

SKRIPSI

SIMULASI PEMBENTUKAN OZON PADA OZONE CHAMBER

ELEKTRODA DATAR

MENGGUNAKAN COMSOL MULTIPHYSICS



Disusun untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik pada

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik

Universitas Sriwijaya

Oleh :

DINDA SINTIA DEWI

03041281621051

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2020

LEMBAR PENGESAHAN

**SIMULASI PEMBENTUKAN OZON PADA OZONE CHAMBER
ELEKTRODA DATAR MENGGUNAKAN COMSOL MULTIPHYSICS**



SKRIPSI

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

Oleh :

DINDA SINTIA DEWI

03041281621051

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro**



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

**Indralaya, Juni 2020
Menyetujui,
Pembimbing Utama**



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

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Dinda Sintia Dewi
NIM : 03041281621051
Fakultas : Teknik
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro
Universitas : Sriwijaya

Menyatakan bahwa karya ilmiah dengan judul "Simulasi Pembentukan Ozon pada *Ozone Chamber* Elektroda Datar 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.

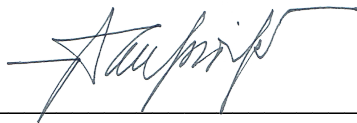
Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan.

Indralaya, Juni 2020



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 : _____/_____/_____

KATA PENGANTAR

Bissmillahirrahmanirrahim

Alhamdulillahirabbil'alamin

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang telah memberikan nikmat yang tiada tara serta penulis bersholawat kepada Nabi Muhammad Sholallahu 'Alaihi Wasallam atas panduan dan suri tauladan yang telah memberikan acuan kepada penulis dan ummat muslim diseluruh dunia untuk bagaimana hidup sesuai syariat islam. Selain itu penulis juga bersyukur karena berkat rahmat, karunia, dan ridho Allah Subhanahu Wa Ta'ala, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul **“SIMULASI PEMBENTUKAN OZON PADA OZONE CHAMBER ELEKTRODA DATAR MENGGUNAKAN COMSOL MULTIPHYSICS”** .

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.
2. Ibu Herlina , S.T., M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya
3. Rizda Fitri Kurnia S.T., M.Eng.. selaku Pembimbing Akademik.
4. Segenap Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu selama perkuliahan.

5. M. Irfan Jambak, S.T., M.Eng., Ph.D. dan Pak Rudy yang telah meminjamkan komputer server.
6. Ayah saya Syafruddin Alikumi dan Ibu saya Komariah yang selalu mendidik dan membesarkan saya serta memfasilitasi sehingga saya bisa kuliah di Jurusan Teknik Elektro.
7. Kakak saya Dian Kemala Astuti dan Adik saya Irfan Saputra selaku keluarga yang selalu mendoakan, memberikan masukan dan bantuan selama ini.
8. Kak Febri dan staff jurusan Palembang.
9. Kak Budi dan Mbak Arum selaku penulis rujukan dan senior.
10. Sahabat-sahabat yang tergabung dalam satu bimbingan yaitu Rendiyansah, Rio Y, Seiga A, Egey S, Kak Ilham, Salu W, Rofiqoh A, Lara F.
11. Sahabat-sahabat yang tergabung dalam Ahli Jannah, Siti, Shofa, Salu, Iki, Hari.
12. Teman-teman Mahasiwa Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

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

Palembang, Juni 2020

Penulis

ABSTRAK

Berbagai studi dan penelitian telah banyak dilakukan mengenai pembangkitan plasma ozon menggunakan metode *Dielectric Barrier Discharge* dengan kondisi *non-thermal plasma*. Pada penelitian ini dilakukan pengujian plasma ozon dari *Ozone Chamber* yang dikembangkan Budiman et al, tersusun dari elektroda aluminium plat sejajar berpola konfigurasi *perforated* yang dipisahkan dengan bahan dielektrik tunggal jenis kaca menggunakan aplikasi COMSOL *Multiphysics*. Dengan menggunakan *Plasma Module* pada aplikasi yang mencakup parameter *electrostatic*, *drift diffusion* dan *heavy species transport* untuk menghasilkan *discharge* pada pure O₂ dengan output konsentrasi plasma ozon. Pada penelitian ini simulasi pembentukan ozon menggunakan Comsol *Multiphysics* berhasil dilakukan. Adapun konsentrasi ozon yang tertinggi dihasilkan dengan sumber tegangan AC 8 kV, yaitu sebesar 3710,476 ppm. Sedangkan hasil konsentrasi ozon *chamber* tertinggi dengan sumber DC 8 kV, yaitu sebesar 3723,840 ppm. Dimana hasil simulasi memiliki konsentrasi ozon yang lebih tinggi dan stabil dibandingkan dengan hasil eksperimen yang telah dilakukan oleh Budiman et al.

