

SKRIPSI

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



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

Oleh :

GINA RIZKY LESTARI

03041381722095

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2021**

LEMBAR PENGESAHAN

SIMULASI PEMBENTUKAN OZON PADA REAKTOR OZON ELEKTRODA SILINDER MENGGUNAKAN COMSOL MULTIPHYSICS



SKRIPSI

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

Oleh :

GINA RIZKY LESTARI
03041381722095

Mengetahuhi,
Ketua Jurusan Teknik Elektro



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

Palembang, 3 Agustus 2021
Menyetujui,
Pembimbing Utama



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

HALAMAN PERNYATAAN DOSEN

Saya sebagai pembimbing dengan ini menyatakan bahwa saya telah membaca dan menyetujui skripsi ini dan dalam pandangan saya skop 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

: 3 / Agustus / 2021

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Gina Rizky Lestari
NIM : 03041381722095
Jurusan : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya **Hak Bebas Royalti Nonekslusif (Non-exclusive Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

SIMULASI PEMBENTUKAN OZON PADA REAKTOR OZON ELEKTRODA DATAR MENGGUNAKAN COMSOL MULTIPHYSICS

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Nonekslusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tulisa saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Palembang

Pada tanggal : 3 Agustus 2021

Yang Menyatakan,



Gina Rizky Lestari

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Gina Rizky Lestari

Nim : 03041381722095

Fakultas : Teknik

Jurusan/Prodi : Teknik Elektro

Universitas : Sriwijaya

Hasil Pengecekan

Software iThenticate/Turnitin : 14%

Menyatakan bahwa karya ilmiah dengan judul “Simulasi Pembentukan Ozon pada Reaktor Ozon Elektroda Silinder Menggunakan COMSOL Multiphysics” merupakan karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata kemudian 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.

Palembang, 3 Agustus 2021



Gina Rizky Lestari

NIM. 03041381722095

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Alhamdulillahirabbil'alamin

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT serta shalawat teriring salam semoga tercurah kepada Nabi Muhammad SAW. Atas rahmat, berkah, dan karunia Allah SWT, penulis bisa menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul **“SIMULASI PEMBENTUKAN OZON PADA REAKTOR OZON ELEKTRODA SILINDER MENGGUNAKAN COMSOL MULTIPHYSICS”**.

Penulis menyadari bahwa selama penyusunan skripsi ini tidak akan selesai tanpa adanya dukungan, bantuan, nasehat, serta bimbingan dari beberapa pihak. Dalam kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D., IPU selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya sekaligus Pembimbing Utama yang sudah memberi fasilitas dan membimbing selama pembuatan tugas akhir.
2. Ibu Dr. Eng. Suci Dwijayanti, S.T., M.S. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya.
3. Ibu Ir. Hj. Dwirina Yuniarti, M.T. selaku Pembimbing Akademik
4. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya yang sudah memberikan ilmu yang bermanfaat selama perkuliahan.
5. Kedua orang tua saya Drs. H. Lukman Hakim, M.M. dan Dra.Hj. Roslaini, M.M yang selalu memberikan doa, dukungan serta semangat kepada saya sampai saat ini.
Rangga Wira Media yang selalu memberi semangat kepada saya.
7. Sahabat – sahabat saya selama perkuliahan Adinda Dwi Septianty Putri, Nia Anggraini, Mautia Azima Widiasty.

8. Teman – teman dalam satu bimbingan Reza, Rendi, Yuda, Nesa, dan Devi.
9. Teman – teman Teknik Elektro angkatan 2017 Kampus Palembang.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini masih terdapat banyak sekali kekurangan. Oleh karena itu, kritik, dan saran yang membangun dari seluruh pihak sangat diharapkan. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat untuk kita semua.

