



TESIS - SF142502

**PENGARUH VARIASI ELEKTRODA DAN
DIELEKTRIKUM TERHADAP KADAR OZON YANG
DIHASILKAN DAN APLIKASINYA UNTUK
MEREDUKSI KADAR POLUSI UDARA**

YUGO TRIAWANTO
1113201005

DOSEN PEMBIMBING
ENDARKO, M.Si, Ph.D

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN FISIKA INSTRUMENTASI
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016



THESIS - SF142502

**INFLUENCE OF VARIATIONS OF ELECTRODE
AND DIELECTRIC TOWARDS OZONE
PRODUCTION AND ITS APPLICATION FOR
REDUCTION AIR POLLUTION**

YUGO TRIAWANTO
1113201005

SUPERVISOR
ENDARKO, M.Si, Ph.D

MAGISTER PROGRAMME
PHYSICS INSTRUMENTATION
DEPARTMENT OF PHYSICS
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCES
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2016

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Sains (M.Si)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Yugo Triawanto
NRP. 1113201005

Tanggal Ujian : Januari 2016
Periode Wisuda : Maret 2016

Disetujui oleh:


1. Endarko, M.Si, Ph. D. (Pembimbing)
NIP. 19741117 199903 1 001


2. Prof. Mahmud Zaki, M.Sc (Penguji)


3. Dr. Melania Suweni Muntini, MT (Penguji)
NIP. 19641229 199002 2 001

Direktur Program Pascasarjana



Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc. Ph.D
NIP. 19601202 198701 1 001

PENGARUH VARIASI ELEKTRODA DAN DIELEKTRIKUM TERHADAP KADAR OZON YANG DIHASILKAN DAN APLIKASINYA UNTUK MEREDUKSI KADAR POLUSI UDARA

Nama Mahasiswa : Yugo Triawanto

NRP : 1113201005

Pembimbing : Endarko, M.Si, Ph.D

ABSTRAK

Generator ozon telah berhasil dibuat dan dianalisa dengan variasi elektroda *strip*-bidang dan elektroda koaksial. Elektroda *strip*-bidang terdiri dari tiga macam, yakni dengan 2 *strip*, 3 *strip*, dan 4 *strip*. Sedangkan elektroda koaksial juga terdiri tiga macam, yakni koaksial dengan diameter 1, 2, dan 3 cm. Pada saat pengujian dengan durasi 15 menit dan daya *input* 17,45 W elektroda 4*strip*-bidang menghasilkan ozon 2,87 mg, sedangkan elektroda Koaksial diameter 3 cm dengan waktu yang sama menghasilkan ozon 2,17 mg. Dielektrikum keramik dan kaca digunakan pada elektroda koaksial dan hasil optimal didapatkan saat menggunakan dielektrikum keramik dengan hasil ozon 1,26 mg dengan diameter dalam 1,13 cm dan diameter luar 1,6 cm. Pada penelitian ini dilakukan penambahan topologi elektroda, yakni elektroda *pin-plane*, dari hasil pengujian selama 15 menit dengan daya masukan sebesar 27,56 W dan frekuensi kerja dari generator ozon 11,9 kHz diperoleh ozon sebesar 11,52 mg. Generator ozon kemudian diaplikasikan untuk mereduksi polutan khususnya CO₂, CO, dan HC dengan presentase reduksi polutan masing – masing mencapai 58.33, 25.86 and 18.59%,.

Kata kunci : generator ozon, elektroda, dielektrikum, kadar ozon, polutan.

INFLUENCE OF VARIATIONS OF ELECTRODE AND DIELECTRIC TOWARDS OZONE PRODUCTION AND ITS APPLICATION FOR REDUCTION AIR POLLUTION

Name : Yugo Triawanto

Student Identity Number : 1113201005

Supervisor : Endarko, M.Si, Ph.D

ABSTRACT

Ozone generators have successfully been designed and analyzed with a varies of electrodes of strip plane and coaxial. Strip plane electrode consists of three kinds, namely with two strips, three strips, and four strips whilst the coaxial electrode also composed with three different diameters are 1, 2 and 3 cm. Ozone production test showed that the ozone generator with topology of 4 strip-plane could be produced the ozone of 2.87 mg for 15 min with the input power of 17.45 W. Meanwhile, ozone generator with the topology of the coaxial electrode ($\varnothing = 3$ cm) able to produce ozone of 2.17 mg with the same input power and time duration. Ceramics and glass are inserted between two electrodes in the coaxial electrodes for achieving dielectric barrier discharge configuration and the optimal result was achieved at 1.26 mg with the ceramic as dielectric with an inner diameter of 1.13 cm and an outer diameter of 1.6 cm. In addition, the pin-plane electrode has been used for generating ozone in this study. The result showed that the pin-plane electrode can be produced the ozone of 11.52 mg for 15 min with a power input of 27.56 W and working frequency of 11.9 kHz. Generator ozone is then applied to reduce pollutants, especially CO₂, CO, and HC with percentage reduction of pollutants achieved at 58.33, 25.86 and 18.59%, respectively.

Kata kunci : ozone generators , electrodes , dielectric , the levels of ozone , pollutant

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas berkat limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tesis sebagai syarat wajib untuk memperoleh gelar Magister Sains (M.Si) pada jurusan Fisika FMIPA ITS Surabaya dengan judul:

“PENGARUH VARIASI ELEKTRODA DAN DIELEKTRIKUM TERHADAP KADAR OZON YANG DIHASILKAN DAN APLIKASINYA UNTUK MEREDUKSI KADAR POLUSI UDARA”

Penulis menyadari bahwa terselesaikannya penyusunan Tesis ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Endarko, M.Si, Ph.D selaku dosen pembimbing tesis yang senantiasa memberikan bimbingan, wawasan, dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini.
2. Prof. Mahmud Zaki, M.Sc. dan Dr. Melania Suweni Muntini, M.T. selaku dosen penguji atas saran, kritik, masukan, dan arahnya sehingga memperluas wawasan penulis.
3. Dr. Yono Hadi Pramono, selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA ITS yang telah memberikan kemudahan sarana kepada penulis selama kuliah sampai terselesaikannya tesis ini.
4. Seluruh Staf Pengajar di Jurusan Fisika FMIPA ITS, terimakasih atas pendidikan, ilmu pengetahuan, dan motivasi yang telah diberikan.
5. Istiqomah, Hadziq dan Miqdad serta seluruh Keluargaku atas doanya.
6. Teman seperjuangan mahasiswa Pascasarjana Fisika angkatan 2013.
7. Segenap pihak yang berkontribusi dalam penyelesaian tesis ini.

Penulis menyadari sepenuhnya atas keterbatasan ilmu pengetahuan dan kemampuan yang dimiliki, oleh karena itu penulis berharap akan menerima kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan penulisan tesis ini. Semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan serta memberikan inspirasi bagi pembaca untuk perkembangan yang lebih lanjut.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

Lembar Pengesahan	i
Abstrak	iii
Abstract	v
Kata Pengantar	vii
Daftar Isi	ix
Daftar Gambar	xi
Daftar Tabel	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 Ozon	5
2.2 Pencemaran Udara	7
2.3 Ozon Generator	7
2.4 Pendekatan Elektrostatis	9
2.5 Elektroda ozon Generator	10
2.6 Konsumsi daya pada generator ozon	11
BAB 3 METODA PENELITIAN	13
3.1 Alat	13
3.2 Rancangan Kerja	13
3.3 Pembangkit tegangan tinggi	14
3.4 Perancangan Osilator	15
3.5 Desain Elektroda dan Dielektrikum	15
3.6 Pengujian Generator Ozon	17
3.7 Pengujian Kadar Ozon	17
3.8 Pengujian Osilator	18
3.9 Pengujian Sumber Tegangan	19

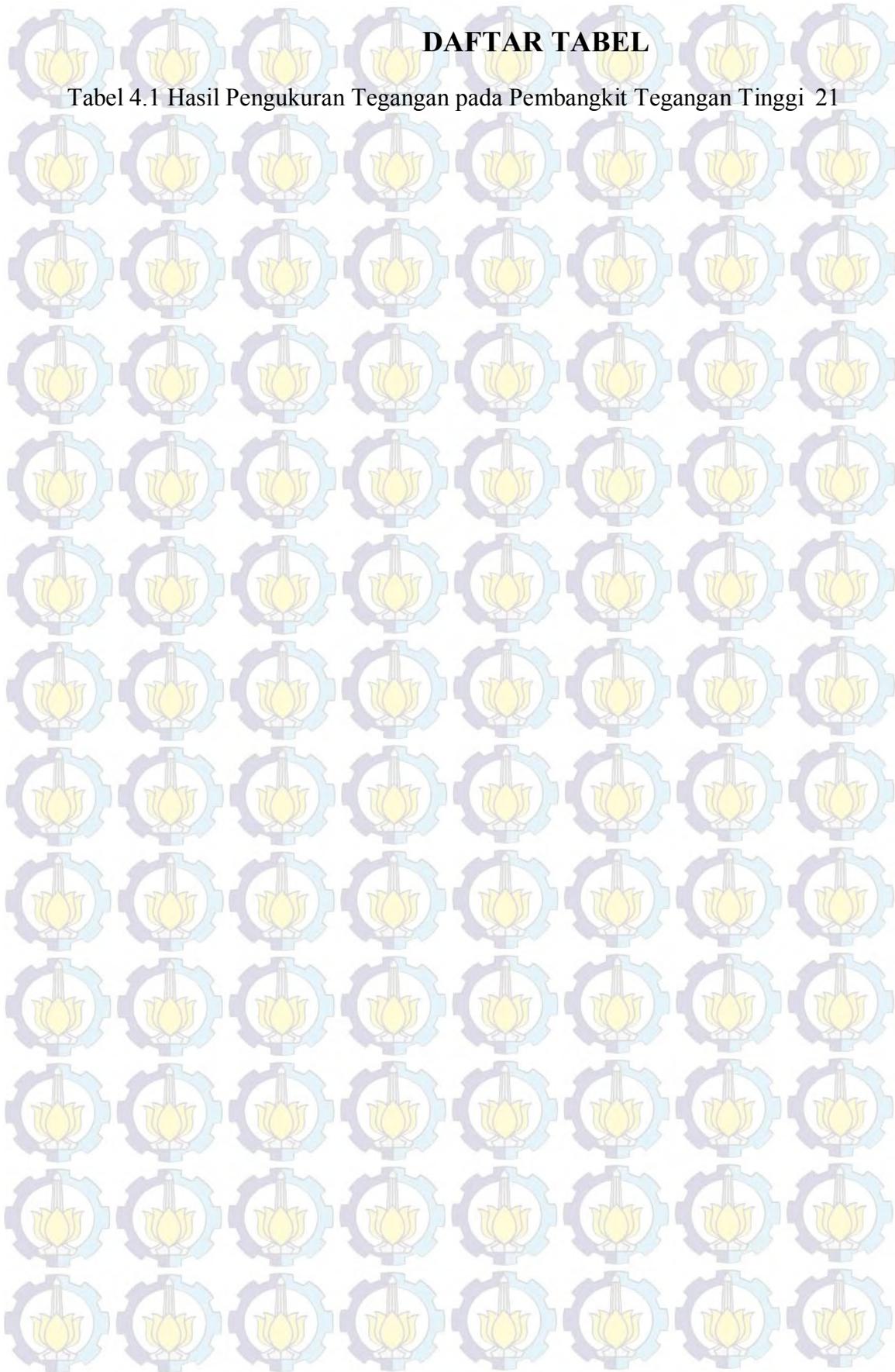
3.10 Pengujian Kadar Polutan	19
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1 Sumber Tegangan	21
4.2 Produksi Ozon pada Beberapa Elektroda	22
4.2.1 Kadar Ozon pada Elektroda <i>Strip-Plane</i>	22
4.2.2 Kadar Ozon pada Elektroda <i>Pin-Plane</i>	24
4.2.3 Kadar Ozon pada Elektroda Koaksial dengan Dielektrikum Udara ..	26
4.2.4 Kadar Ozon pada Elektroda Koaksial dengan dielektrikum Keramik dan Kaca	27
4.3 Produksi Ozon Variasi Elektroda	29
4.4 Pengujian Kandungan Udara	30
4.4.1 Pengujian Kadar Oksigen	31
4.4.2 Pengujian Kadar Polutan (CO ₂ , CO, HC)	32
4.5 Hasil Uji NO ₂ dan SO ₂	34
BAB 5 Kesimpulan	37
5.1 Kesimpulan	37
5.2 Saran	37
Daftar Pustaka	39
LAMPIRAN 1	43
LAMPIRAN 2	44
LAMPIRAN 3	45
LAMPIRAN 4	46
LAMPIRAN 5	47
LAMPIRAN 6	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Struktur molekul ozon	6
Gambar 2.2. sistem generator ozon	8
Gambar 2.3. Rangkaian ekivalen reaktor DBD	8
Gambar 2.4. <i>parallel plate waveguide</i>	9
Gambar 2.5. Hubungan antara P dan V	11
Gambar 2.6. Siklogram Q-V	12
Gambar 3.1. Diagram alir penelitian	14
Gambar 3.2. <i>Power Supply</i> tegangan tinggi	14
Gambar 3.3 Rangkaian Osilator	15
Gambar 3.4. Elektroda koaksial dengan tiga variasi jari – jari	16
Gambar 3.5. Elektroda strip-bidang tiga variasi	16
Gambar 3.6 Stargas 898 <i>Analyzer</i>	19
Gambar 4.1 Reaktor Ozon Elektroda <i>Strip-plane</i>	23
Gambar 4.2 Kadar Ozon pada elektroda <i>Strip-Plane</i>	23
Gambar 4.3 Elektroda <i>pin-plane</i> Generator Ozon	25
Gambar 4.4 Hasil Kadar Ozon Elektroda <i>pin-plane</i>	26
Gambar 4.5 Kadar Ozon Elektroda Koaksial	27
Gambar 4.6 Pola lucutan elektron pada reaktor Ozon dengan elektroda Koaksial dielektrikum udara	26
Gambar 4.7 Reaktor Ozon Elektroda Koaksial dengan dielektrikum	28
Gambar 4.8 Hasil Ozon dengan Elektroda Koaksial dengan dielektrikum Kaca dan Keramik	29
Gambar 4.9 Hasil Pengukuran Kadar Oksigen	31
Gambar 4.10 Hasil Pengukuran Kadar Polutan	33
Gambar 4.11 Kadar NO ₂ dan SO ₂	35

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Tegangan pada Pembangkit Tegangan Tinggi 21



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Ilmu pengetahuan dan Teknologi saat ini semakin berkembang. Seiring perkembangannya ada beberapa efek yang ditimbulkan, baik efek positif maupun negatif. Salah satu efek negatif yang ditimbulkan adalah polusi yang kian tinggi, baik polusi udara, air maupun polusi yang lain. Tentu saja polusi ini harus ditekan agar efek negatif dari perkembangan Ilmu pengetahuan dan Teknologi bisa diantisipasi. Seharusnya ada pengembangan ilmu pengetahuan dan Teknologi yang bisa memberikan kontribusi dalam mengurangi polusi.