ABSTRACT

Various studies and studies have been carried out regarding the generation of ozone plasma using the Dielectric Barrier Discharge method with non-thermal plasma conditions. In this study, ozone plasma testing from the Ozone Chamber developed by Budiman et al was composed of perforated configuration aluminum plate parallel electrodes separated by a single glass dielectric material using COMSOL Multiphysics application. By using the Plasma Module in applications that include electrostatic parameters, drift diffusion and heavy species transport to produce discharge on pure O₂ with plasma ozone concentration output. In this study a simulation of ozone formation using Comsol Multiphysics was successfully carried out. The highest concentration of ozone is produced with an 8 kV AC voltage source, which is 3710,476 ppm. While the results of the highest ozone chamber concentration with a DC source of 8 kV, amounting to 3723.840 ppm. Where the simulation results have a higher and more stable ozone concentration compared to the results of experiments conducted by Budiman et al.

DAFTAR ISI

SKRIPSI.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRIRITAS.....	iii
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR RUMUS	xiii
DAFTAR REAKSI	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
NOMENKLATUR.....	xvi
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 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II.....	6
TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Ozon	6
2.2 COMSOL <i>Multiphysic</i>	7
2.3 <i>Finite Element Analysis</i>	8
2.4 Plasma	10
2.5 NTP	11
2.7 <i>Electrical Discharges</i> pada Gas	12

2.6.1	Proses Ionisasi dan Kegagalan Elektrik di Udara dan Gas	13
2.6.2	Ionisasi akibat Benturan Elektron (<i>Collision</i>).....	13
2.6.3	Mekanisme Kegagalan Dalam Gas	14
2.6.4	Mekanisme Kegagalan <i>Townsend</i>	14
2.6.5	Mekanisme Kegagalan <i>Steamer</i>	15
2.7	<i>Corona Discharge</i>	16
2.8	<i>Dielectric Barrier Dishcharge</i>	17
2.9	Ringkasan Tinjauan Pustaka	19
2.10	Penelitian-Penelitian Sebelumnya	19
BAB III		22
METODE PENELITIAN.....		22
3.1	Lokasi Penelitian	22
3.2	Waktu Penelitian	22
3.3	Metode Penelitian.....	22
3.4	Peralatan dan Bahan	23
3.4.1	Peralatan.....	23
3.5	Pemodelan Geometri Alat	25
3.6	Teknik Pengambilan Data	26
3.7	Prosedur Percobaan	26
3.8	Teknik Pengolahan Data dan Analisa	29
3.9	<i>Flow Chart</i> Penelitian	30
BAB IV		31
HASIL DAN PEMBAHASAN.....		31
4.1	Data Hasil Penelitian	31
4.2	Pembahasan dan Analisa	33
BAB V.....		38
PENUTUP		38
5.1	Kesimpulan.....	38
5.2	Saran	38
LAMPIRAN.....		40
DAFTAR PUSTAKA		74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diskritisasi Elemen Hingga.....	8
Gambar 2.2 Contoh <i>Mesh</i> Geometri	10
Gambar 2.3 Modifikasi Penyusunan <i>DBD</i>	17
Gambar 2.4 Rangkaian Ekuivalen <i>DBD</i> Sederhana	18
Gambar 3.1 Perangkat Lunak Desain <i>Solidwork</i>	25
Gambar 3.2 Perangkat Lunak Desain <i>COMSOL Multiphysics</i>	25
Gambar 3.3 Perangkat Lunak Desain <i>ORIGIN</i>	25
Gambar 3.4 <i>Flowchart</i> Penelitian	30
Gambar 4.1 Grafik Hasil Konsentrasi Ozon <i>Chamber</i> pada Simulasi.....	33
Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Hasil Konsentrasi Ozon pada Simulasi dengan Eksperimen.....	36

