dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Simulasi Pembentukan Ozon Pada Reaktor Ozon Elektroda Silinder Koaksial Menggunakan COMSOL *Multiphysics*". Skripsi ini merupakan karya ilmiah yang Saya hasilkan dan tentu saja jauh dari kesempurnaan, baik penyajian, tata bahasa, maupun materi yang dibahas. Oleh karena itu, komentar dan masukan untuk meningkatkan kualitas skripsi ini sangat diperlukan.

Pembuatan tugas akhir ini merupakan syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Pembimbing Utama sekaligus Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya yang telah memfasilitasi dan membimbing tugas akhir dari awal hingga terselesaiannya skripsi ini.
2. Bapak Djulil Amri, S.T.,M.T. selaku Pembimbing Kedua yang telah memberikan bimbingan.
3. Ibu Dr. Eng. Suci Dwijayanti, S.T., M.S. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya.
4. Ibu Nadia Thereza, S.T.,M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik selama mengeyam pendidikan di Teknik Elektro Universitas Sriwijaya.
5. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu serta pengalamannya selama perkuliahan.

6. Kedua orang tua saya Friansyah dan Siti Erni beserta saudara yang senantiasa mendoakan kelancaran selama perkuliahan maupun penyusunan skripsi ini.
7. Kak Dinda dan Kak Gina selaku penulis rujukan dan senior.
8. Teman-teman yang mendukung selama perkuliahan Evita, Nisa, Ferron, Taufiq, Syukron, Intan, Irma dan Tino.
9. Sahabat-sahabat yang tergabung dalam Wanita Sukses, Ayu, Jezzi, Mode, Rara, Syasya, Ishmah, Mufliah.
10. Teman-teman satu bimbingan yaitu Mayang, Yusup, Habiba, Julio, Kak Ari, Refangga, Nafis, Ari, Sutra, Sadam.
11. Pihak-pihak yang telah membantu selama menyelesaikan skripsi yang tidak dapat dituliskan satu persatu.

Saya berdoa semoga Allah SWT memberikan ganjaran pahala atas semua keikhlasan dan kebaikan yang telah diberikan.

Palembang, 12 September 2022



Penulis

## ABSTRAK

### SIMULASI PEMBENTUKAN OZON PADA REAKTOR OZON ELEKTRODA SILINDER KOAKSIAL MENGGUNAKAN COMSOL MULTIPHYSICS

(Indah Febiola, 03041281823035, 2022, xx +40 halaman + lampiran)

---

Penelitian ini membahas mengenai pembentukan ozon menggunakan metode *dielectric barrier discharge* yang disimulasikan melalui *software COMSOL Multiphysics*. Reaktor *dielectric barrier discharge* menggunakan konfigurasi silinder koaksial dengan kaca sebagai bahan dielektrik. *Discharge O<sub>2</sub>* pada *plasma module* untuk menghasilkan output berupa konsentrasi ozon dilakukan melalui beberapa parameter diantaranya *heavy species transport, drift diffusion* dan *electrostatic*. Konsentrasi ozon tertinggi sebesar 545.19825 ppm dihasilkan pada tegangan input AC 18 kV, sedangkan pada tegangan input 16 kV dengan sumber DC diperoleh konsentrasi ozon tertinggi yaitu 546.19503 ppm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi ozon yang dihasilkan melalui simulasi lebih tinggi dibandingkan eksperimen yang telah dilakukan Panta et al.

Kata kunci: konsentrasi ozon, *dielectric barrier discharge*, simulasi.

**ABSTRACT****SIMULATION OF OZONE FORMATION  
IN OZONE REACTOR COAXIAL CYLINDER ELECTRODE  
USING COMSOL MULTIPHYSICS**

(Indah Febiola, 03041281823035, 2022, xx +40 pages + lampiran)

This study discusses the formation of ozone using dielectric barrier discharge method which is simulated through COMSOL Multiphysics software. Dielectric barrier discharge reactor uses a coaxial cylinder configuration with glass as the dielectric material. Discharge of O<sub>2</sub> in the plasma module to produce output in the form of ozone concentration is carried out through several parameters including heavy species transport, drift diffusion and electrostatic. The highest ozone concentration of 545.19825 ppm was produced at an AC input voltage of 18 kV, while at an input voltage of 16 kV with a DC source, the highest ozone concentration was obtained at 546.19503 ppm. The results showed that the concentration of ozone produced through the simulation was higher than the experiment conducted by Panta et al.