Palembang, 3 Agustus 2021



Gina Rizky Lestari

NIM. 03041381722095

ABSTRAK

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

(Gina Rizky Lestari, 03041381722095, 64 halaman)

Pada zaman sekarang, ozon dikenal sebagai bahan oksidasi yang kuat sehingga banyak sekali di manfaatkan pada skala industri dan rumah tangga. Ozon dapat dihasilkan dengan memakai metode Dielectric Barrier Discharge. Penelitian ini dilakukan dengan simulasi COMSOL Multiphysics yang sebelumnya sudah dilakukan eksperimen reaktor ozon secara langsung oleh E Yulianto et al. Reaktor ini bebentuk silinder, terdiri dari elektroda luar terbuat dari alumunium foil, dipisahkan oleh dielektrik berbahan kaca pyrex, serta elektroda dalam konfigurasi silinder wire mesh terbuat dari stainless steel. Menggunakan parameter pada aplikasi yaitu heavy species, electrostatic, dan drift diffusion sehingga bisa mendapatkan discharge di O_2 dengan keluaran konsentrasi plasma ozon. Pada penelitian berhasil melakukan simulasi pembentukan ozon. Konsentrasi ozon yang berhasil diperoleh dengan menggunakan tegangan input AC 8 kV yaitu 135,921 ppm. Sementara itu, untuk konsentrasi ozon tertinggi dengan menggunakan tegangan input DC 8 kV yaitu 128,1658 ppm. Maka dari itu hasil konsentrasi ozon dengan simulasi mempunyai konsentrasi lebih tinggi dibandingkan dari hasil eksperimen yang sebelumnya dilakukan oleh E Yulianto et al.

Kata Kunci : Ozon, Dielectric Barrier Discharge, Reaktor, Simulasi.

ABSTRACT

SIMULATION OF OZONE FORMATION IN CYLINDER ELECTRODE OZONE REACTOR USING COMSOL MULTIPHYSICS

(Gina Rizky Lestari, 03041381722095, 64 pages)

Nowadays, ozone is known as a strong oxidizing agent, so it is widely used on industrial and household scales. Ozone can be produced using the Dielectric Barrier Discharge method. This research was carried out by simulating COMSOL Multiphysics which had previously been carried out by direct ozone reactor experiments by E Yulianto et al. This reactor is cylindrical, consisting of an outer electrode made of aluminum foil, separated by a dielectric made of pyrex glass, and electrodes in a wire mesh cylindrical configuration made of stainless steel. Using the parameters in the application that is heavy species, electrostatic, and drift diffusion so that it can get a discharge at O_2 the output plasma concentration ozon. Pada successful research to simulate the formation of ozone. The ozone concentration that was successfully obtained by using an AC input voltage of 8 kV was 135.921 ppm. Meanwhile, for the highest ozone concentration, the input voltage of DC 8 kV is 128.1658 ppm. Therefore, the results of the ozone concentration simulation have a higher concentration than the experimental results previously conducted by E Yulianto et al.

Keywords : Ozone, Dielectric Barrier Discharge, Reactor, Simulation.

DAFTAR ISI

SKRIPSI.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN DOSEN	iii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	iv
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
NOMENKLATUR.....	xiv
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	4
1.5 Hipotesis Penelitian.....	4
1.6 Sitematika Penulisan	5
BAB II.....	7
TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Ozon (O ₃).....	7
2.2 Electrical Discharge Pada Gas	8
2.3 Corona Discharge	9
2.4 Dielectric Barrier Discharge.....	10
2.5 Plasma	11
2.6 Plasma Non-Thermal.....	12
2.7 COMSOL <i>Multiphysics</i>	13

2.8	Finite Element Analysis	13
2.9	Ringkasan Tinjauan Pustaka	15
2.10	Penelitian Sebelumnya	16
BAB III	18
METODELOGI PENELITIAN		18
3.1	Lokasi Penelitian	18
3.2	Waktu Penelitian	18
3.3	Metode Penelitian.....	18
3.4	Peralatan dan Bahan	19
3.4.1	Peralatan.....	19
3.5	Pemodelan Geometri Alat	21
3.6	Teknik Pengambilan Data	22
3.7	Prosedur Percobaan	23
3.8	Teknik Pengolahan Data	25
3.9	Flow Chart Penelitian.....	26
BAB IV	27
HASIL DAN PEMBAHASAN		27
4.1	Data Hasil Penelitian	27
4.2	Pembahasan dan Analisa	29
BAB V	34
PENUTUP		34
5.1	Kesimpulan.....	34
5.2	Saran.....	34
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Data Penelitian yang Pernah Dilakukan	17
Tabel 3.1 Ukuran Bahan Material.....	19
Tabel 3.2 Data Hasil Penelitian	25
Tabel 4.1 Hasil Konsentrasi Ozon dengan Tegangan Input AC.....	28
Tabel 4.2 Hasil Konsentrasi Ozon dengan Tegangan Input DC	28
Tabel 4.3 Perbandingan Hasil Konsentrasi Ozon antara Eksperimen dan Simulasi.....	32