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Data Penelitian yang pernah dilakukan berkaitan dengan topik riset yang dilakukan	20
Tabel 3.2 Ukuran Detail Bahan Material yang dibuat	23
Tabel 3.1 Tabel Data Hasil Penelitian.....	29
Tabel 4.1 Tabel Hasil Konsentrasi Ozon pada <i>Chamber</i> ber-Tegangan AC	32
Tabel 4.2 Tabel Hasil Konsentrasi Ozon pada <i>Chamber</i> ber-Tegangan DC	35
Tabel 4.3 Tabel Hasil Perbandingan Simulasi dan Eksperimen Konsentrasi Ozon pada <i>Chamber</i> ber-Tegangan AC	36

DAFTAR RUMUS

Rumus 2.1	9
Rumus 2.2	9
Rumus 2.3	9
Rumus 2.4	15
Rumus 2.5	16

DAFTAR REAKSI

Reaksi 2.1	6
Reaksi 2.2	6

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	41
Lampiran 2	43
Lampiran.3	49
Lampiran 4	55
Lampiran 5	59
Lampiran 6	69
Lampiran 7	70
Lampiran 8	72
Lampiran 9	73

NOMENKLATUR

- n : Jumlah rongga yang terdapat pada elektroda
- c : Konsentrasi (mol)
- M : Molaritas (mol/L)
- d : Jarak celah
- *Electrical discharge* : Peluahan elektrik
 - *Ozone generation* : Pembangkitan ozon
 - *Dielectric Barrier Discharge (DBD)* : Metode pembangkitan ozon dengan menggunakan bahan dielektrik sebagai pembatas yang diletakkan diantara elektroda baik tunggal maupun ganda.
 - *Corona discharge* : Peluahan sebagian ditandai dengan munculnya cahaya ultraviolet
 - *Glow discharge* : Peluahan cahaya, terdiri dari normal *glow* dan abnormal *glow*
 - *Arc discharge* : Fase peluahan setelah *glow discharge*
 - *Partial discharge* : Peluahan sebagian
 - *Filamentary discharge* : Abnormal *glow discharge*
 - *Breakdown* : Tembus
 - *Dielectric barrier* : Pembatas dielektrik

- *Breakdown voltage* : Tegangan tembus
- *Self sustaining discharge* : Peluahan bertahan sendiri
- *Non-sustaining discharge* : Peluahan tak bertahan sendiri
- *Electrical breakdown* : Tembus elektrik
- *Silent discharge* : Nama lain dari *DBD*
- *Plasma thermal* : Plasma bersuhu tinggi
- *Plasma non-thermal* : Plasma bersuhu rendah
- *Finite element analysis* : Analisa elemen tak hingga melalui analisa numerik terhadap rekayasa geometri
- *Cross section data* : Kumpulan data yang telah diobservasi melalui sebuah studi
- *Domain* : Area dalam bentuk volume
- *Boundary* : Area dalam bentuk bidang
- *Refinement mesh* : Penyederhanaan struktur yang bertautan untuk memecahkan analisa elemen tak hingga
- *Assembly* : Penggabungan bagian dari unit-unit menjadi satu pada *Solidwork*
- *Mole fraction* : Pecahan mol
- *Reduced electron transport* : Pergerakan reduksi elektron dalam proses pembentukan plasma melalui metode *DBD*
- *Plasma properties* : Sifat Plasma
- *Mean electron energy* : Energi elektron rata-rata
- *Local field approximation* : Pendekatan medan lokal pada daerah sekitar model geometri