Keywords: ozone concentration, dielectric barrier discharge, simulation.

## DAFTAR ISI

COVER .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
LEMBAR PERNYATAAN DOSEN.....	iii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
ABSTRAK .....	viii
ABSTRACT .....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1    Latar Belakang.....	1
1.2    Perumusan Masalah.....	3
1.3    Tujuan Penelitian .....	3
1.4    Ruang Lingkup Penelitian .....	3
1.5    Sistematika Penulisan .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1    Ozon.....	6
2.2 <i>Electrical Discharge</i> pada Gas .....	7
2.3 <i>Corona Discharge</i> .....	8
2.4 <i>Arc Discharge</i> .....	9
2.5 <i>Glow Discharge</i> .....	10
2.6 <i>Filamentary Discharge (Streamer Discharge)</i> .....	10
2.7 <i>Dielectric Barrier Discharge</i> .....	11
2.8    Plasma.....	12

2.9	Plasma Non-Termal .....	13
2.10	COMSOL <i>Multiphysics</i> .....	14
2.11	<i>Finite Element Analysis</i> .....	15
2.12	Penelitian Terdahulu.....	16
	<b>BAB III METODELOGI PENELITIAN .....</b>	<b>20</b>
3.1	Lokasi Penelitian .....	20
3.2	Waktu Penelitian.....	20
3.3	Metode Penelitian .....	20
3.4	Dimensi Reaktor DBD.....	21
3.5	Pemodelan Geometri Alat .....	24
3.6	Teknik Pengambilan Data .....	24
3.7	Prosedur Percobaan .....	25
3.8	Visualisasi Data Hasil Simulasi.....	27
3.9	<i>Flow Chart</i> Penelitian.....	28
	<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>29</b>
4.1	Data Hasil Penelitian .....	29
4.2	Pembahasan dan Analisa .....	31
	<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>36</b>
5.1	Kesimpulan.....	36
5.2	Saran .....	36
	<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
	<b>LAMPIRAN</b>	

**DAFTAR GAMBAR**

Gambar 2.1 Diagram skema <i>corona discharge</i> titik ke bidang .....	8
Gambar 2.2 Karakteristik tegangan arus pada .....	9
Gambar 2.3 Konfigurasi DBD secara umum .....	12
Gambar 3.1 Reaktor DBD <i>full body</i> .....	22
Gambar 3.2 Tampak samping reaktor DBD .....	22
Gambar 3.3 <i>Software Solidworks</i> .....	23
Gambar 3.4 <i>Software COMSOL Multiphysics</i> .....	23
Gambar 3.5 <i>Software ORIGIN</i> .....	23
Gambar 3.6 <i>Flow Chart</i> Penelitian .....	28

**DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1 Data Penelitian Terdahulu.....	18
Tabel 3.1 Spesifikasi dimensi reaktor DBD.....	21
Tabel 3.2 Data Hasil Penelitian.....	27
Tabel 4.1 Hasil Konsentrasi Ozon pada Reaktor dengan Tegangan AC .....	30
Tabel 4.2 Hasil Konsentrasi Ozon pada Reaktor dengan Tegangan DC .....	30
Tabel 4.3 Perbandingan Hasil Konsentrasi Ozon melalui simulasi dengan eksperimen .....	34

## **DAFTAR LAMPIRAN**

- Lampiran 1. Desain 3D Reaktor Ozon
- Lampiran 2. Hasil Simulasi Konsentrasi Reaktor Ozon dengan Input Tegangan AC
- Lampiran 3. Hasil Simulasi Konsentrasi Reaktor Ozon dengan Input Tegangan DC
- Lampiran 4. Tabel Hasil Simulasi Konsentrasi Reaktor Ozon Terhadap Waktu dengan Input Tegangan AC
- Lampiran 5. Tabel Hasil Simulasi Konsentrasi Reaktor Ozon Terhadap Waktu dengan Input Tegangan DC
- Lampiran 6. Konversi mol ke ppm Hasil Konsentrasi Reaktor Ozon dengan Input Tegangan AC
- Lampiran 7. Konversi mol ke ppm Hasil Konsentrasi Reaktor Ozon dengan Input Tegangan DC
- Lampiran 8. Simulasi Flow Gas  $O_2$  pada Reaktor