Teknologi pengurangan polutan sudah dilakukan dengan beberapa macam penanganan baik dengan cara konvensional seperti *wastewater treatment plants* atau teknik penanganan yang non-konvensional seperti *advanced oxidation processes* (AOPs) (Hijosa-Valsero et al. 2013). Pengembangan teknologi penghilangan polutan dengan *dielectric barrier discharges* (DBD) masih berlangsung dengan tujuan untuk mendapatkan efisiensi dan kadar ozon yang tinggi. DBD bisa dihasilkan dengan menggunakan arus listrik AC beserta kelengkapan lainnya yakni elektroda dan bahan dielektrik yang diletakkan antara elektroda positif dan elektroda negatif (Sung et al. 2013). Pada generator ozon dengan DBD, jika dialirkan Oksigen dengan kecepatan tetap akan menghasilkan konsentrasi ozon yang terus meningkat.

Proses penghilangan polutan pada air misalnya, dapat dilakukan dengan cara memberikan tegangan tinggi langsung terhadap air (*electrohydraulic discharge*) atau dengan menggunakan fase gas yang dikenakan bagian atas air (*nonthermal plasma*). Penghilangan polutan dengan plasma ini diaplikasikan pada beberapa polutan seperti Sianida, Phenol, pewarna organik (Hijosa-Valsero et al. 2013). Jumlah produksi ozon diteliti dengan memberikan beberapa variasi, seperti besarnya tegangan dan frekuensi dari tegangan yang dihubungkan dengan reaktor ozon (Wei et al. 2014a).

Beberapa *dielectric barrier discharges* digunakan untuk memberikan perlakuan khusus terhadap aktifitas – aktifitas biologi sehingga aktifitas yang terjadi dapat dikendalikan. Beberapa aktifitas biologi yang digunakan adalah pembasmian jamur, bakteri, dan virus (Kim et al. 2014). Pengembangan generator ozon bisa memberikan kontribusi dalam menangani polusi khususnya polusi udara dan air. Pada pembuatan *Dielectric Barrier Discharge* banyak dilakukan beberapa variasi terkait parameter yang mempengaruhi kadar ozon yang dihasilkan, misalnya dengan variasi amplitudo tegangan, gap antar elektroda, serta ketebalan bahan dielektrikunya (C. Zhang et al. 2010). Penelitian tentang *Dielectric Barrier Discharge* dalam perkembangannya untuk mendapatkan hasil yang optimal, ada juga yang membandingkan antara pembuatan hasil eksperimen dengan hasil simulasi. Tentunya perbandingan hasil eksperimen dengan simulasi tidak sama 100%. Namun cukup memberi gambaran bahwa eksperimen tidak menyimpang terlalu jauh dari teori yang ditunjukkan oleh hasil simulasi (C. Zhang et al. 2010).

Penelitian ini mengusulkan rancangan dan analisa untuk pembangkit ozon dengan dua macam elektroda yaitu strip bidang dan koaksial. Diharapkan berkembang dalam beberapa aplikasi untuk pengurangan kadar polutan diudara seperti Karbon Dioksida (CO_2), Oksida Sulfur (SO_x), Nitrogen Oksida (NO_x), Partikulat, dan Gas rumah Kaca (CH_4 , CO_2 dan N_2O), sehingga polutan bisa berkurang bahkan hilang sama sekali. Besarnya ozon yang dihasilkan dan efektifitas pembangkit ozon yang dirancang akan diteliti juga.

1.2. Perumusan Masalah

Penelitian ini menekankan pada produksi ozon menggunakan variasi desain elektroda, dengan ini permasalahan yang menjadi dasar adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh bahan dielektrik (kaca dan keramik) yang digunakan terhadap produksi ozon yang dihasilkan.
2. Bagaimana membuat sistem generator ozon dengan elektroda strip bidang dan elektroda koaksial yang dapat menghasilkan kadar ozon optimal.

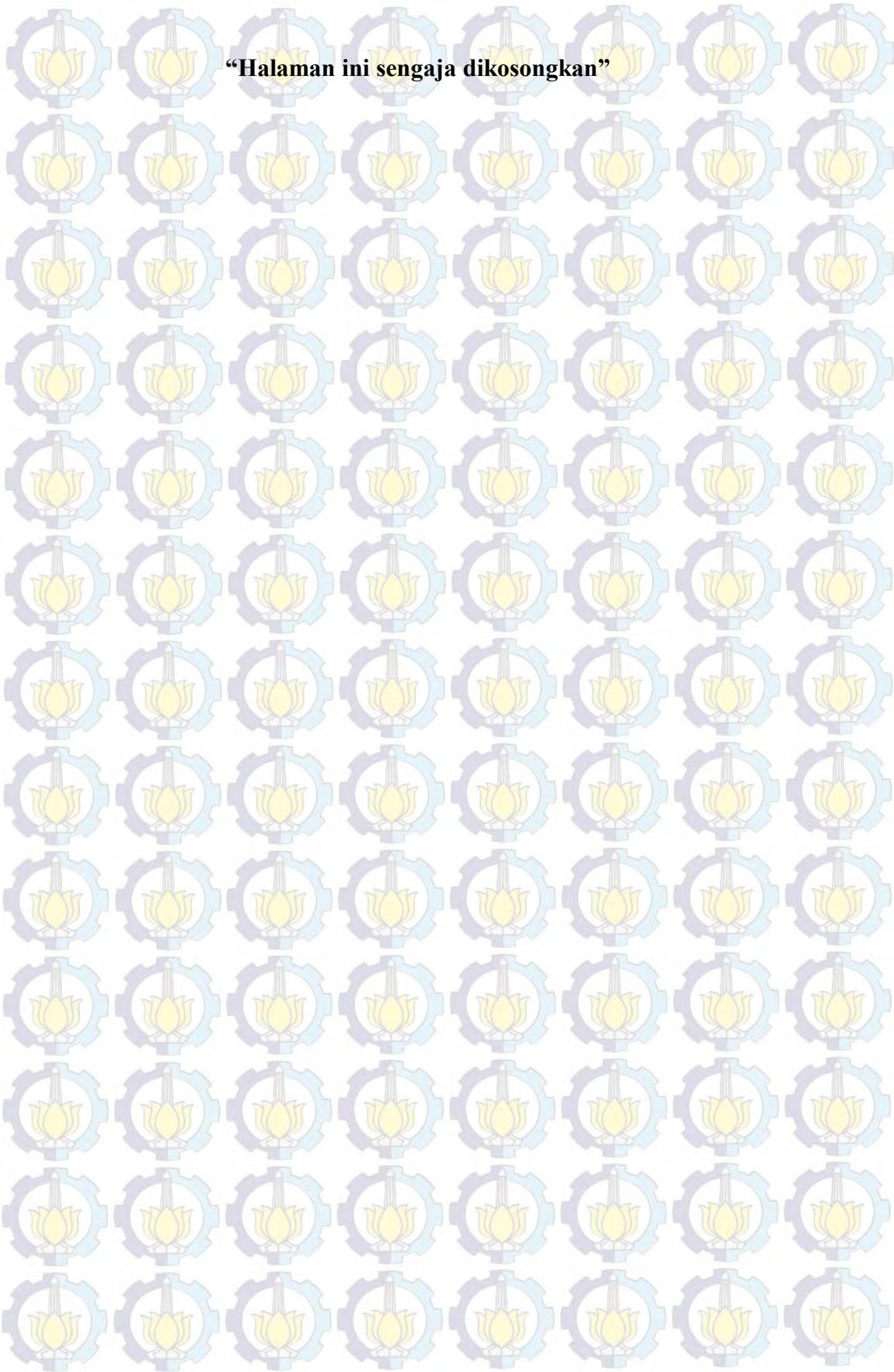
1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk merancang, membuat dan menganalisa serta menguji generator ozon dari elektroda strip bidang dan koaksial yang pada akhirnya generator ozon yang dibuat mampu digunakan sebagai alat untuk mengurangi kadar pencemaran udara seperti Karbonmonoksida (CO) Karbon Dioksida (CO₂), Oksida Sulfur (SO_x) dan Nitrogen Oksida (NO_x).

1.4 Manfaat Penelitian

Pada penelitian ini diharapkan ada beberapa manfaat yang bisa didapatkan. Beberapa hal yang bisa diperoleh dalam penelitian ini antara lain :

1. Mendapatkan rancangan ozon generator yang optimal dengan menggunakan beberapa variasi elektroda.
2. Mendapatkan rancangan ozon generator yang mampu mereduksi polutan.



BAB 2 KAJIAN PUSTAKA

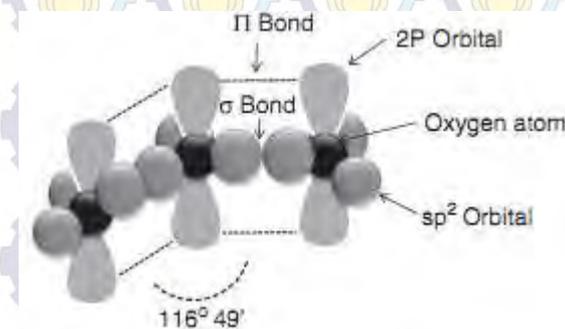
2.1 Ozon

Ozon adalah oksidan yang dapat diaplikasikan pada air dan udara. Beberapa aplikasi untuk pengolahan makanan juga ada yang menggunakan ozon sebagai pengendali reaksi kimia dengan tujuan tertentu. Disinfektan yang ada sekarang juga beberapa berbasis generator ozon (Facta et al. 2008). Ozon sangat disenangi masyarakat khususnya terkait dalam penggunaannya untuk mengolah makanan, karena bisa menggantikan fungsi zat aditif pada makanan serta merupakan teknologi yang ramah lingkungan dan tidak berbahaya bagi manusia (O'Donnell et al. 2012). Ozon menjadi alternatif bagi industri dalam perannya untuk membersihkan makanan tanpa meninggalkan residu. Pembersihan pada makanan dengan cara pembersihan menggunakan air yang didalamnya terkandung ozon dan penyimpanan makanan yang udaranya mengandung ozon. Ozon dapat berfungsi sebagai pestisida yang mengakibatkan serangga perusak makanan mati tanpa memberikan efek negatif kepada makanan yang dikenai. Rasa dari makanan adalah menjadi hal yang sangat penting bagi konsumen makanan, sehingga ozon sebagai oksidan yang digunakan untuk pengolahan makanan menjadi sangat penting.

Ozon pertama kali ditemukan oleh Schoenbein pada tahun 1839, yang mengamati bahwa elektrolisis pada air menghasilkan gas. Pertama kali ozon digunakan secara komersial sebagai disinfektan air minum di Perancis diawal tahun 1900-an. Sekarang diestimasikan ribuan air minum diproses dengan menggunakan ozon (O'Donnell et al. 2012). Kata ozon sebenarnya berasal dari bahasa Yunani yakni 'ozein' yang berarti membau. Sebenarnya arti kata ini menggambarkan permasalahan ozon pada atmosfer rendah. Ozon berada pada lapisan stratosfer dan lapisan ini terletak sepuluh sampai lima puluh kilometer diatas permukaan bumi. Pada kehidupan sehari – hari ozon juga berfungsi menyerap seluruh radiasi ultra violet meliputi UV-A dengan panjang gelombang lebih dari 320 nanometer, UV-B dengan panjang gelombang antara 290 sampai

320 nanometer dan UV-C dengan panjang gelombang kurang dari 290 nanometer (Gillespie 2005). Pada tahun 1930 ada seorang ilmuwan berkebangsaan Inggris bernama Sydney Chapman yang menjelaskan bagaimana ozon terbentuk dan rusak di atmosfer. Menurut Chapman bahwa molekul Oksigen menyerap cahaya ultraviolet dengan panjang gelombang yang pendek. Ozon melindungi bumi dari sinar ultraviolet yang tidak bisa diterima langsung oleh manusia. Namun pada faktanya terdapat fenomena penipisan lapisan ozon yang disebabkan oleh fenomena kimia karena adanya Klorin dan Bromin yang merusak Ozon dalam jumlah besar (Gillespie 2005).

Secara alami ozon terbentuk secara fotokimia pada lapisan stratosfer, dengan listrik tegangan tinggi yang memancarkan bunga api. Kereaktifan ozon sangat dipengaruhi oleh struktur dari molekulnya. Molekul ozon terdiri dari tiga atom Oksigen yang pada valensi tiap atom Oksigen terdapat dua elektron yang tidak memiliki pasangan. Masing – masing menempati orbital 2p. Hal ini berarti selama atom Oksigen berada pada formasi, tiga atom dikombinasi seperti pada gambar .



Gambar 2.1. Struktur molekul ozon (O'Donnell et al. 2012).