- *Electrostatic* : Gaya pada muatan listrik stationer yang berlawanan dengan arus listrik
- *Charge Conservator* : Pendefinisi total muatan listrik dalam sistem terisolasi tidak pernah berubah
- *Function analytic* : Fungsi analitik pembentuk persamaan
- *Heavy species transport* : Pembentuk pergerakan species dan reaksi pada penghasilan plasma
- *Electron impact reaction* : Reaksi utama yang berkaitan dengan elektron sebagai proses *discharge*
- *Surface reaction* : Reaksi yang berkaitan dengan permukaan yang menyebabkan perubahan species menjadi species netral
- *Mass constraint* : Pengontrolan massa sehingga tidak lebih dari batas yang ditetapkan
- *Drift diffusion* : Pemodelan pembentuk pergerakan elektron pada penghasilan plasma

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ozon merupakan molekul unsur oksigen triatomik yang secara alami terbentuk melalui pemisahan molekul oksigen oleh fenomena sinar matahari radiasi elektromagnetik ultraviolet (UV) atau *electrical discharge* tegangan tinggi (sambaran petir) [1][2] di stratosfer bumi. Ozon di lapisan tersebut berguna untuk melindungi bumi dari radiasi matahari seperti sinar ultraviolet. Selain itu, ozon berperan penting dalam industri sebagai penghancuran *volatile organic compounds*, penghilangan logam, total padatan tersuspensi, karbon organik. Sedangkan di bidang kesehatan ozon digunakan untuk sterilisasi, agen desinfeksi, agen sporisida, algaesida dan virusida [3].

Tetapi ozon memiliki ikatan yang tidak stabil dan memiliki potensi oksidasi yang kuat yang berarti dapat bereaksi dengan mudah dengan molekul lain atau terurai dengan sendirinya [3], menjadikannya bersifat *unstable* dan tidak dapat dipasok secara komersial, sehingga banyak dilakukan penelitian untuk menghasilkan ozon sintesis dalam skala industri dan laboratorium.

Ozon dalam skala industri dihasilkan melalui pembangkitan tenaga tinggi dengan *ozone generator* pada umumnya menggunakan teknologi *non-thermal plasma* [4]-[8]. Dimana NTP dihasilkan pada suhu normal dan tekanan atmosfer, pengoperasiannya mudah dan efisiensi perawatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan teknologi lainnya. Di antara teknologi *non-thermal plasma*, reaktor

dielectric barrier discharge adalah contoh sistem NTP yang ditandai dengan adanya satu atau lebih lapisan dielektrik di antara elektroda [9].

Dielectric barrier discharge (DBD) plasma adalah salah satu teknologi yang banyak di pelajari dalam optimasi produksi ozon [4]-[9]. *Dielectric Barrier Discharge* plasma menghasilkan ozon dengan memanfaatkan cahaya plasma yang terjadi antara elektroda aktif dan penghalang dielektrik melalui perangkat *discharge chamber* [10].

Proses pembentukan ozon yang dihasilkan oleh *chamber* dapat dipelajari dalam studi tentang *discharge* plasma, melalui parameter fisika yang mempengaruhinya [11]. Pembentukan ozon dalam *chamber* tersebut dapat dimodelkan melalui simulasi aplikasi COMSOL *Multiphysics* model plasma 2D dan 3D dengan berbagai parameter kontrol yang mempengaruhi produksi ozon. Simulasi dengan output ozon ini jarang dilakukan dan diharapkan dapat meningkatkan efisiensi secara ekonomi dengan mengontrol parameter tersebut dalam suatu simulasi.

1.2 Perumusan Masalah

Dielectric Barrier Discharge (DBD) adalah metode pembentukan plasma yang dihasilkan dalam susunan bahan isolasi (dielektrik) antara elektroda sebagai pemicu munculnya *discharge* [12]. Telah banyak yang melakukan penelitian mengenai model desain media DBD baik berupa reaktor maupun *chamber*.

Pada tahun 2018, Sidik et al [4] melakukan penelitian berkaitan penghasilan konsentrasi ozon menggunakan *chamber* dengan variasi pola konfigurasi dan ukuran diameter rongga pada susunan *single perforated electrode* yang terbuat dari aluminium dan dibatasi dielektrik jenis kaca sebagai *barrier discharge*. Elektroda yang digunakan terdapat enam konfigurasi A1, A2, B1, B2, C1, C2. Dengan kontrol laju alir oksigen murni (99,9%) yang digunakan yakni 1L/m. Didapatkan bahwa pada tegangan 18 kV peak to peak, pola elektroda A

dengan luas elektroda 99,58% dan ukuran rongga 1 mm menghasilkan konsentrasi ozon tertinggi sebesar 2175,8 ppm. Sedangkan pada tegangan 17 kV peak to peak, pola elektroda A dengan luas elektroda 98,33 % dan ukuran rongga 2 mm menghasilkan konsentrasi ozon sebesar 567,5 ppm.