NOMENKLATUR

- c : Konsentrasi (mol)
- d : Jarak Celah
- M : Molaritas (mol/L)
- n : Jumlah rongga di elektroda

<i>Arc Discharge</i>	: Pelepasan busur listrik
<i>Assembly</i>	: Penggabungan bagian sehingga menjadi satu kesatuan.
<i>Barrier</i>	: Pembatas
<i>Boundary</i>	: Bagian berbentuk bidang.
<i>Continuous Piecewise Smooth Function</i>	: Fungsi setiap bagian secara terus menerus.
<i>Corona Discharge</i>	: Lucutan elektrostatik akibat ionisasi fluida.
<i>Dielectric Barrier Discharge</i>	: Lucutan pada pembatas dielektrik.
<i>Discharge Chamber</i>	: Ruang pelepasan gas.
<i>Domain</i>	: Bagian berbentuk volume.
<i>Electrochemical</i>	: Elektrokimia
<i>Filamentary Discharge</i>	: Keadaan tidak normal pada glow discharge.
<i>Finite Element Methode</i>	: Metode elemen tak hingga.
<i>Glow Discharge</i>	: Plasma yang terbentuk dari aliran arus.
<i>Hyperboloid</i>	: Permukaan kuadrat
<i>Local Field Approximation</i>	: Pendekatan medan disekitar geometri.
<i>Non-sustaining Discharge</i>	: Peluahan yang tidak bisa bertahan sendiri.
<i>Plasma Module Settingg</i>	: Pengaturan modul plasma.

<i>Plasma Non-Thermal</i>	: Plasma dengan suhu rendah.
<i>Plasma Properties</i>	: Sifat plasma.
<i>Plasma Thermal</i>	: Plasma dengan suhu tinggi.
<i>Post Processor</i>	: Sistem yang menghubungkan sistem komputer dan mesin numerikal.
<i>Pyrex</i>	: Kaca borosilikat bening dengan ekpansi thermal yang rendah.
<i>Result</i>	: Hasil simulasi.
<i>Self Maintining</i>	: Bisa memperbaiki sendiri.
<i>Self Sustaining Discharge</i>	: Peluahan yang bertahan sendiri.
<i>Software</i>	: Perangkat lunak.
<i>Source Geometry</i>	: Sumber geometri.
<i>Space Charge</i>	: Ruang muatan.
<i>Spark</i>	: Percikan
<i>Streamer Discharge</i>	: Pelepasan listirk sementara.
<i>User Friendly</i>	: Mudah digunakan.
<i>Volatile Organic Compounds</i>	: Senyawa organik yang mudah menguap.
<i>Wire Mesh</i>	: Serangkaian besi yang saling berpotongan satu sama lain.
<i>Work Plane</i>	: Bidang kerja.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ozon merupakan gas yang sangat reaktif, terdiri dari 3 atom oksigen. Ozon tercipta dari interaksi cahaya ultra violet matahari(UV) dengan oksigen molekuler(O₂) pada susunan stratosfer. Ozon di stratosfer meresap sebagian besar radiasi ultra violet yang berasal dari matahari. Ozon menyaring seluruh radiasi UV- c serta sebagian besar radiasi UV- b [1]. Saat ini, ozon (O₃) dikenal sebagai pengosidasi yang kuat. Sehingga ozon banyak dimanfaatkan dalam aplikasi rumah tangga dan industri, seperti desinfeksi, penghilang warna, penghilang bau, serta remediasi air tanah [2].

Ozon ialah komponen yang tidak stabil dibandingkan dengan oksigen (O₂), serta komponen yang gampang terurai dalam hitungan menit pada temperatur area maupun dapat terurai sangat cepat pada temperatur tinggi [3]. Pembuatan ozon pada skala industri memerlukan pembangkit listrik bertegangan tinggi serta infrastruktur fisik khusus.

Pada skala industri ozon dihasilkan dari proses pembangkitan tenaga tinggi dengan generator ozon yang biasanya memakai teknologi *non-thermal plasma (NTP)* [4]. NTP umumnya diproduksi pada temperatur normal dan menggunakan tekanan atmosfer, dalam pengeoperasian NTP lebih efisien dan mudah perawatan diantara teknologi yang lainnya. Terdapat satu ataupun lebih

susunan dielektrik pada kedua elektroda merupakan contoh dari sistem non-thermal plasma (NTP)[5].