Berdasarkan Gambar 2.1. diketahui bahwa sudut yang dibentuk oleh tiga atom Oksigen sebesar 116°49'. Telah diketahui bahwa ozon adalah oksigen triatomik yang terbentuk dari hasil penambahan dari sebuah Oksigen radikal terhadap molekul Oksigen (O'Donnell et al. 2012). Warna dari ozon adalah biru ketika berada pada temperatur biasa yang dihasilkan dari udara kering. Namun menjadi tidak berwarna ketika dihasilkan dari oksigen yang sangat murni. Daya larut ozon pada air dipengaruhi oleh temperatur, daya larut ozon di air akan

berkurang saat temperaturnya bertambah. Telah diketahui bahwa solubilitas ozon pada suhu 0°C adalah 0.6401 ozon/L air, sedangkan pada saat temperatur 60°C ozon tidak bisa larut dalam air. Pada temperatur ruangan ozon adalah gas yang tidak stabil. Kemurnian air mempengaruhi kestabilan ozon. Pada sisi yang lain, untuk menghasilkan ozon, molekul oksigen diatomik terlebih dahulu harus dipisah. Ozon dapat menjadi racun, kadar racun pada ozon tergantung pada konsentrasi dan besar keberadaannya. Pada saat kandungan ozon 0,1-1.0 ppm efek yang ditimbulkan adalah sakit kepala, mimisan, iritasi mata, tenggorokan kering dan iritasi pernafasan. Namun pada saat kadar ozon 1-100ppm gejala yang ditimbulkan lebih banyak termasuk asma, kelelahan, dan kehilangan nafsu makan.

2.2 Pencemaran udara

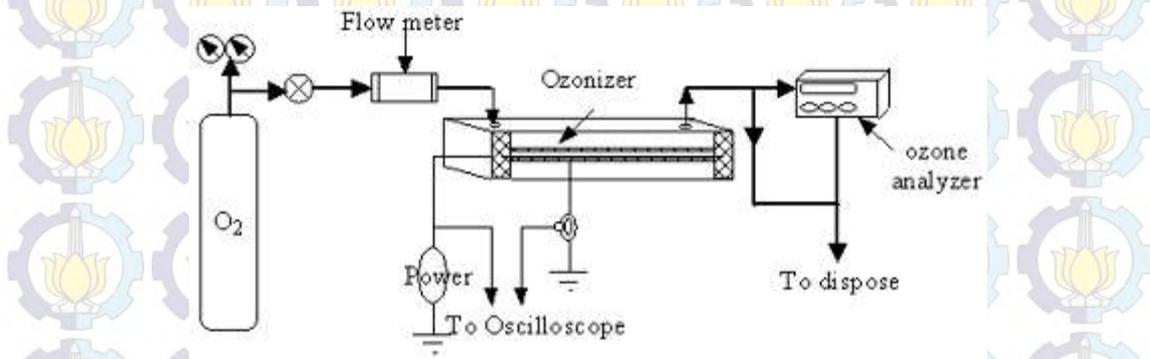
Pada era yang maju saat ini kendaraan di jalan raya memiliki kontribusi yang besar sebagai penghasil polutan. Saat ini keberadaan polusi dipantau oleh pemerintah dengan menggunakan peralatan khusus untuk mengukur kadar bermacam – macam polutan seperti Karbonmonoksida, Nitrogen Oksida, Sulfur Dioksida, Ozon, dan polutan yang lain. Tentunya dalam pengukuran dilakukan proses kalibrasi instrumen, pengumpulan data, dan pemrosesan data (Kumar et al. 2015).

Gas rumah kaca sudah ada didalam atmosfer dalam kurun waktu puluhan tahun bahkan ratusan. Hal ini berpengaruh pada keseimbangan energi pada bumi dalam kurun waktu yang cukup lama. Gangguan keseimbangan energi pada bumi terjadi seperti adanya pelepasan energi ke udara sebelum waktunya yang disebabkan perubahan iklim yang tidak periodik akibat gas rumah kaca. Sebagian besar gas rumah kaca adalah karbon dioksida yang diemisikan akibat pemakaian energi fosil. Karbon Dioksida dihasilkan ketika makhluk hidup bernafas mengeluarkan karbon dioksida dan pemakaian kendaraan, *power plan* (Dobrot et al. 2013).

2.3 Ozon Generator

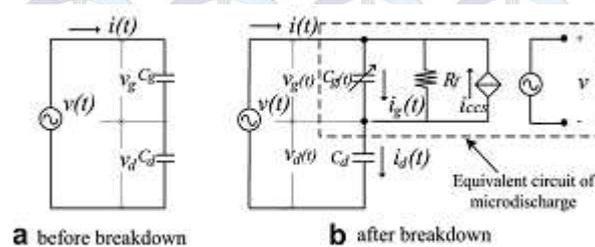
Berdasarkan kuatnya sebagai oksidan dan ramah lingkungan, maka ozon banyak diaplikasikan dalam berbagai hal seperti pengolahan air, pereduksi asap, kontrol bau, penghilang warna, disinfektan, terapi medis, pengolahan makanan dan hasil pertanian serta penyimpanannya. Berikut gambaran sistem generator

ozon yang telah terintegrasi pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. sistem generator ozon (Wei et al. 2014b)

Pada umumnya generator ozon terdiri dari sumber tegangan tinggi, elektroda dan dielektrikum yang berada dalam reaktor ozon. Pada generator ozon yang menggunakan elektroda plat paralel medan listrik yang terjadi tidak homogen. Medan listrik pada bagian tepi lebih lemah jika dibanding dengan medan listrik yang timbul pada bagian tengah elektroda (Srivastava and Prasad 2014). *Dielectric barrier discharge* merupakan piranti yang sangat efisien dalam skala industri karena efektif dan ekonomis. *Dielectric barrier discharge* secara umum dapat digambarkan dengan menggunakan banyak filamen atau bisa disebut dengan *microdischarge*. Sehingga DBD dapat dibuat rangkaian ekivalennya seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2.3. Rangkaian ekivalen reaktor DBD (C. Zhang et al. 2010).

Pada gambar 2.3 Tersebut $v(t)$ adalah tegangan rangkaian, $i(t)$ adalah total arus listrik, $i_d(t)$ adalah arus perpindahan pada *barrier*, $i_g(t)$ adalah arus perpindahan pada bagian gap antar elektroda, i_{CCS} adalah arus yang melewati CCS, $v_d(t)$ tegangan yang ada pada *dielectric barrier* dan $v_g(t)$ adalah tegangan pada bagian gap antara dua elektroda (C. Zhang et al. 2010). Berdasarkan hukum Kirchoff, maka rangkaian pada gambar 2.3. dapat dihitung

$$i_{CCS}(t) = i(t) - i_g(t) = i(t) - C_g \frac{dv_g(t)}{dt} \quad (2.1)$$

$$i(t) = i_d(t) = C_d \frac{dv_d(t)}{dt} \quad (2.2)$$

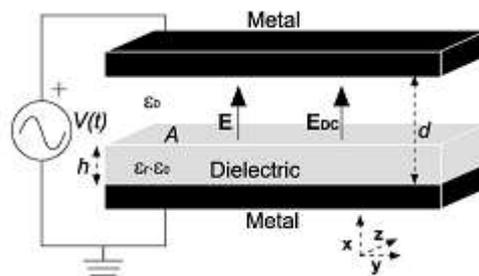
$$\frac{dv(t)}{dt} = \frac{dv_g(t)}{dt} + \frac{dv_d(t)}{dt} \quad (2.3)$$

Berdasarkan persamaan 2.1,2.2,2.3, maka i_{CCS} (arus *controlled current sources*) dapat dicari dengan persamaan berikut

$$i_{CCS}(t) = \left(1 + \frac{C_g}{C_d}\right) i(t) - C_g \frac{dv(t)}{dt} \quad (2.4)$$

2.4 Pendekatan elektrostatik

Pada dua buah lempeng logam yang diisi bahan dielektrikum tertentu dengan jarak antar plat adalah d seperti gambar 2.4.



Gambar 2.4. *parallel plate waveguide* (Torregrosa et al. 2006).

Berdasarkan gambar dapat dilakukan pendekatan terhadap besaran elektrostatik dengan memberikan tegangan antara dua elektroda adalah $V(t) = V_0 \sin(2\pi ft + \alpha)$ dengan V_0 adalah amplitudo tegangannya, f adalah frekuensi dan α adalah fase mula – mula saat $t = 0s$ (Torregrosa et al. 2006).

Medan listrik yang tegak lurus dari kedua plat adalah $E = E_0 \sin(2\pi ft + \alpha) \hat{x}$ dengan E_0 dapat dihitung berdasarkan pendekatan elektrostatik yang ditunjukkan dengan persamaan

$$E_r = \frac{V_0 \epsilon_r}{h + \epsilon_r(d-h)} \quad (2.5)$$

Pada kasus ini elektron akan masuk kedalam bahan dielektrikum yang ada karena memiliki potensial yang negatif. Berdasarkan persamaan terlihat bahwa ketebalan bahan dielektrikum, jarak gap antara dua plat dan bahan dielektrikumnya mempengaruhi besarnya medan listrik.

2.5 Elektroda ozon generator

Generator ozon memiliki beberapa komponen penting salah satunya adalah elektroda. Elektroda terdiri dari elektroda positif dan elektroda negatif yang disambungkan dengan *power supply* tegangan tinggi. Pada beberapa penelitian ada beberapa variasi penggunaan elektroda, seperti baja, aluminium dan bahkan ada yang menggunakan air murni (Wang, Zhang, and Wang 2012). Pada saat kedua elektroda dihubungkan dengan sumber tegangan tinggi maka *dielectric barrier discharge* muncul. Pada sebuah penelitian diketahui bahwa perbedaan penggunaan elektroda mengakibatkan perbedaan hasil pengukuran arus pelucutan. Berdasarkan eksperimen terbukti bahwa dari ketiga elektroda, pada elektroda air memiliki arus DBD yang lebih kecil dari arus DBD elektroda aluminium dan baja. Hal ini terjadi karena hambatan air yang tinggi yakni $150\text{k}\Omega$, sehingga berdasarkan konsep dasar akan mengakibatkan arus yang lewat bernilai kecil. Energi yang dibutuhkan untuk satu siklus pelucutan dapat dihitung dengan persamaan (2.6)

$$W = \int_{t_0 - T/2}^{t_0 + T/2} v(t) \cdot i(t) dt \quad (2.6)$$

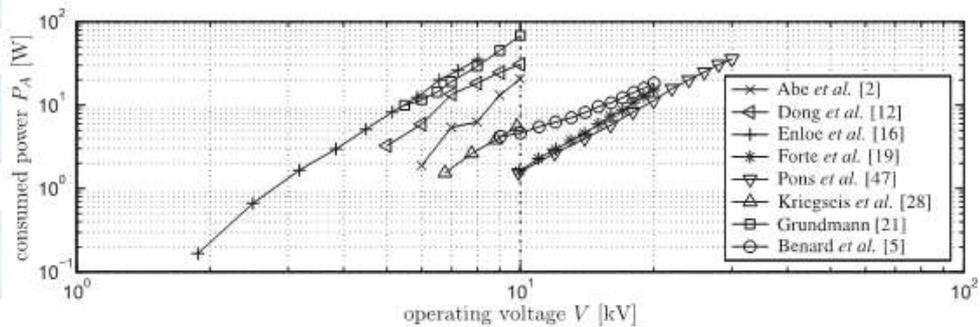
Dimana T adalah periode dari tegangan, $i(t)$ adalah arus yang mengalir pada reaktor pelucutan sedangkan $v(t)$ adalah tegangan yang digunakan untuk menyuplai reaktor. Penggunaan elektroda yang berbeda juga digunakan untuk menganalisa emisi yang ditimbulkan saat pelucutan. Berdasarkan eksperimen terlihat bahwa emisi cahaya yang dihasilkan elektroda air lebih lemah dari pada reaktor yang menggunakan elektroda baja dan aluminium (Wang, Zhang, and Wang 2012).

Jenis bahan elektroda mempengaruhi hasil pelucutan pada ruang reaktor. Namun dimensi dan desain elektroda juga akan mempengaruhi pelucutan serta

kadar ozon yang dihasilkan. Penggunaan elektroda *multiple parallel* lebih efisien dalam menghasilkan kadar ozon dibanding hanya menggunakan elektroda tunggal (Malik, Schoenbach, and Heller 2014a). Emisi cahaya yang ditimbulkan oleh elektroda *multiple parallel* juga lebih kuat dibanding emisi cahaya oleh elektroda tunggal. Selain berkaitan dengan efisiensi pembentukan ozon, desain elektroda juga mempengaruhi konversi oksida nitrat.

2.6 Konsumsi daya pada generator ozon

Dielectric barrier discharge tentunya membutuhkan besar daya tertentu untuk melakukan operasi pelucutan elektron. Daya yang dibutuhkan pada DBD sebagaimana fungsi dari tegangan tinggi yang terjadi pada Gambar 2.1.



Gambar 2.5 Hubungan antara P dan V (Kriegseis et al. 2011)

Hubungan Daya dan Tegangan pada Gambar 2.5. menunjukkan perbedaan antara peneliti yang satu dengan yang lain. Hal ini terjadi karena setiap peneliti memiliki desain operasi yang berbeda, meliputi *power supply* tegangan tinggi, pembangkit gelombang yang digunakan, bahan elektroda serta dimensi dan gap antar elektroda yang digunakan.