Pada tahun 2019, Budiman et al [5] melakukan penelitian mengenai pengembangan desain pembangkitan ozon yang optimum dari penelitian Sidik et al dan karakterisasi hasil konsentrasi ozon. Dimana dalam penelitian tersebut, digunakan *chamber* dengan konfigurasi b2 dan a2 sebagai elektroda 1 dan 2 dari penelitian sebelumnya. Perbedaan terdapat pada interval pengamatan, yaitu dilakukan selama 5 menit. Selanjutnya pada *chamber* dengan elektroda 1 - single perforated menunjukkan bahwa hasil konsentrasi ozon tetap stabil setelah waktu pengujian diperpanjang menjadi 300 detik. Didapatkan pada elektroda 2 konsentrasi ozon terendah sebesar 47,3 ppm dan pada elektroda 1 konsentrasi ozon tertinggi sebesar 2979,9 ppm.

Untuk mendapatkan pembentukan konsentrasi ozon yang sesuai dengan eksperimen, simulasi berdasarkan berbagai parameter fisika untuk pemodelan *chamber* dapat dilakukan menggunakan aplikasi COMSOL *Multiphysics*, dengan desain *chamber* pembangkitan ozon yang telah dikembangkan Budiman et al [5].

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mendapatkan hasil konsentrasi ozon menggunakan aplikasi COMSOL *Multiphysics* yang berbasiskan metode *finite element methode*.
2. Untuk membandingkan konsentrasi ozon hasil simulasi dan eksperimen.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mendesain *chamber* pembangkit ozon menggunakan Aplikasi Solidwork
2. Menentukan faktor-faktor yang mempengaruhi produktivitas *chamber* melalui simulasi sehingga mendapatkan kondisi operasi yang sesuai dengan keadaan eksperimen.
3. Pengujian simulasi pada aplikasi COMSOL *Multiphysics* melalui kontrol faktor yang dapat menghasilkan konsentrasi ozon yang optimum melalui *finite element analysis*.
4. Faktor yang tidak terdapat dari rujukan utama, Budiman et al [5], didapatkan melalui artikel dan jurnal valid yang membahas penelitian terkait serta telah terbukti secara eksperimental secara global.
5. Proses *discharge* O₂ menggunakan *cross section data* tumbukan elektron dari Phelp database [12]

1.5 Sistematika Penulisan

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

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas mengenai dasar teori yang berkaitan dengan ozon, *Dielectric Barrier Discharge (DBD)*, hal yang berkaitan dengan penghasil ozon baik simulasi dan eksperimental.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

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

BAB IV HASIL PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi hasil pendahuluan penelitian atau gambaran hasil penelitian berdasarkan teori dan *literature review*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Health and Safety Executive, “Ozone : Health hazards and control measures,” *Guid. Note EH38*, pp. 1–10, 2014.
- [2] B. Yusuf, A. Warsito, A. Syakur, I. N. Widiassa, and J. P. Soedharto, “Aplikasi pembangkit tegangan tinggi impuls,” *Tugas Akhir Apl. Pembangkit Tegangan Tinggi Impuls untuk Pembuatan Reakt. Ozon*, pp. 1–6, 2008.
- [3] O. Tech and S. Ots, “Industrial ozone – ground-level ozone – stratospheric ozone,” *Ozone Tech Syst. OTS AB, Elektravägen 53, SE-126 30 Hägersten, SWEDEN*, vol. 46, no. 0, pp. 7–10, 2018.
- [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, 2018AD.
- [5] Budiman *et al*, “Desain of Ozone Chamber and Characterize of Ozone Concentration,” *Troceedings 2019 Int. Conf. Electr. Eng. Comput. Sci. ICECOS 2019*, 2019.
- [6] M. A. B. Sidik, Z. Nawawi, M. I. Jambak, R. F. Kurnia, S. Fitria, and Z. Buntat, “Removal of Nox from Diesel Engines Vehicle : Simulation and Experiment.” 2019.
- [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] G. Iervolino, O. Sacco, V. Vaiano, and V. Palma, “Non-thermal plasma

technology for the effective regeneration of macroscopic adsorbent materials used in the removal of patent blue V dye from aqueous solutions,” *Chem. Eng. Trans.*, vol. 73, no. March 2018, pp. 151–156, 2019.