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Ozon merupakan oksidator kuat yang terdiri dari 3 atom oksigen dan dapat diaplikasikan pada air dan udara. Ozon mudah bereaksi dengan zat lain tanpa meninggalkan residu kimia yang berbahaya sehingga sangat ramah lingkungan karena menghasilkan oksigen. Ozon memiliki peran penting di atmosfer dalam melindungi permukaan bumi dari sinar UVB matahari yang berbahaya dan radiasi UVC yang signifikan. Secara alami, ozon terbentuk dilapisan stratosfer dalam jumlah yang kecil akibat aksi penyinaran UV matahari pada oksigen. Sebagian kecil ozon juga terbentuk di troposfer sebagai produk sampingan dari reaksi fotokimia antara hidrokarbon, nitrogen dan oksigen yang dilepaskan dari industri, knalpot mobil, dan aktivitas vulkanik [1][2][3][4].

Ozon dikenal juga sebagai zat yang tidak stabil, namun memiliki laju dekomposisi sangat bervariasi tergantung suhu dan kelembapan. Ozon selalu dihasilkan di tempat untuk segera digunakan tidak dapat disimpan maupun dipindahkan dalam wadah karena ozon akan terurai secara spontan oleh adanya pengotor, kelembapan serta permukaan padat yang teroksidasi. Dalam banyak aplikasi, ozon dapat menggantikan klorin dalam pengolahan air limbah, antimikroba, oksidasi semikonduktor, pengolahan udara tercemar, dan sebagai disinfektan [5][6][7].

Dalam industri, pembangkitan ozon sering kali menggunakan sumber plasma. Diantara berbagai sumber plasma, *Dielectric Barrier Discharge* (DBD)

merupakan salah satu sumber plasma non termal yang paling hemat biaya. Jenis pelepasan ini dikenal efektif dalam inisiasi proses kimia dan fisika dalam gas. Telah banyak yang mempelajari DBD secara ekstensif dalam beberapa tahun terakhir mengingat potensinya diberbagai bidang. Tidak hanya mencakup pemrosesan material tetapi juga dalam aplikasi dibidang energi dan lingkungan yang disebabkan karena kemampuannya dalam membentuk plasma yang sangat reaktif mendekati suhu kamar dengan mengkonsumsi energi yang rendah serta penggunaan sistem reaktor yang sederhana dalam tekanan atmosfer [7].

Sistem DBD dapat dibuat dalam berbagai konfigurasi seperti DBD tipe planar maupun tipe silinder. Struktur DBD terdiri dari dua buah elektroda yang dipisahkan jarak celah dimana salah satu atau kedua sisinya terdapat bahan dielektrik. DBD beroperasi dengan menerapkan tegangan tinggi ke dielektrik, dimana elektroda akan dikenai tegangan tinggi sehingga akan mendorong terjadinya pelepasan mikro. Pelepasan mikro akan memecah molekul oksigen menjadi atom oksigen, yang akan bergabung dengan molekul oksigen sehingga ozon akan terbentuk [8][9][10].

Pada penelitian (Gina, 2021) [11], dilaporkan bahwa pembentukan ozon dengan geometri silinder yang dibatasi kaca *pyrex* sebagai *barrier discharge* pada reaktor DBD melalui pengujian simulasi dengan *software COMSOL Multiphysics* mendapatkan hasil konsentrasi ozon yang lebih stabil dan lebih tinggi dibandingkan dengan eksperimen yang telah dilakukan sebelumnya (E. Yulianto, 2019). Untuk mempelajari lebih lanjut mengenai pembentukan ozon melalui pengujian simulasi melalui *software COMSOL Multiphysics*, hal inilah yang menjadi dasar dilakukannya penelitian ini yaitu untuk melihat konsentrasi ozon yang dihasilkan dengan menggunakan geometri yang berbeda serta menerapkan *double dielectric* sebagai *barrier discharge* dalam reaktor DBD yang akan digunakan, dimana reaktor akan dimodelkan dalam bentuk 3D dan akan didesain dengan memakai *software Solidworks*.