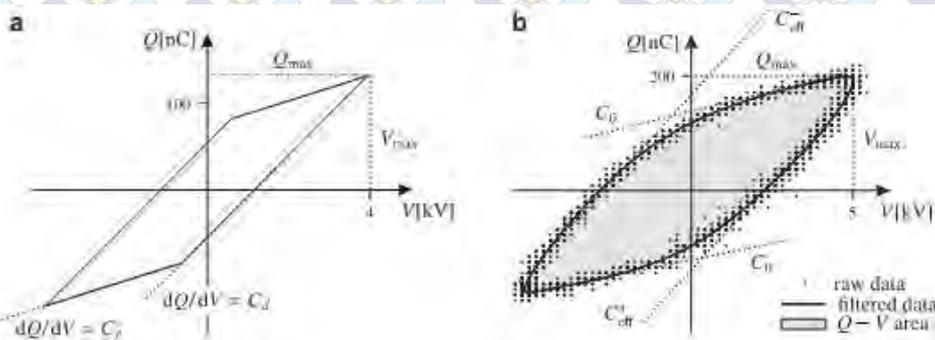
Energi yang dibutuhkan untuk satu siklus, selain dengan menggunakan persamaan 2.6 dapat juga dengan menggunakan persamaan 2.7 berikut

$$E_k = \oint_k C_p V_p(t) dV = \oint_k Q(t) dV \quad (2.7)$$

Berdasarkan persamaan 2.7 kemudian dapat dihitung daya listrik yang dibutuhkan oleh aktuator dengan mengalikan frekuensi plasma dan rata – rata siklus pelucutan seperti pada persamaan 2.8.

$$P_A = Ef = \frac{f}{K} \sum_{k=1}^K E_k \quad (2.8)$$

Beberapa penelitian telah mempelajari tentang hubungan kapasitansi, tegangan dan muatan pada proses *charging* dan *discharging*. Hasil dari pengamatan kondisi DBD saat pengisian dan pengosongan ditunjukkan oleh Gambar 2.6 di bawah ini.



volume discharge (VD);
following Wagner *et al.* [56]

surface discharge (SD);
extracted from Möller [35]

Gambar 2.6 Siklogram Q-V (Kriegseis *et al.* 2011).

BAB 3 METODA PENELITIAN

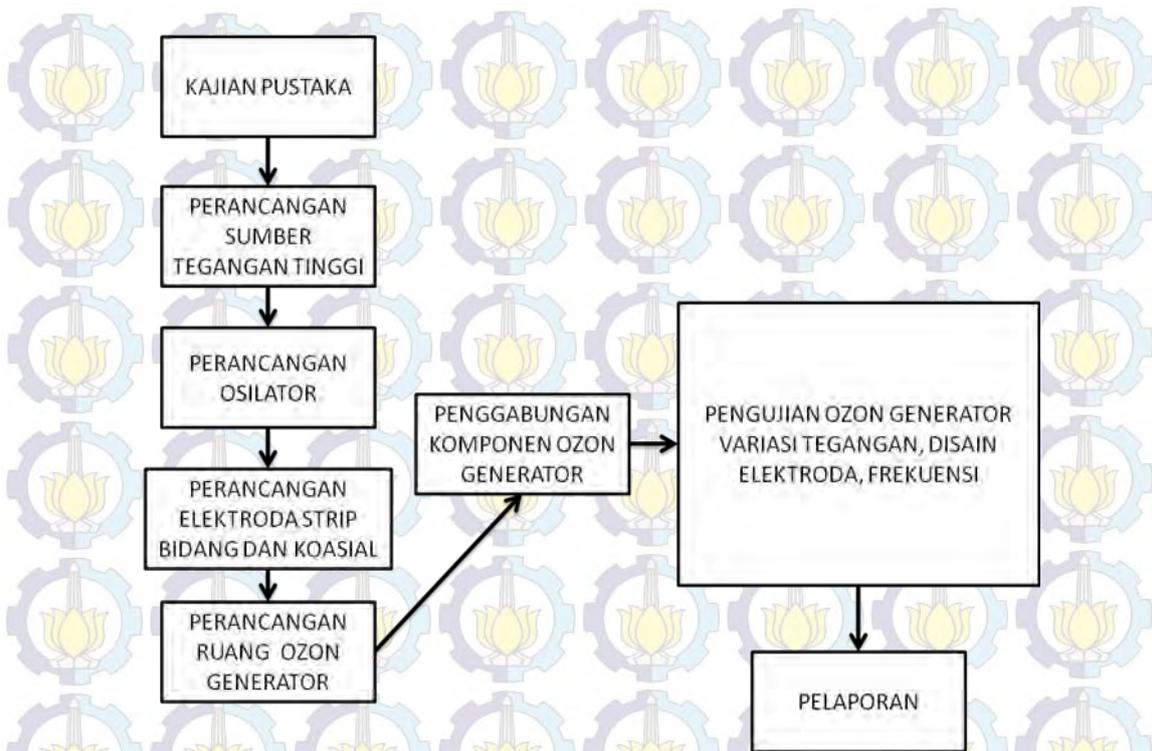
3.1 Alat

Perancangan Generator Ozon ini dibuat dengan menggunakan sumber tegangan tinggi dan elektroda strip bidang. Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Transformator step up
2. Reaktor ozon
3. Osiloskop
4. Multimeter
5. Elektroda strip bidang
6. Rangkaian osilator
7. Sumber arus DC
8. Pompa udara
9. Stargas 898

3.2 Rancangan Kerja

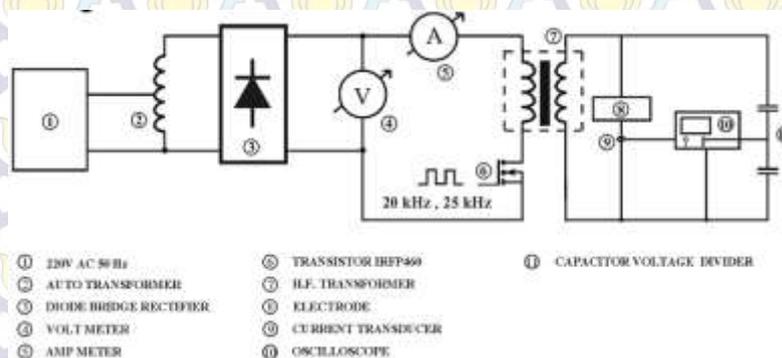
Rancangan kerja pada penelitian ini dimulai dengan kajian pustaka yang terkait dengan penelitian. Desain dari generator ozon menjadi sangat penting karena terkait konsentrasi ozon yang dihasilkan. Sumber arus listrik tegangan tinggi dibuat dengan menggunakan trafo *step up flyback* beserta osilator yang mengatur frekuensi pemberian arus terhadap elektroda yang diletakkan ke dalam wadah ozon generator. Pada penelitian ini dilakukan beberapa variasi, yakni variasi tegangan, frekuensi pemberian arus listrik, dan letak serta dimensi elektroda strip bidang. penelitian ini dilakukan sesuai diagram alir berikut ini :



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

3.3 Pembangkit tegangan tinggi

Sumber tegangan yang digunakan pada elektroda generator ozon didapatkan dari trafo step up menggunakan transformator *fly back* (Suksri et al. 2009). Sumber utama menggunakan tegangan 220V 50Hz kemudian disearahkan dengan menggunakan dioda *bridge* dan dihubungkan ke trafo step up yang sebelumnya dilakukan *switching* dengan menggunakan MOSFET. *Switching* dikendalikan dengan rangkaian osilator. Untuk mendapatkan kadar ozon yang tinggi, maka digunakan tegangan yang tinggi serta frekuensi yang tinggi pula.

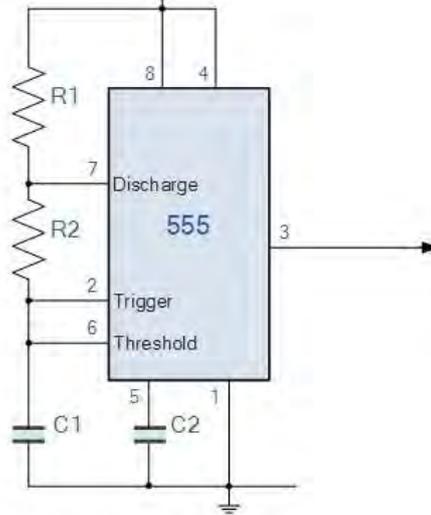


Gambar 3.2. Power Supply tegangan tinggi (Suksri et al. 2009)

3.4 Perancangan Osilator

Pada dasarnya osilator yang digunakan pada sistem ini adalah berfungsi sebagai *switcher* aliran arus listrik yang masuk ke elektroda. Pada penelitian ini digunakan variasi frekuensi untuk mendapatkan hasil kadar ozon yang tinggi. Variasi frekuensi dari osilator didapatkan dengan mengubah nilai R_A , R_B , dan C .

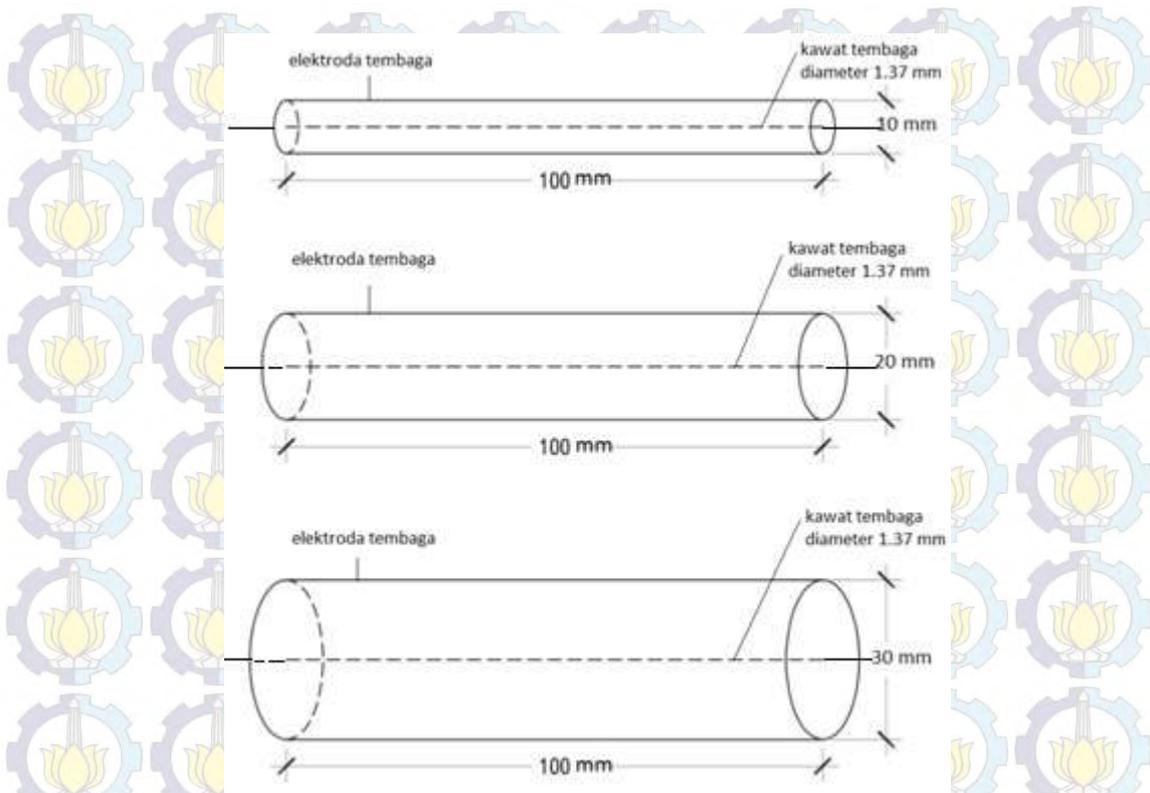
$$f = \frac{1,44}{(R_A + 2R_B)C} \quad (3.1)$$



Gambar 3.3 Rangkaian Osilator (Storr 2016)

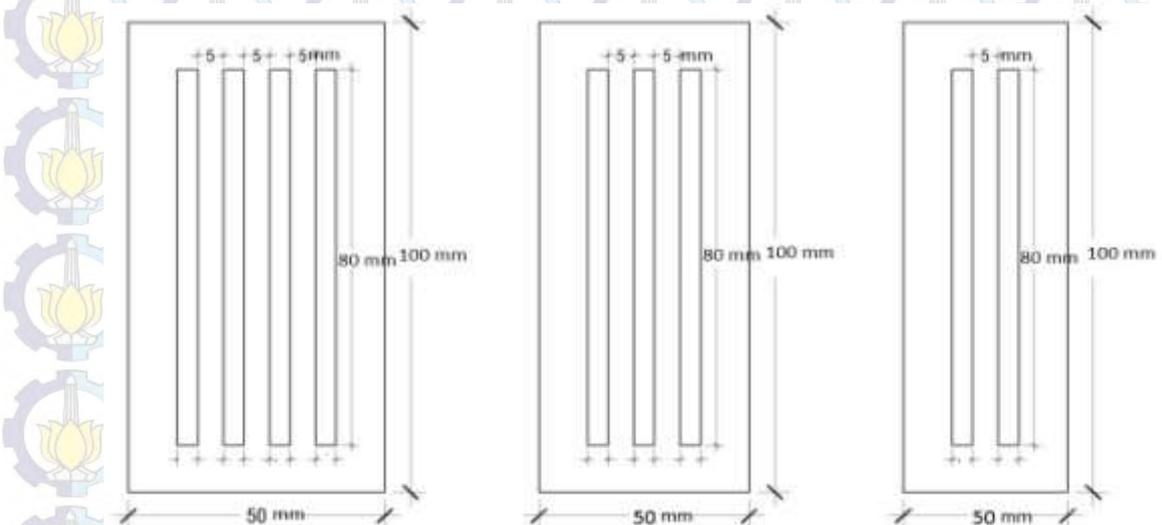
3.5 Desain Elektroda dan Dielektrikum

Penelitian ini menggunakan dua jenis elektroda, yaitu elektroda koaksial dan elektroda strip-bidang. Pada elektroda koaksial digunakan bahan tembaga dengan elektroda kawat adalah elektroda positif dan elektroda selimut koaksial adalah elektroda negatif. Elektroda *strip* bidang mengaplikasikan bagian *strip* elektroda positif dan bagian bidang adalah elektroda negatif. Berikut ini variasi dan spesifikasi dari kedua elektroda.