Salah satu jenis dari sistem teknologi plasma non-thermal ialah *Dielectric Barrier Discharge (DBD)*. DBD yaitu teknik yang banyak sekali dipakai untuk menghasilkan ozon, seperti di laboratorium ataupun di bidang industri. DBD merupakan salah satu contoh alat yang sungguh baik untuk menghasilkan ozon [6].

Dielectric barrier discharge (DBD) dikenal sebagai teknologi yang paling efektif dalam pembangkitan ozon. DBD menghasilkan ozon dengan cara memanfaatkan cahaya plasma diantara elektroda aktif dan penghalang dielektrik. Udara yang melewati celah tersebut akan terionisasi, rekombinasi serta disosiasi oleh mekanisme tumbukan antara elektron dengan molekul oksigen. Perangkat yang bisa digunakan DBD dalam menghasilkan ozon adalah *discharge chamber* [7].

Proses dari pembentukan ozon di dalam reaktor ozon bisa dimodelkan lalu disimulasikan pada software COMSOL *Multiphysics* dalam bentuk plasma 3D menggunakan parameter kontrol yang bisa mempengaruhi hasil ozon. Simulasi seperti ini masih sedikit yang melakukannya sehingga diharapkan bisa lebih efisien secara waktu dan ekonomi menggunakan kontrol parameter yang disimulasikan.

1.2 Perumusan Masalah

Proses pembangkitan ozon dengan metode Dielectric Barrier Discharge paling banyak digunakan karena sederhana dan mudah digunakan. Penelitian yang membahas tentang desain reaktor Dielectric Barrier Discharge sudah banyak dilakukan.

Pada tahun 2019, E Yulianto et al [8] melakukan penelitian mengenai kinerja generator ozon dari *Dielectric Barrier Discharge Plasma* (DBDP). Penelitian dilakukan menggunakan model konfigurasi *wire mesh* - alumunium foil. Penyuplai daya menggunakan tegangan tinggi AC dengan frekuensi 203 Hz dan variasi tegangan 0,5 - 14 kV. Sumber gas menggunakan udara bebas dengan laju aliran 10 l/menit. Model reaktor mampu menghasilkan ozon sebesar 138 ppm dan tegangan 14,3 kV dengan suhu maksimum reaktor bagian dalam 49°C.

Pada tahun 2020, Dewi et al [9] telah melakukan penelitian simulasi pembentukan ozon pada elektroda datar menggunakan COMSOL *Multiphysics*. Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan hasil simulasi dan eksperimen yang telah dilakukan sebelumnya. Pada penelitian tersebut memperoleh konsentrasi ozon tertinggi pada sumber DC 8 kV yaitu 3723,840 ppm sementara pada sumber AC 8 kV yaitu 3701,476 ppm. Hasil simulasi mempunyai konsentrasi ozon yang lebih stabil serta tinggi dibandingkan dengan hasil eksperimen.

Untuk memperoleh pembentukan konsentrasi ozon yang cocok dengan percobaan, simulasi ini dilakukan menggunakan beberapa parameter fisika. Dalam pemodelan reaktor bisa dilakukan memakai aplikasi COMSOL *Multiphysics* seperti penelitian yang dilakukan Dewi et al [9], dengan menggunakan desain reaktor pembangkitan ozon berdasarkan percobaan yang telah dilakukan E Yulianto et al [8].

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk memperoleh konsentrasi ozon menggunakan *software* COMSOL *Multiphysics* berdasarkan metode *finite element method*.

2. Untuk mendapatkan perbandingan konsentrasi ozon dari hasil simulasi dan eksperimen.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mendesain reaktor pembangkit ozon berbentuk 3D memakai aplikasi *Solidwork*.
2. Mencari faktor-faktor yang bisa mempengaruhi produktivitas dari reaktor dengan melalukan simulasi sehingga memperoleh kondisi operasi yang sesuai dengan keadaan eksperimen.
3. Percobaan simulasi menggunakan aplikasi COMSOL *Multiphysics* dengan kontrol faktor yang bisa menghasilkan konsentrasi ozon yang maksimal dengan *finite element analysis*.
4. Faktor yang tidak ada di rujukan utama [8], diperoleh dari jurnal dan artikel valid membahas tentang penelitian terkait dan sudah dibuktikan secara eksperimen.