## 1.2 Perumusan Masalah

Merujuk dari penelitian Gina [11], dinyatakan bahwa konsentrasi ozon yang dihasilkan selama pengujian simulasi dengan menggunakan *software* COMSOL *Multiphysics* mendapat hasil yang lebih stabil dan lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian sebelumnya (E. Yulianto et al, 2009) [12]. Mengingat pembentukan ozon melalui pengujian simulasi ini masih jarang dilakukan, maka dari itu diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai topik ini untuk melihat juga bagaimana pengaruh dari komponen seperti bentuk elektroda yang digunakan serta penerapan *double dielectric* sebagai *barrier discharge* dalam konsentrasi ozon yang akan dihasilkan selama simulasi berlangsung. Penelitian ini akan menggunakan alat dari rujukan Panta et al [13], dimana reaktor DBD akan dibuat dengan geometri silinder koaksial yang meletakkan dua buah penghalang dielektrik yang dipisahkan dengan jarak celah 1 mm dari elektroda. Konsentrasi ozon yang dihasilkan dari penelitian ini akan dibandingkan dengan hasil yang didapatkan dari eksperimen yang telah dilakukan oleh Panta et al.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mendapatkan konsentrasi ozon menggunakan *software* COMSOL *Multiphysics* berbasis *finite element method* dengan desain reaktor dari Panta et al.
2. Untuk memperoleh perbandingan konsentrasi ozon hasil simulasi dengan eksperimen sebelumnya.

## 1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menggunakan *software* Solidworks untuk mendesain reaktor pembangkit ozon dalam bentuk 3D.

2. Memakai *software COMSOL Multiphysics* dalam pengujian simulasi untuk mendapatkan kosentrasi ozon yang optimal melalui *finite element analysis*.
3. Menentukan faktor-faktor yang dapat mempengaruhi produktivitas dari reaktor melalui simulasi sehingga memperoleh kondisi operasi yang sesuai dengan keadaan eksperimen.
4. Faktor yang tidak ada pada rujukan utama (Panta et al) [13], didapatkan dari artikel maupun jurnal valid yang membahas mengenai penelitian terkait dan sudah terbukti secara eksperimen.

## 1.5 Sistematika Penulisan

Adapun Sistematika Penulisan dalam proyek tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

### BAB I PENDAHULUAN

Yang dibahas dalam bab ini adalah latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan.

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memuat dasar teori yang berhubungan dengan ozon, *Dielectric Barrier Discharge* (DBD), dan hal-hal yang berkaitan dengan pembangkitan ozon.

### BAB III METODELOGI PENELITIAN

Yang dibahas pada bab ini berkenaan dengan lokasi dan waktu penelitian, dimensi reaktor DBD serta metode-metode yang akan digunakan dalam penelitian.

**BAB IV HASIL PENDAHULUAN**

Bab ini menjelaskan tentang hasil pendahuluan penelitian berdasarkan *literature review*.

**BAB V PENUTUP**

Bab ini memuat kesimpulan dari hasil pendahuluan serta saran untuk kelanjutan penelitian.

**DAFTAR PUSTAKA**

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Nur, Saraslifah, and F. Arianto, “Pengaruh Ozon yang Dibangkitkan Melalui Reaktor Plasma Berpenghalang Dielektrik Elektroda Silinder Spiral Terhadap Pengawetan Cabai,” *Youngster Phys. J.*, vol. 5, no. 4, pp. 319–326, 2016.
- [2] Y. Triawanto, “Pengaruh Variasi Topologi Elektroda terhadap Kadar Ozon yang dihasilkan oleh Generator Ozon,” pp. 47–49, 2016.
- [3] J. Staehelin, N. R. P. Harris, C. Appenzeller, and J. Eberhard, “OZONE TREN DS ’ A REVIEW,” no. 1999, pp. 231–290, 2001.
- [4] J. G. Kim, A. E. Yousef, and S. Dave, “Application of ozone for enhancing the microbiological safety and quality of foods: A review,” *J. Food Prot.*, vol. 62, no. 9, pp. 1071–1087, 1999, doi: 10.4315/0362-028X-62.9.1071.
- [5] Health and Safety Executive, “Ozone : Health hazards and control measures,” *Guid. Note EH38*, pp. 1–10, 2014.
- [6] T. J. Manning, “Production of ozone in an electrical discharge using inert gases as catalysts,” *Ozone Sci. Eng.*, vol. 22, no. 1, pp. 53–64, 2000, doi: 10.1080/01919510008547228.
- [7] D. P. Subedi, “Dielectric Barrier Discharge (DBD) Plasmas and Their Applications.” [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-4217-1\\_13](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-4217-1_13).
- [8] M. Facta, Hermawan, Karnoto, Z. Salam, and Z. Buntat, “Double dielectric barrier discharge chamber for ozone generation,” *2014 1st Int. Conf. Inf. Technol. Comput. Electr. Eng. Green Technol. Its Appl. a Better Futur. ICITACEE 2014 - Proc.*, no. 1, pp. 409–412, 2015, doi: 10.1109/ICITACEE.2014.7065781.
- [9] Suraidin, M. Nur, Gunawan, and A. I. Susan, “Study of ozone reactor with dielectric barrier discharge plasma (BDBP): Variations of inner electrode based on Stainless steel, Galvalume, and Copper,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol.