Gambar 3.4 Elektroda koaksial dengan tiga variasi jari – jari

Pada elektroda koaksial dengan tiga variasi yang memiliki panjang selimut 10cm, untuk Koaksial-1 berjari – jari 0,5 cm, Koaksial-2 berjari – jari 1 cm dan Koaksial-3 berjari – jari 1,5 cm. Elektroda strip-bidang menggunakan tiga variasi jumlah strip, seperti pada Gambar 3.5



Gambar 3.5 Elektroda strip-bidang tiga variasi

Elektroda strip-bidang memiliki spesifikasi ukuran plat negatif $10 \times 5 \text{ cm}^2$ dan untuk plat positif (*strip*) tiap buahnya berukuran $0,5 \times 8 \text{ cm}^2$. Jarak antar *strip* adalah $0,5 \text{ cm}$ dan jarak *gap* antara plat positif dan negatif adalah 1 cm . Kemudian elektroda dimasukkan ke dalam wadah reaktor yang berukuran $15 \times 10 \times 8 \text{ cm}^3$.

Pada bagian reaktor diberikan bahan dielektrikum antara dua elektroda untuk mengetahui pengaruh permitivitas bahan dielektrikum terhadap lucutan di dalam reaktor ozon. Bahan dielektrikum yang akan digunakan adalah gelas dan keramik (S. Zhang et al. 2014).

3.6 Pengujian generator ozon

Pengujian ozon dilakukan beberapa kali dengan memberikan variasi yang berbeda. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan parameter sistem yang optimal. Variasi yang dilakukan adalah variasi desain elektroda, tegangan, dan frekuensi pemberian arus listrik terhadap elektroda.

3.7 Pengujian Kadar Ozon

Kadar ozon yang diproduksi dari generator akan di uji dengan metoda iodometri. Pada dasarnya pengujian kadar Ozon dengan metode iodometri dilakukan dengan memperhatikan perubahan warna, dari warna ungu menjadi tidak berwarna setelah dititrasi dengan Natrium Tiosulfat.

3.7.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam pengujian kadar ozon adalah sebagai berikut :

1. KI
2. $Na_2S_2O_3$
3. H_2SO_4
4. Starch (amilum)

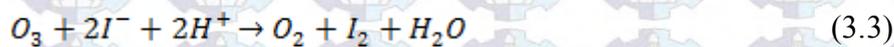
3.7.2 Prosedur Kerja

1. Pembuatan larutan KI dengan konsentrasi $0,15M$
2. Pembuatan Sodium Tiosulfat $0,015N$ dengan rumus normalitas

$$\text{massa molar ekivalen} = \frac{Mr \text{ molekul } \left(\frac{g}{mol} \right)}{\text{ekivalensi } \left(\frac{eq}{mol} \right)} \quad (3.1)$$

$$\text{Normalitas} = \frac{\text{massa} / \text{massa molar ekivalen} (eq)}{\text{Volume (liter)}} \quad (3.2)$$

3. Pembuatan larutan indikator starch 1%
4. Pembuatan larutan Asam Sulfat 0,005M
5. Proses Iodometri mengalirkan gas dari ozon generator kedalam tabung berisi KI dengan penambahan Asam Sulfat 0,005M. Pada proses Iodometri jumlah ozon yang terperangkap sebanding dengan pembentukan *Iodine*. Reaksi pembentukan *Iodine* adalah sebagai berikut :



6. Dilakukan proses titrasi menggunakan Sodium Tiosulfat 0,015N dengan reaksi kimia sebagai berikut :



Titrasi dihentikan ketika terjadi titik kesetimbangan yaitu saat warna larutan berubah dari biru tua menjadi jernih. Penyamaan massa molekul relatif antara ozon dan Sodium Tiosulfat memberikan konstanta 24 (g/eq).

7. Penghitungan jumlah kandungan Ozon dengan persamaan

$$O_3 (mg) = 24 \left(\frac{mg}{meq} \right) \times \text{Vol } Na_2S_2O_3 (mL) \times \text{normalitas } \left(\frac{meq}{mL} \right) \quad (3.5)$$

3.8 Pengujian Osilator

Osilator yang digunakan dalam pembuatan generator ozon ini diuji dengan menggunakan Osiloskop Digital Yokogawa DL-1640. Diharapkan osilator bekerja sesuai perhitungan.

3.9 Pengujian Sumber Tegangan

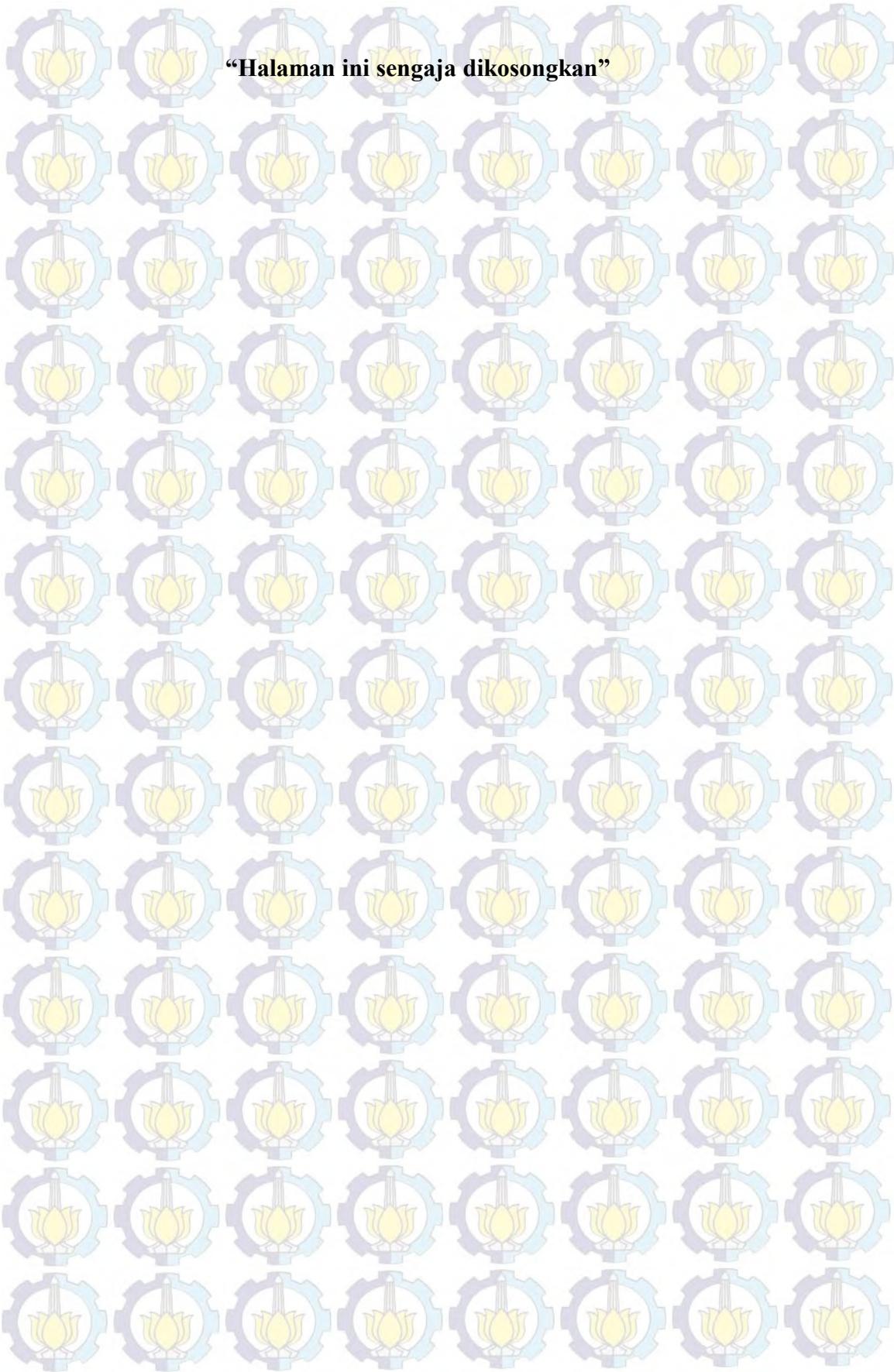
Sumber tegangan tinggi yang digunakan dalam pembuatan generator ozon akan diuji dengan menggunakan Probe tegangan tinggi (HV 50 SANWA Probe) dan Multimeter tegangan tinggi Sanwa ZX 505.

3.10 Pengujian Kadar Polutan

Kadar polutan pada saat sebelum diproses kedalam Generator Ozon dan setelah diproses dengan Generator Ozon diukur dengan menggunakan Stargas 898 *Gas Analyzer* seperti Gambar 3.6 yang berada di Unit Pelaksana Teknis K3 Surabaya.



Gambar 3.6 Stargas 898 *Gas Analyzer*



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

1.1. Sumber Tegangan

Sumber tegangan yang digunakan pada Generator Ozon meliputi beberapa bagian. Awalnya *power supply* Sanfix SP-305E digunakan sebagai sumber awal yang kemudian masuk dalam rangkaian osilator. Hasil dari rangkaian osilator adalah tegangan dengan bentuk signal kotak dengan frekuensi 11.9 KHz sampai dengan 500 KHz dan diteruskan ke MOSFET IRF 3205. Kemudian dihubungkan dengan kumparan primer trafo *Flyback* dan sumber tegangan siap digunakan. Pada osilator, frekuensi signal dapat dinaikkan dan diturunkan. Namun frekuensi yang sering digunakan adalah 11,9KHz. Sumber tegangan tidak dapat dioperasikan pada daya yang tinggi karena Mosfet memiliki batasan suhu maksimal. Kumparan primer pada Trafo *Flyback* dibuat sendiri, sedangkan kumparan sekunder menggunakan kumparan yang telah ada dalam trafo.

Berikut data pengukuran daya masuk, frekuensi dan tegangan output yang terhubung dengan elektroda generator ozon pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Tegangan pada Pembangkit Tegangan Tinggi

No	Power Supply Sanfix SP-305E			Frekuensi Output (KHz)	Tegangan Output (KV)
	Arus (A)	Tegangan (V)	Daya		
1	1,02	13,6	13,87	11,90	13,90
2	0,68	13,6	9,25	15,63	9,50
3	1,10	13,6	14,96	20,83	13,70
4	0,54	13,6	7,34	31,25	20,50
5	1,29	17,7	22,83	11,90	22
6	0,90	17,7	15,93	15,63	15
7	1,44	17,7	25,49	20,83	20
8	0,94	17,7	16,64	31,25	37,90

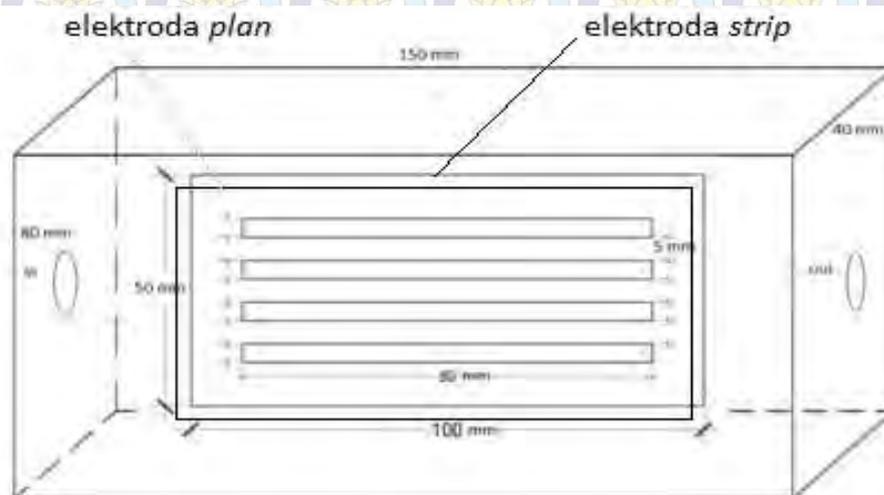
Berdasarkan Tabel 4.1 maka terlihat setiap kenaikan tegangan primer pada Trafo *Flyback* diikuti dengan kenaikan tegangan *output* sekunder Trafo *Flyback*. Hal ini sesuai dengan prinsip dasar transformator *step up* dan daya yang didapatkan adalah hasil kali tegangan dan arus pada kumparan primer.

1.2. Produksi Ozon pada Beberapa Elektroda

1.2.1. Kadar Ozon pada Elektroda *Strip-Plane*

Pada Gambar 4.1. Reaktor Ozon elektroda *strip-plane*, plasma sukar terbentuk dan timbul *spark*. *Spark* muncul hanya pada beberapa bagian saja dari elektroda karena jarak antara dua elektroda tidak seluruhnya homogen meskipun hanya dalam kisaran mm. *Spark* timbul karena jarak antara dua elektroda terlalu jauh dan daya power supply terlalu besar. Namun jika daya dikecilkan tidak terjadi lucutan elektron, sehingga elektroda jenis ini kurang tepat untuk digunakan sebagai elektroda generator ozon.

Pada elektroda *strip-plane* dilakukan beberapa variasi dengan jumlah *strip*-nya. Terdiri dari 3 elektroda dengan jumlah *strip* dua, tiga dan empat. Tentunya elektroda yang lebih banyak *strip* memiliki bagian tepi yang lebih banyak. Namun posisi kedua elektroda sangat mempengaruhi plasma yang terbentuk.