1.5 Hipotesis Penelitian

Sebelumnya sudah dilakukan eksperimen kinerja generator ozon menggunakan *Dielectric Barrier Discharge Plasma* (DBDP). E Yulianto et al [8] memakai elektroda dengan konfigurasi silinder wire mesh stainless steel, elektroda alumunium foil di bagian luar, dan penghambat reaktor DBD menggunakan kaca *pyrex*.

Penelitian ini dilakukan secara simulasi menggunakan software COMSOL *Multiphysics* dengan menggunakan ukuran dan bentuk *Dielectric Barrier Discharge Plasma* (DBDP) yang sama dengan eksperimen yang sudah

dilakukan. Penelitian ini diharapkan bisa membandingan antara konsentrasi ozon hasil simulasi dan eksperimen, serta diharapkan memiliki konsentrasi ozon yang lebih baik dan stabil dibandingkan dengan eksperimen.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun Sistematika Penulisan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas mengenai latar belakang penelitian, perumusan masalah masalah, tujuan penelitian, lingkup kerja, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas mengenai dasar teori yang berkaitan dengan ozon, aplikasi *COMSOL Multiphysics*, *Dielectric Barrier Discharge*, dan semua hal yang berkaitan dengan penghasil ozon.

BAB III METODELOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisi tentang tempat, waktu, peralatan yang digunakan, prosedur pengujian, teknik pengambilan data, dan pengolahan data yang digunakan dalam penyusunan skripsi serta menjelaskan secara umum tentang proses penelitian yang akan dilakukan.

BAB IV HASIL PENELITIAN

Pada bab ini dijelaskan secara umum tentang data yang diperoleh dari hasil simulasi yang dilakukan dan pengolahan data dari data-data yang diperoleh serta menampilkan grafik dan gambar dari hasil simulasi yang dilakukan.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini berisi kesimpulan dari hasil simulasi yang dilakukan dan saran untuk kelanjutan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA**LAMPIRAN**

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Heim and K. Glas, “Ozone I: Characteristics / Generation / Possible Applications,” no. April, 2015.
- [2] S. Jodpimai, S. Boonduang, and P. Limsuwan, “Dielectric barrier discharge ozone generator using aluminum granules electrodes,” *J. Electrostat.*, vol. 74, pp. 108–114, 2015, doi: 10.1016/j.elstat.2014.12.003.
- [3] I. Zahar, E. Yuliyanto, F. Arianto, and M. Puspita, “Optimation of ozone capacity produced by DBD plasma reactor : dedicated for cold storage Optimization of ozone capacity produced by DBD plasma reactor : dedicated for cold storage,” 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1217/1/012006.
- [4] 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*, pp. 435–440, 201AD.
- [5] M. Hosseinpour and A. Zendehnam, “Study of an argon dielectric barrier discharge reactor with atmospheric pressure for material treatment,” *J. Theor. Appl. Phys.*, vol. 12, no. 4, pp. 271–291, 2018.
- [6] S. Teke and M. Nur, “Produksi Ozon dalam Reaktor Dielectric Barrier Discharge Plasma (DBDP) Terkait Panjang Reaktor dan Laju Alir Udara” vol. 17, no. 1, pp. 25–32, 2014.
- [7] 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.
- [8] E. Yulianto, I. Zahar, A. Z. Zain, E. Sasmita, M. Restiwijaya, and A. W. Kinandana, “Comparison of ozone production by DBDP reactors : difference external electrodes Comparison of ozone production by DBDP reactors : difference external electrodes,” 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1153/1/012088.
- [9] D. S. DEWI and A. B. Sidik, “Simulasi Pembentukan Ozon Pada Ozone