- 776, no. 1, 2016, doi: 10.1088/1742-6596/776/1/012047.
- [10] M. Takayama, K. Ebihara, H. Stryczewska, T. Ikegami, and Y. Gyoutoku, “Ozone generation by dielectric barrier discharge for soil sterilization,” vol. 507, pp. 396–399, 2006, doi: 10.1016/j.tsf.2005.08.332.
  - [11] G. R. Lestari and M. A. B. Sidik, “Simulasi Pembentukan Ozon pada Reaktor Ozon Elektroda Silinder Menggunakan COMSOL Multiphysics,” 2021. <https://repository.unsri.ac.id/51741/>.
  - [12] E. Yulianto *et al.*, “Comparison of ozone production by DBDP reactors: Difference external electrodes,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1153, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1153/1/012088.
  - [13] G. P. Panta, H. B. Baniya, S. Dhungana, D. P. Subedi, and A. P. Papadaki, “Ozonizer Design by Using Double Dielectric Barrier Discharge for Ozone Generation,” *African Rev. Phys.*, vol. 15, no. July 2021, pp. 43–55, 2020.
  - [14] S. Maftuhah, A. Rahardian, M. Masfufah, E. Yulianto, S. Sumariyah, and M. Nur, “Experimental study on medical ozone generation in double dielectric barrier discharge(DDBD) with spiral-spiral electrodes,” *AIP Conf. Proc.*, vol. 2197, 2020, doi: 10.1063/1.5140908.
  - [15] M. A. B. Sidik *et al.*, “Variation of Pattern and Cavity Diameter of Aluminium Perforated with Single Glass Dielectric Barrier for Ozone Generation,” *Proc. 2018 Int. Conf. Electr. Eng. Comput. Sci. ICECOS 2018*, vol. 17, pp. 435–440, 2019, doi: 10.1109/ICECOS.2018.8605219.
  - [16] M. Nur, Istiqomah, and A. Fajar, “Karakterisasi Reaktor Plasma Lucutan Berpenghalang Dielektrik Berkonfigurasi Elektroda Spiral-Silinder Dengan Sumber Udara Bebas,” *Youngster Phys. J.*, vol. 6, no. 3, pp. 235–241, 2017.
  - [17] S. Fitria, Z. Nawawi, M. A. B. Sidik, D. Yuniar, R. F. Kurnia, and Z. Buntat, “Comparison Double Dielectric Barrier Using Perforated Aluminium for Ozone Generation,” *Proc. 2018 Int. Conf. Electr. Eng. Comput. Sci. ICECOS 2018*, vol. 17, pp. 419–424, 2019, doi: 10.1109/ICECOS.2018.8605256.
  - [18] D. S. Dewi and M. A. B. Sidik, “Simulasi Pembentukan Ozon Pada Ozone Chamber Elektroda Datar Menggunakan COMSOL Multiphysics,” 2020.