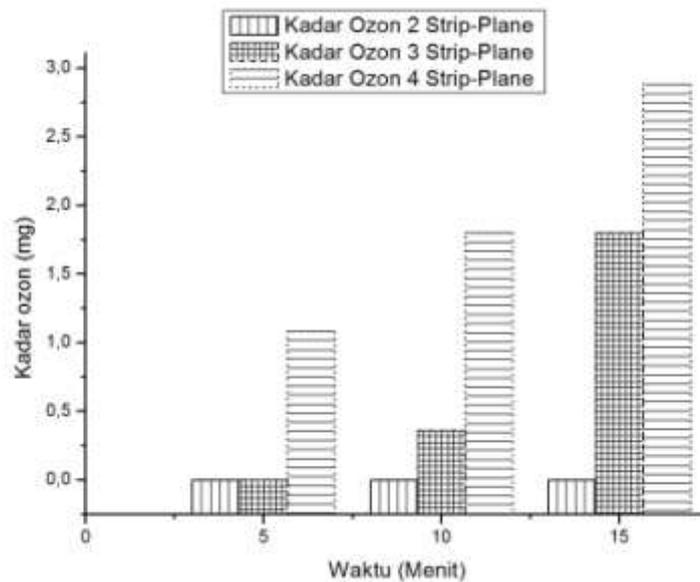




(b)

Gambar 4.1. Reaktor Ozon elektroda *strip-plane*

Elektroda *Strip-plane* dibuat dari dua lempeng tembaga dengan lempeng pertama berupa tembaga persegi panjang kecil dan bagian kedua berupa persegi panjang besar. Variasi dilakukan pada jumlah elektroda persegi panjang kecil. Elektroda dipisahkan dengan jarak 1 cm yang dihubungkan dengan tegangan tinggi. Elektroda ditempatkan dalam balok kecil terbuat dari akrilik yang dilubangi kedua sisinya untuk jalan udara keluar dan masuk reaktor. Berikut hasil pengukuran Ozon pada model elektroda *strip-plane* pada Gambar 4.2.



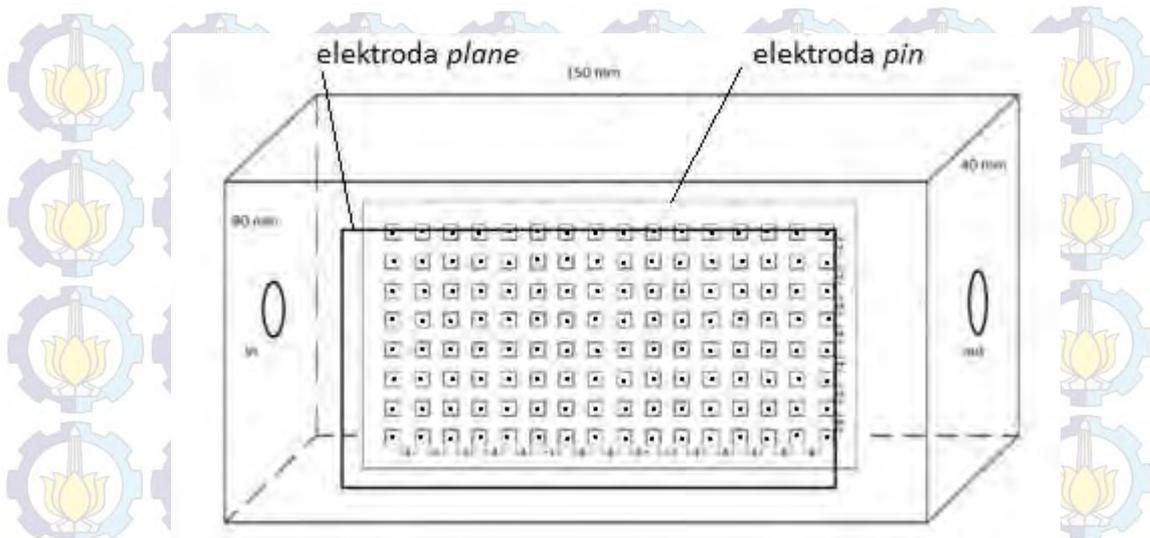
Gambar 4.2 Kadar Ozon pada elektroda *Strip-Plane*

Pada dasarnya medan listrik pada sepasang elektroda besarnya semakin kecil jika jarak kedua elektroda semakin jauh dengan contoh elektroda garis bidang (Srivastava and Prasad 2014). Sehingga semakin luas pasangan elektroda

maka medan listriknya semakin kuat. Pada penelitian ini digunakan beberapa jenis elektroda untuk membuat generator Ozon. Salah satunya adalah elektroda *Strip-Plane* digunakan dalam penelitian ini seperti pada Gambar 4.1. Pada elektroda *Strip-Plane* dengan dielektrikum udara pola lucutan cenderung terjadi *spark* pada bagian tepi, *spark* yang timbul bergerak antara elektroda *Strip* dan bagian lempengan tembaga sebagai *plane*. Daya masukkan kumparan primer 17,44 W sudah mampu menimbulkan *spark* dan lucutan elektron mampu bertumbukan dengan molekul gas dalam reaktor. Berdasarkan hasil eksperimen diketahui bahwa elektroda *Strip-Plane* menghasilkan Ozon yang lebih tinggi ketika jumlah garisnya lebih banyak. Namun ada beberapa kendala pada pemasangan elektroda yang tidak bisa presisi 100% jarak antara kedua elektroda.

1.2.2. Kadar Ozon pada Elektroda *Pin-Plane*

Pada Gambar 4.3 Elektroda *Pin-Plane* terdapat 128 *pin* yang berinteraksi dengan bidang tembaga. Jarak antara kedua bidang adalah 1 cm. Jarak ini diatur sedemikian rupa sehingga plasma dapat timbul dan *spark* tidak dapat timbul. Karena yang diharapkan hanya plasma sedangkan *spark* dihindari. Udara dipompa ke dalam Generator Ozon dan akan berinteraksi dengan tegangan tinggi pada elektroda. Elektroda bidang memiliki ukuran $5 \times 10 \text{ cm}^2$ sehingga dapat mencakup luasan elektroda dengan 128 *pin*. Dengan ini diharapkan semua elektroda titik berhadapan dengan elektroda tembaga yang berbentuk bidang. Udara yang masuk kedalam reaktor kemudian keluar menuju larutan KI untuk melakukan penangkapan Ozon yang dihasilkan.



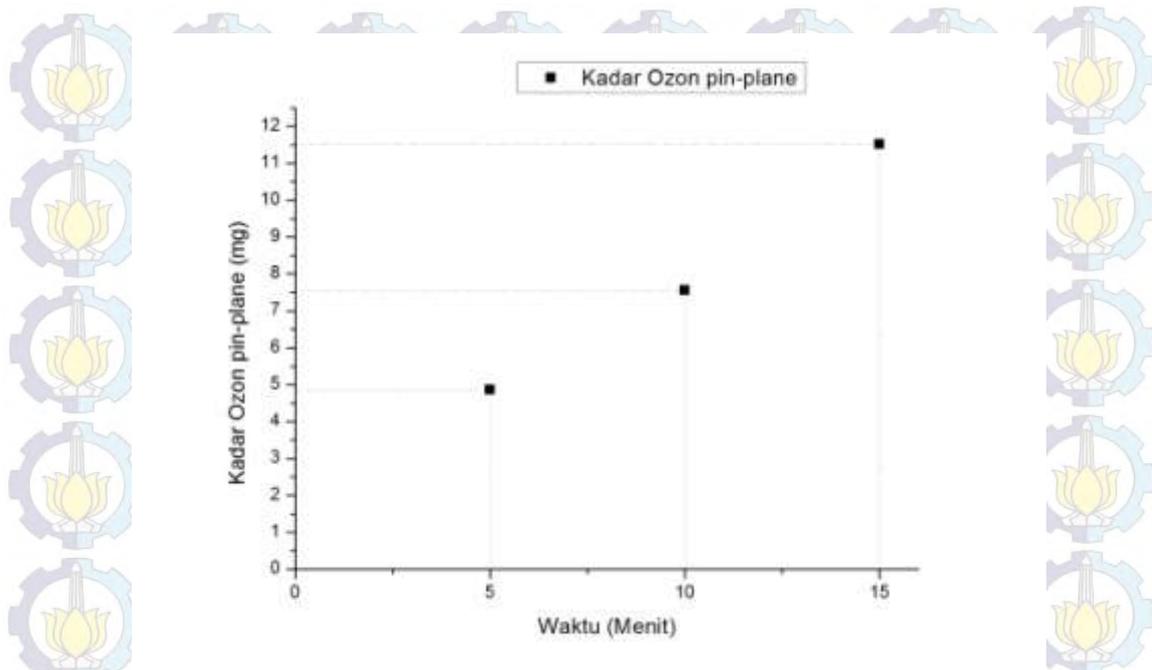
(a)



(b)

Gambar 4.3 Elektroda *Pin-Plane* Generator Ozon

Ozon dialirkan dan akan terperangkap kedalam larutan KI, sehingga kandungan Ozon dalam KI bisa dihitung dengan proses Titrasi. Pada elektroda ini diperlukan daya tertentu dari sumber untuk mendapatkan plasma yang maksimal. Hasil kadar Ozon elektroda *Pin-Plane* yang diperoleh dengan titrasi ditunjukkan pada Gambar 4.4.

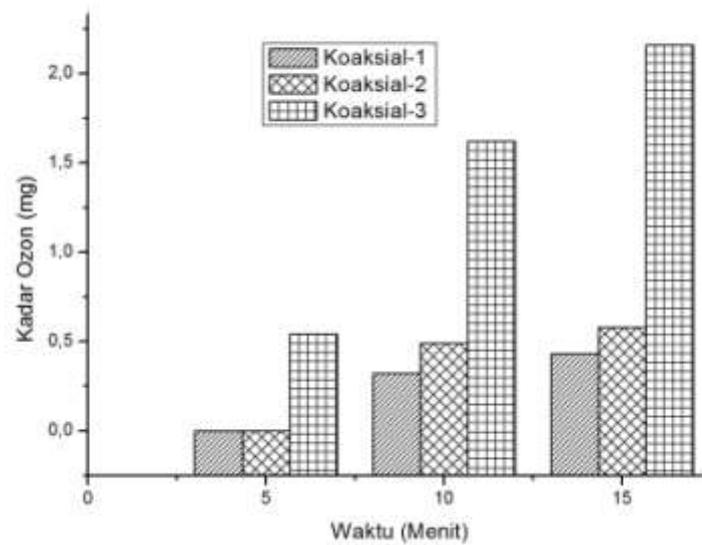


Gambar 4.4 Hasil kadar Ozon elektroda *Pin-plane*

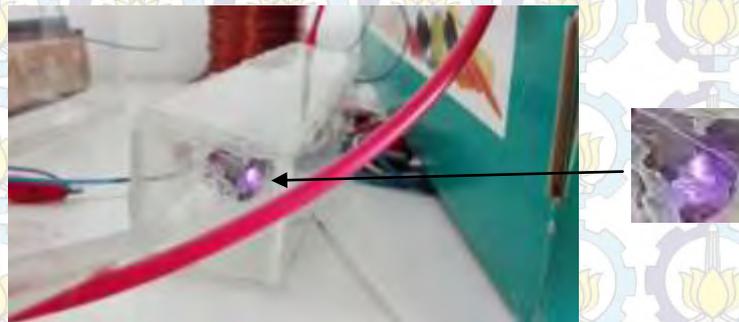
Pada elektroda *Pin-Plane* berdasarkan pengukuran kadar Ozon dengan titrasi menghasilkan Ozon paling tinggi. Elektroda *Pin-Plane* lebih mudah terjadi plasma karena semua elektron terkumpul pada satu titik yakni bagian paling runcing. Pola medan elektroda *Pin-Plane* dari satu titik menyebar ke bagian bidang tembaga (Ieta, Kucerovsky, and Greason 2008). Pola plasma yang terbentuk hampir menyerupai kerucut, runcing pada bagian titik dan melebar bagian lempengan tembaga seperti pada gambar 4.3b (Krähling et al. 2015). Jarak antara kedua elektroda harus diperhitungkan dengan daya listrik yang digunakan sehingga menghasilkan plasma tanpa *spark*. Plasma yang besar akan menimbulkan banyak tumbukan antara elektron dengan molekul yang masuk kedalam reaktor.

1.2.3. Kadar Ozon pada Elektroda Koaksial dengan Dielektrikum Udara

Pengujian pada elektroda ini banyak terjadi *spark* terutama bagian pinggiran dari elektroda. Daya yang dibutuhkan juga sangat rendah tetapi Ozon yang terbentuk terlalu kecil seperti Gambar 4.5. Pola lucutan elektron reaktor Ozon dengan dielektrikum udara ditunjukkan pada Gambar 4.6.



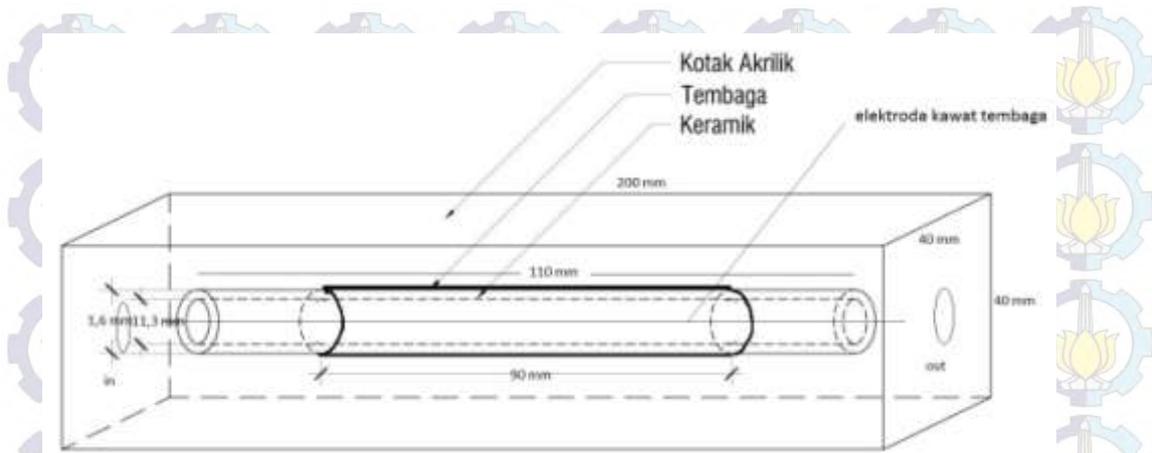
Gambar 4.5 Kadar Ozon Elektroda Koaksial



Gambar 4.6 Pola lucutan elektron pada reaktor Ozon dengan elektroda Koaksial dielektrikum udara

1.2.4. Kadar Ozon pada elektroda Koaksial dengan dielektrikum keramik dan kaca

Elektroda koaksial dengan dielektrikum keramik dan kaca dibuat dengan elektroda kawat tembaga dan elektroda lembaran tembaga dengan ditambah silinder keramik diantara kedua elektroda seperti pada Gambar 4.7. Kawat sebagai elektroda bagian dalam dan tembaga yang menutupi kawat berbentuk silinder menghasilkan medan listrik saat dialiri listrik dengan tegangan tinggi. Medan listrik antara elektroda ini akan mempercepat elektron bebas dan akan bertumbukan dengan molekul udara bebas dan dapat membentuk senyawa netral jangka pendek maupun jangka panjang.