- [9] 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.
- [10] Z. Buntat, “OZONE GENERATION USING ELECTRICAL DISCHARGES: A comparative study between Pulsed Streamer Discharge and Atmospheric Pressure Glow Discharge.”
- [11] K. Holtzhausen and W. Vosloo, *High Voltage Engineering Practice and Theory*.
- [12] R. Y. Pai, E. W. Mcdaniel, and L. A. Viehland, “Transport Properties of Gaseous Ions Over a Wide Energy Range,” *At. Data Nucl. Data Tables*, Vol. 17, No.3, March 1976, no. 3, 1976.
- [13] E. Kuffel, W. . Zaengl, and J. Kuffel, *High Voltage Engineering : Fundamentals second edition*, Second edi. Winnipeg: butterworth-Heinemann, 2000.
- [14] COMSOL Multhipysics, “The Finite Element Method (FEM),” 2019.
- [15] COMSOL Multhipysics, “Guide Book” 2019.
- [16] K.-J. Bathe, “Introduction to Finite Element Analysis (FEA) or Finite Element Method (FEM) Finite Element Analysis (FEA) or Finite Element Method (FEM),” p. 1065, 2016.
- [17] Anonim, “Computational fluid dynamics,” 2015. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Computational_fluid_dynamics.
- [18] Anonim, “Electric Field Equation,” 2017. [Online]. Available: <https://www.eeguide.com/electric-field-equation/>.

- [19] Hendrayoh, “Apa itu Plasma,” 2013.
- [20] 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.
- [21] K. Ishikawa, “Physical and Chemical Basis of Nonthermal Plasma,” *Plasma Med. Sci.*, no. July, pp. 5–107, 2018.
- [22] J. Shih, “Corona Discharge Proseses,” *IEEE Trans. plasma Sci.*, vol. 19, no.6, 1991.
- [23] S. Aryadi, “Riview Mekanisme Townsend dan Streamer,” 2013.
- [24] F. K. Lu, “IONIZATION OF AIR BY CORONA DISCHARGE.”
- [25] Townsend, *Electricity in Gases*. Oxford, 1914.
- [26] 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.
- [27] Y. Guo, “Basic Planar Top and Cylindrical Bottom Dielectri Barrier Discharge Configurations,” 2017. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Basic-planar-top-and-cylindrical-bottom-dielectric-barrier-discharge-configurations_fig8_319214069.
- [28] A. Yang, X. Wang, M. Rong, D. Liu, F. Iza, and M. G. Kong, “Critical evaluation 1-D fluid model of atmospheric-pressure rf He 1 O 2 cold plasmas : Parametric study and critical evaluation,” vol. 113503, no. 2011, 2013.
- [29] E. Potrymai and I. Perstnov, “Time Dependent Modelling and Simulation of the Corona Discharge in Electrostatic Precipitators,” p. 41, 2014.
- [30] F. S. H. Soltani, “Time-dependent one-dimensional simulation of atmospheric dielectric barrier discharge in N 2 / O 2 / H 2 O using COMSOL Multiphysics,” *J. Theor. Appl. Phys.*, vol. 4, 2018

- [31] K. Teranishi, N. Shimomura, S. Suzuki², and H. Itoh², “Development of dielectric barrier discharge-type ozone generator constructed with piezoelectric transformers: effect of dielectric electrode materials on ozone generation,” *Plasma Sources Sci. Technol.*, vol. 18, no. 4, 2009.
- [32] H. Itoh, I. M. Rusinov, S. Suzuki, and T. Suzuki, “Variation of ozone reflection coefficient at a metal surface with its gradual oxidation,” *Plasma Process. Polym.*, vol. 2, no. 3, pp. 227–231, 2005.