- [https://repository.unsri.ac.id/31462/.](https://repository.unsri.ac.id/31462/)
- [19] S. T. Prihatnolo, A. Syakur, and M. Facta, “Pengukuran Tegangan Tembus Dielektrik Udara pada Berbagai Sela dan Bentuk Elektroda dengan Variasi Temperatur Sekitar,” *J. Tek. Elektro Undip*, pp. 1–8, 2011.
  - [20] J. S. Chang, P. A. Lawless, and T. Yamamoto, “Corona Discharge Processes,” *IEEE Trans. Plasma Sci.*, vol. 19, no. 6, pp. 1152–1166, 1991, doi: 10.1109/27.125038.
  - [21] F. K Lu, *IONIZATION OF AIR BY CORONA DISCHARGE*. .
  - [22] M. Goldman, A. Goldman, and R. S. Sigmund, “The corona discharge, its properties and specific uses,” *Pure Appl. Chem.*, vol. 57, no. 9, pp. 1353–1362, 1985, doi: 10.1351/pac198557091353.
  - [23] R. Masarrang, L. S. Patras, H. Tumaliang, and A. P. S. Transmisi, “Efek Korona pada Saluran Transmisi Gardu Induk Tello Sulawesi Selatan,” *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 8, no. 2, pp. 67–74, 2019, doi: 10.35793/jtek.8.2.2019.23980.
  - [24] R. Kenneth Marcus, *Glow Discharge Spectroscopies*, First. New York: Plenum Press, 1993.
  - [25] S. Nijdam, J. Teunissen, and U. Ebert, “The physics of streamer discharge phenomena,” *Plasma Sources Sci. Technol.*, vol. 29, no. 10, 2020, doi: 10.1088/1361-6595/abaa05.
  - [26] D. Xiao, *Gas Discharge and Gas Insulation*. Shanghai Jiao Tong University Press, 2016.
  - [27] G. P. Panta, D. P. Subedi, H. B. Baniya, A. P. Papadaki, and S. Dhungana, “An Experimental Study of Co-Axial Dielectric Barrier Discharge for Ozone Generation,” *J. Nepal Phys. Soc.*, vol. 6, no. 1, pp. 84–89, 2020, doi: 10.3126/jnphysoc.v6i1.30554.
  - [28] A. Rahardian, M. Masfufah, S. Maftuhah, E. Yulianto, S. Sumariyah, and M. Nur, “Effective medical ozone production using mesh electrodes in double dielectric barrier type plasma generators,” *AIP Conf. Proc.*, vol. 2197, no. January, 2020, doi: 10.1063/1.5140907.
  - [29] H. Hao, B. S. Wu, J. Yang, Q. Guo, Y. Yang, and Y. W. Li, “Non-thermal plasma enhanced heavy oil upgrading,” *Fuel*, vol. 149, pp. 162–173, 2015,

- doi: 10.1016/j.fuel.2014.08.043.
- [30] Yulastri, A. Hazmi, and R. Desmiarti, “Aplikasi Plasma Dengan Metoda Dielectric Barrier Discharge (DBD) Untuk Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit,” *J. Nas. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 2, pp. 46–50, 2013, doi: 10.20449/jnte.v2i2.85.
  - [31] M. Moreau, N. Orange, and M. G. J. Feulloley, “Non-thermal plasma technologies: New tools for bio-decontamination,” *Biotechnol. Adv.*, vol. 26, no. 6, pp. 610–617, 2008, doi: 10.1016/j.biotechadv.2008.08.001.
  - [32] V. Nehra, “Atmospheric non-thermal plasma sources,” *Int J Eng*, vol. 2, no. 1, pp. 53–68, 2008.
  - [33] T. Oda, “Non-thermal plasma processing for environmental proection: Decomposition of dilute VOCs in air,” *J. Electrostat.*, vol. 57, no. 3–4, pp. 293–311, 2003, doi: 10.1016/S0304-3886(02)00179-1.
  - [34] S. Müller and R. J. Zahn, “Air pollution control by non-thermal plasma,” *Contrib. to Plasma Phys.*, vol. 47, no. 7, pp. 520–529, 2007, doi: 10.1002/ctpp.200710067.
  - [35] Q. Li, K. Ito, Z. Wu, C. S. Lowry, and S. P. Loheide, “COMSOL multiphysics: A novel approach to ground water modeling,” *Ground Water*, vol. 47, no. 4, pp. 480–487, 2009, doi: 10.1111/j.1745-6584.2009.00584.x.
  - [36] S. Ham and K. J. Bathe, “A finite element method enriched for wave propagation problems,” *Comput. Struct.*, vol. 94–95, pp. 1–12, 2012, doi: 10.1016/j.compstruc.2012.01.001.
  - [37] W. F. Tjong, *PENGANTAR METODE ELEMEN HINGGA UNTUK ANALISIS STRUKTUR*, Pertama. PT RAJAGRAFINDO PERSADA, 2021.
  - [38] R. D. Cook, *KONSEP DAN APLIKASI METODE ELEMEN HINGGA*, Second. PT ERESCO, 1990.
  - [39] B. Ramadhani and Z. Nawawi, “Pembangkitan Ozon dengan Teknologi DBD untuk Mengurangi Kontaminasi Mikroorganisme Pada Lada Hitam Bubuk,” 2021. <https://repository.unsri.ac.id/55432/>.