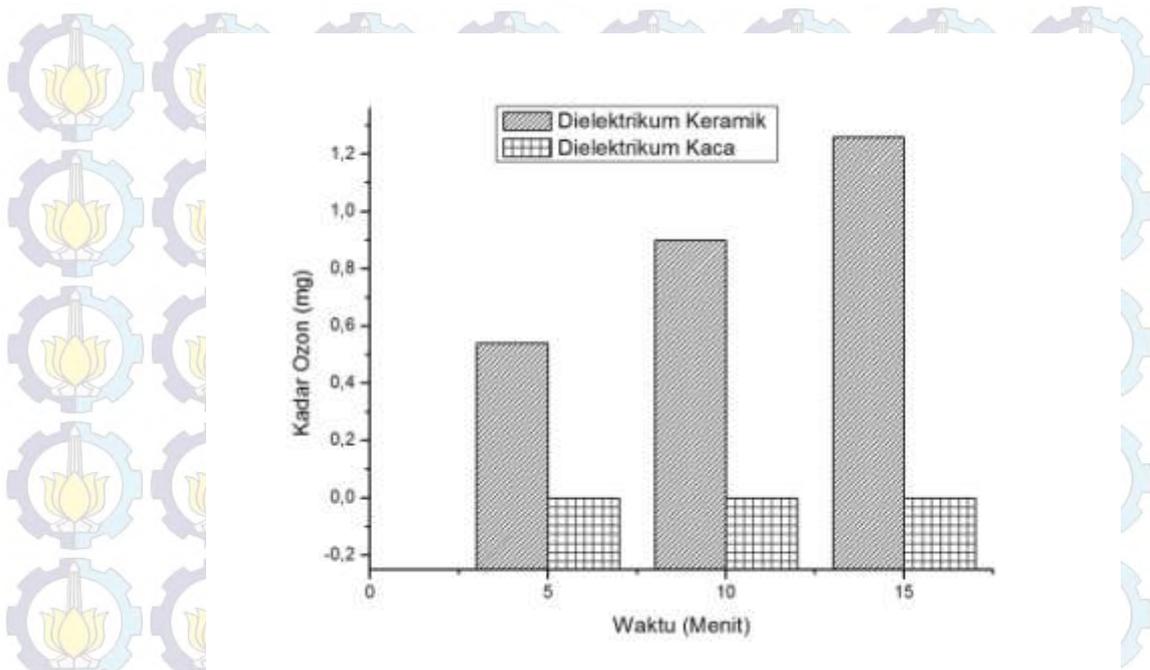
(a)



(b)

Gambar 4.7 Reaktor Ozon Elektroda Koaksial dengan dielektrikum

Reaktor diuji dengan menggunakan metode titrasi yang dilakukan pada dua jenis elektroda koaksial. Hasil dari pengukuran Ozon dengan cara titrasi ditunjukkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Hasil Ozon dengan Elektroda Koaksial dengan dielektrikum Kaca dan Keramik

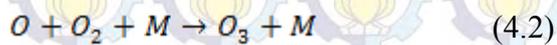
Elektroda koaksial secara garis besar dibagi menjadi dua yakni elektroda dengan dielektrikum udara dan dielektrikum keramik kaca. Elektroda koaksial dengan dielektrikum udara pola lucutan yang terjadi mirip dengan pola lucutan elektron elektroda garis bidang. *Spark* banyak terjadi pada bagian ujung elektroda kawat dengan bagian elektroda bidang sedangkan posisi *spark* berubah – ubah antara kedua elektroda. Namun pada elektroda koaksial dengan dielektrikum keramik lebih banyak menghasilkan Ozon daripada dielektrikum kaca. Hal ini terjadi karena porositas dan pengkutuban pada dielektrikum yang menyebabkan muatan positif menuju medan listrik negatif dan sebaliknya.

1.3. Produksi Ozon Variasi Elektroda

Elektron yang berada pada medan listrik akan dipercepat dan mengakibatkan tumbukan dengan molekul gas yang melewati generator ozon (Malik, Schoenbach, and Heller 2014a). Hal ini terjadi pada peristiwa tumbukan elektron berenergi tinggi dengan gas Oksigen, seperti reaksi 4.1.



Elektron dengan *star* pada reaksi 4.1 menunjukkan bahwa elektron tersebut berada pada keadaan energi tinggi. Pada reaksi tersebut molekul Oksigen pecah menjadi unsur Oksigen. Setiap elektroda menghasilkan jumlah ozon yang berbeda. Hal ini terkait dengan pola lucutan dan spark yang terbentuk. Medan listrik yang terjadi pada setiap elektroda berbeda. Lucutan elektron sangat mudah terjadi pada bagian - bagian yang runcing dan kecil. Udara bebas yang mengandung Oksigen berinteraksi dengan elektron yang dipercepat oleh medan listrik. Reaksi kimia kemudian terjadi lagi antara unsur Oksigen dengan gas Oksigen dan bagian udara lain (M) yang bisa bertumbukan dengan reaksi 4.2.



Reaksi tersebut menunjukkan bahwa pembentukan Ozon melalui beberapa proses. Elektroda *Pin-Plane* menghasilkan Ozon yang paling tinggi diantara elektroda yang lain. Terbukti bahwa elektroda titik bidang lebih potensial dalam pembentukan plasma dan sedikit terjadi *spark*. Namun pada eksperimen harus diatur daya dan jarang pada elektroda sehingga tidak timbul *spark* dan menghasilkan banyak Ozon. Dielektrikum keramik cukup sulit untuk ditembus pori – porinya pada proses produksi ozon.

1.4. Pengujian Kandungan Udara

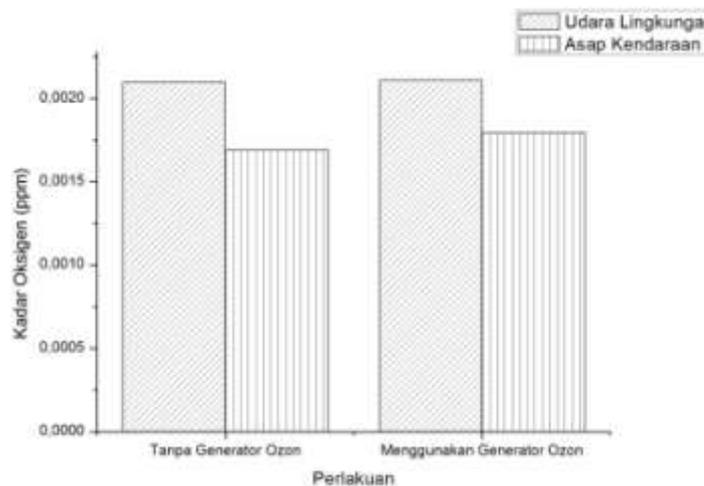
Pengujian kandungan gas yang dilakukan meliputi pengujian kadar Oksigen, pengujian kadar Karbonmonoksida, pengujian Karbondioksida dan pengujian kadar Hidro Karbon. Pengujian ini dilakukan di Unit Pelaksana Teknis Keselamatan dan Kesehatan Kerja Surabaya. Pengujian dilakukan bersama petugas dengan menggunakan Stargas gas *analyzer*. Alat ini mampu mengukur Oksigen, Karbondioksida, Karbonmonoksida dan Hidro Karbon secara bersamaan. Alat ini mampu menyedot udara pada reaktor ozon sehingga tidak diperlukan lagi pompa untuk mengalirkan udara.

Pengukuran kadar udara hanya diperuntukkan pada jenis elektroda titik bidang karena jenis ini menghasilkan gas ozon paling besar berdasarkan hasil penelitian ini. Pengukuran dilakukan dua hari berturut – turut, pada hari Pertama

menggunakan udara bebas dan hari Kedua menggunakan asap kendaraan bermotor.

1.4.1. Pengujian Kadar Oksigen

Uji kadar Oksigen dilakukan di UPT K3 Surabaya dilakukan 4 kali dalam dua hari. Pada hari Pertama dilakukan uji Oksigen pada udara bebas tanpa melewati reaktor ozon, kemudian menggunakan udara bebas yang dilewatkan reaktor ozon. Pada hari Kedua dilakukan uji Oksigen baik melewati reaktor ozon dan tanpa reaktor ozon tetapi dengan memasukkan udara dari knalpot sepeda motor. Udara diuji dengan memasukkan kedalam gas *analyzer* dan kadar Oksigen bisa terbaca dengan variasi gas masukan yang berbeda – beda. Hasil pengukuran gas Oksigen ditunjukkan pada Gambar 4.9.



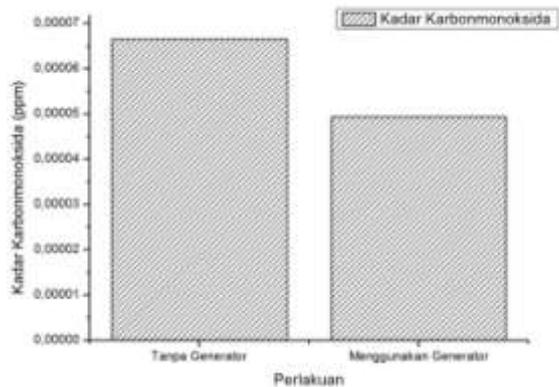
Gambar 4.9 Hasil pengukuran Kadar Oksigen

Pengukuran kadar Oksigen baik dengan udara bebas maupun gas buang kendaraan bermotor menunjukkan adanya kenaikan. Hal ini disebabkan adanya penguraian ozon hasil dari generator menjadi gas Oksigen karena ozon tidak stabil (Malik, Schoenbach, and Heller 2014a). Pada generator ozon dengan adanya penguraian dan pembentukan, maka menunjukkan bahwa generator ozon dapat menghasilkan atom dan molekul yang aktif.

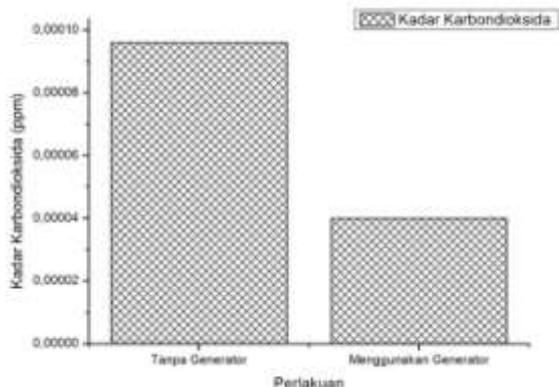
1.4.2. Pengujian kadar Polutan (CO₂, CO, HC)

Uji Karbon Monoksida dilakukan pada asap kendaraan bermotor dengan dua variasi, yakni tanpa melewati Generator ozon dan melewati Generator ozon. Asap kendaraan bermotor pada pembuangan masuk ke Generator ozon melalui selang, kemudian *gas analyzer* menyedot udara dalam Generator dan diukur dengan *Star gas Analyzer*. Hasil pengukuran gas Karbonmonoksida ditunjukkan pada Gambar 4.10. Terlihat ketika gas melewati Generator Ozon kandungan CO berkurang jika dibanding tanpa melalui Generator Ozon. Sedangkan pada penelitian sebelumnya dengan fokus penurunan kadar SO₂ dan NO₂ seperti Gambar 4.12 masih menimbulkan kenaikan kadar CO yang signifikan sampai 30ppm lebih (Obradović, Sretenović, and Kuraica 2011). Pada penelitian yang sama Gambar 4.13 menunjukkan bahwa kenaikan CO₂ akan menyebabkan kadar CO meningkat. Hal ini disebabkan karena CO adalah salah satu hasil dari dekomposisi CO₂ saat bereaksi dengan Ozon.

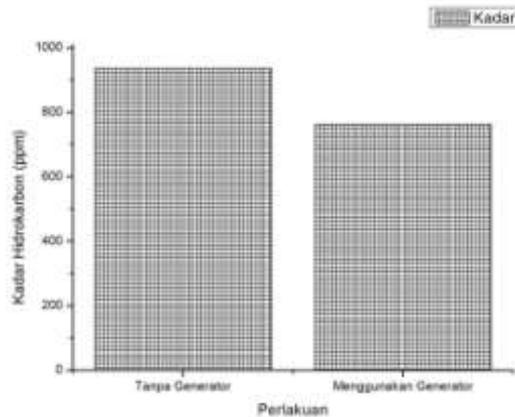
Pengukuran Karbondioksida dilakukan sebagaimana pengukuran Karbonmonoksida dengan menggunakan *Gas Analyzer*. *Gas Analyzer* menyedot gas baik dengan melalui Generator Ozon maupun tanpa melalui Generator Ozon. Udara kemudian masuk *Gas Analyzer* dan nilai kadar Karbondioksida terbaca dengan hasil pada Gambar 4.10. Kadar Karbondioksida mengalami penurunan berdasarkan penilitan ini. Hal ini memiliki korelasi dengan penurunan Karbonmonoksida terkait dengan proses dekomposisi Karbondioksida menjadi Karbonmonoksida. Karbondioksida bereaksi dengan Ozon yang terbentuk dari Generator.