- Chamber Elektroda Datar Menggunakan Comsol Multiphysics,” 2020, [Online]. Available: <https://repository.unsri.ac.id/31462/>.
- [10] B. Yusuf, A. Warsito, A. Syakur, I. N. Widiasa, and J. P. Soedharto, “Aplikasi pembangkit tegangan tinggi impuls UNTUK PEMBUATAN REAKTOR OZON,” *Repos. Univ. Diponegoro*, pp. 1–6, 2008, [Online]. Available: [http://eprints.undip.ac.id/2558/1/SINTESIS_OZON_\(O3\).pdf](http://eprints.undip.ac.id/2558/1/SINTESIS_OZON_(O3).pdf).
 - [11] A. Syafarudin, “Produksi Ozon dengan Bahan Baku Oksigen Menggunakan Alat Ozon Generator,” *J. Tek. Kim.*, vol. 19, no. 2, pp. 1–9, 2013.
 - [12] B. Yusuf, A. Warsito, A. Syakur, I. N. Widiasa, and J. P. Soedharto, “Aplikasi pembangkit tegangan tinggi impuls,” *Tugas Akhir Apl. Pembangkit Tegangan Tinggi Impuls untuk Pembuatan Reakt. Ozon*, pp. 1–6, 2008.
 - [13] A. Warsito, A. Syakur, Syafrudin, and G. Susilowati, “Reaktor Ozon Menggunakan Elektroda Spiral-Silinder dengan Dielectric Barrier Discharge untuk Mengolah Limbah Cair Industri,” in *National Conference on Industrial Electrical And Electronis (NICEE)*.
 - [14] S. D. Prasad, “Dielectric Barrier Discharge (DBD) Plasmas and Their Applications,” 2017. [Online]. Available: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-4217-1_13.
 - [15] E. Kuffel, W. . Zaengl, and J. Kuffel, *High Voltage Engineering : Fundamentals second edition*, Second edi. Winnipeg: butterworth-Heinemann, 2000.
 - [16] K. Holtzhausen and W. Vosloo, *High Voltage Engineering Practice and Theory*.
 - [17] F. K. Lu, “IONIZATION OF AIR BY CORONA DISCHARGE.”
 - [18] I. M. Y. Negara, “Studi Pengaruh Korona Terhadap Surja Tegangan Lebih Pada Saluran Transmisi 275 Kv,” *Singuda ENSIKOM*, vol. 14, no. 39, pp. 53–58, 2016.
 - [19] A. Warsito *et al.*, “Aplikasi Rektor Plasma Lucutan Korona,” 2009.
 - [20] M. Nur, *Plasma Physics and Applications*. 2011.
 - [21] Hendrayoh, “Apa itu Plasma,” 2013.
 - [22] L. A. Rosocha, “Non-thermal plasma (NTP) applications to the

- environment: Gaseous electronics and power conditioning,” *Dig. Tech. Pap. Int. Pulsed Power Conf.*, no. January, pp. 215–220, 2003.
- [23] K. Ishikawa, “Physical and Chemical Basis of Nonthermal Plasma,” *Plasma Med. Sci.*, no. July, pp. 5–107, 2018.
- [24] N. Kevin, “Rancang Bangun Reaktor Plasma Non-Termal dan Uji Kinerjanya Untuk Sintesis Hidrokarbon dari LPG Menggunakan Sumber Tegangan Bolak-Balik (AC),” 2010.
- [25] COMSOL, “COMSOL Multiphysics® v. 5.5,” p. 1742, 2018.
- [26] COMSOL Multiphysics, “Guide Book” 2019.
- [27] T. P. Penampang and B. Non-circular, “Torsi Pada Penampang,” 2018.
- [28] H. Isworo and P. R. Ansyah, “Buku Ajar Metode Elemen Hingga,” p. 68, 2018.
- [29] B. A. B. Pengenalan and M. Elemen, “Bab 1. pengenalan metode elemen hingga,” pp. 2–10, 2019.
- [30] M. Nur, M. Restiwijaya, Z. Muchlisin, I. A. Susan, F. Arianto, and S. A. Widjianto, “Power consumption analysis DBD plasma ozone generator,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 776, no. 1, 2016, doi: 10.1088/1742-6596/776/1/012101.
- [31] 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*, pp. 435–440, 201AD.
- [32] I. Zahar, E. Yulyianto, F. Arianto, and M. Puspita, “Optimation of ozone capacity produced by DBD plasma reactor: dedicated for cold storage Optimation of ozone capacity produced by DBD plasma reactor : dedicated for cold storage,” 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1217/1/012006
- [33] A. Z. Zain *et al.*, “Development of ozone reactor for medicine base on Dielectric Barrier Discharge (DBD) plasma,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1153, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1153/1/012089.