(a)



(b)



(c)

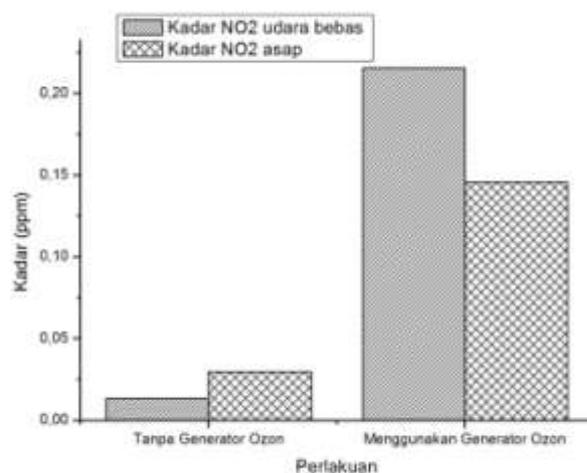
Gambar 4.10 Hasil pengukuran kadar polutan (a) Karbonmonoksida, (b) Karbondioksida, (c) Hidrokarbon

Pengujian Hidrokarbon dilakukan hanya pada udara asap kendaraan bermotor. Asap kendaraan bermotor masuk reaktor Ozon kemudian masuk ke dalam *Gas Analyzer*. Hasil pengukuran Hidrokarbon ditunjukkan pada Gambar 4.10. Berdasarkan data gas polutan yang masuk kedalam reaktor Ozon mengalami penurunan. Reaksi 4.1, 4.2 dan 4.3 menunjukkan bahwa Ozon dapat terbentuk dari tumbukan elektron, salah satunya dengan gas Oksigen.

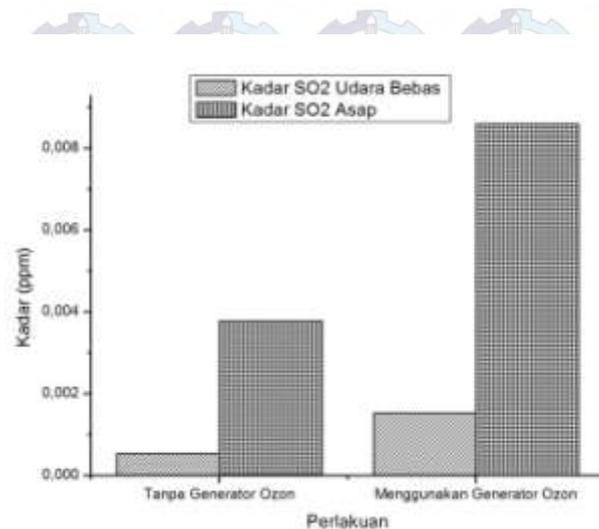
1.5. Hasil Uji NO₂ dan SO₂

Pengukuran NO₂ dan SO₂ dilakukan di Unit Pelaksana Teknis Keselamatan dan Kesehatan Kerja Surabaya. Pengukuran NO₂ dan SO₂ dilakukan dengan menggunakan bahan absorber. Gas dialirkan kedalam absorber cair selama 30 menit dengan estimasi gas yang mengalir adalah 30 L. Pengujian diawali dengan pengukuran laju aliran gas yang terhubung dengan pompa untuk memastikan laju aliran udara adalah 1 L per menit.

Pengukuran dilakukan dengan menghubungkan selang *in* pada reaktor Ozon dengan knalpot kendaraan bermotor dan udara bebas. Kemudian selang *out* dari reaktor dihubungkan pada gelas yang berisi absorber, sehingga absorber dapat menyerap jenis gas yang diukur. Hasil pengukuran gas NO₂ ditunjukkan pada Gambar 4.11.



(a)



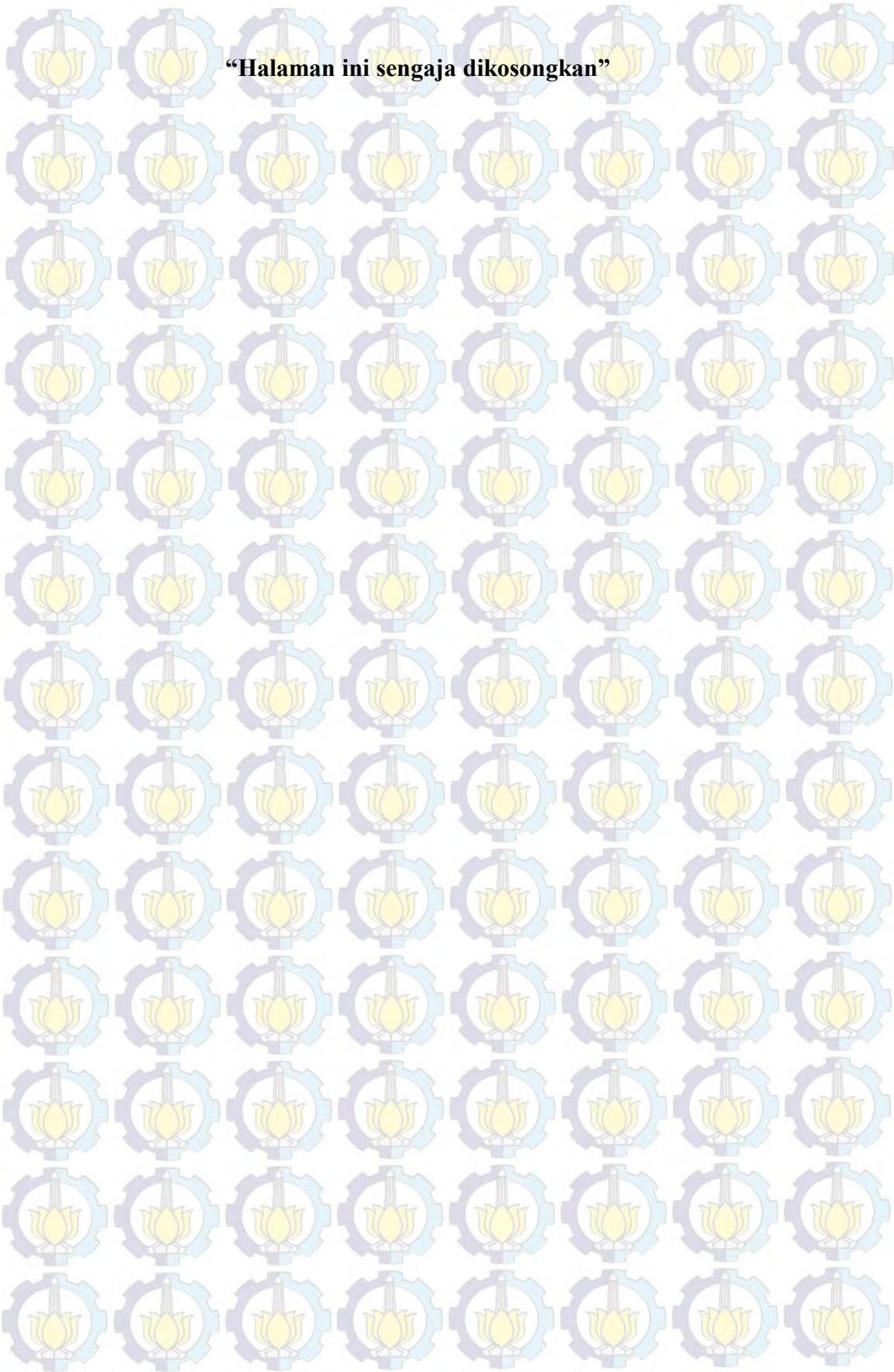
(b)

Gambar 4.11 (a)Kadar NO₂, (b)Kadar SO₂

Berdasarkan Gambar 4.11 maka diketahui bahwa NO tidak bisa hilang seketika saat direaksikan dengan Ozon (Malik, Schoenbach, and Heller 2014a). Begitu juga dengan SO₂, tidak bisa serta merta hilang saat melewati Generator Ozon.

Pengukuran kadar SO₂ dilakukan pada dua sumber udara dan dua perlakuan yakni dengan menggunakan Generator Ozon dan tanpa Generator Ozon dan hasil ditunjukkan pada Gambar 4.11. Polutan SO₂ dan NO₂ tidak bisa tereduksi secara langsung dengan reaktor Ozon berdasarkan Gambar 4.11. Nilai NO₂ pada Gambar 4.11 mengalami kenaikan 0,2 ppm untuk sumber udara bebas dan 0,1 ppm untuk sumber asap kendaraan bermotor.

Sehingga kenaikan kadar SO₂ pada penelitian ini bisa dikatakan tidak dipengaruhi oleh Ozon yang terbentuk pada Generator (Obradović, Sretenović, and Kuraica 2011). Faktanya kenaikan kadar SO₂ pada penelitian ini sangatlah kecil yaitu 0,001 ppm untuk sumber udara bebas dan 0,005 untuk sumber asap kendaraan bermotor jika dibandingkan dengan Peraturan Pemerintah Nomor 41 Tahun 1999 bahwa baku mutu SO₂ adalah 0,34 ppm.



BAB V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

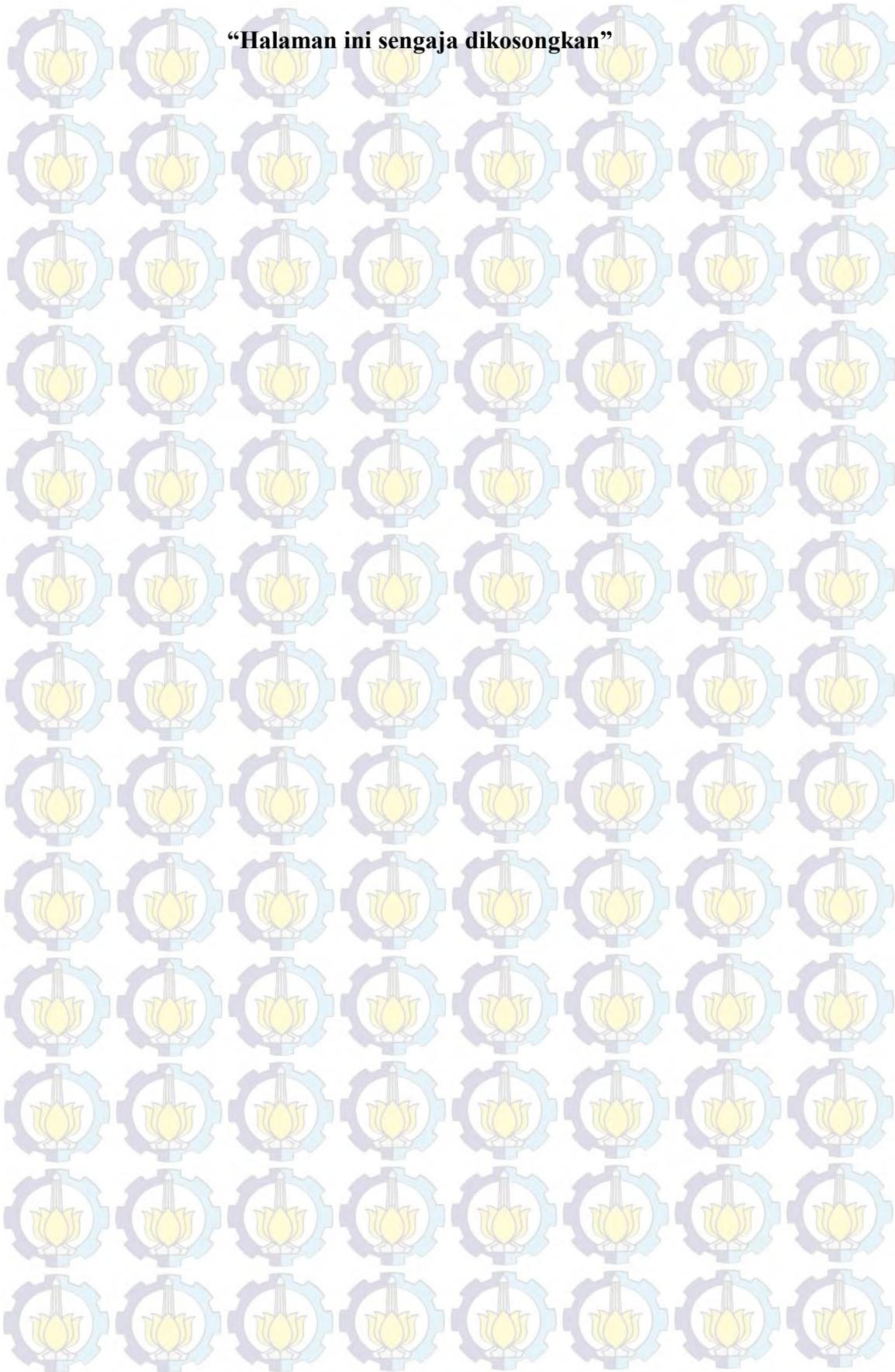
Berdasarkan penelitian produksi ozon yang telah dilakukan dan analisa data yang telah diperoleh, maka dapat diambil beberapa kesimpulan yakni :

1. Generator ozon dengan elektroda *4Strip plane* dalam waktu 15 menit menghasilkan 2,87 mg ozon terlarut sedangkan elektroda koaksial diameter 3cm menghasilkan 2,17 mg ozon terlarut.
2. Elektroda yang paling besar menghasilkan Ozon adalah jenis titik bidang dengan jumlah titik 128 buah dengan kadar Ozon maksimal 11,52 mg.
3. Reduksi polutan berhasil dilakukan pada elektroda titik bidang dengan proses reaksi Oksidasi. Elektroda ini dipilih karena memiliki kemampuan menghasilkan Ozon Terbesar. Nilai presentase pengurangan polutan adalah CO₂ berkurang 58,33 %, CO berkurang 25,86 % dan HC berkurang 18,59 %.
4. NO₂ dan SO₂ mengalami kenaikan sebagai hasil *spark* yang identik dengan pembakaran. Kenaikan NO₂ pada udara bebas adalah 0,2 ppm sedangkan pada asap kendaraan bermotor 0,12 ppm. Kenaikan kadar SO₂ berturut – turut pada udara bebas dan asap kendaraan adalah 0,001 ppm dan 0,005 ppm.

5.2 Saran

Penelitian selanjutnya yang diperlukan adalah penerapan Generator Ozon yang tepat guna dengan disertai analisis yang lebih lengkap. Analisis yang lebih detail pada pembentukan Ozon menggunakan beberapa elektroda dan mencari elektroda paling efisien diperlukan untuk penelitian selanjutnya. Perlu analisis secara kimiawi pada NO_x dan SO_x lebih lanjut.

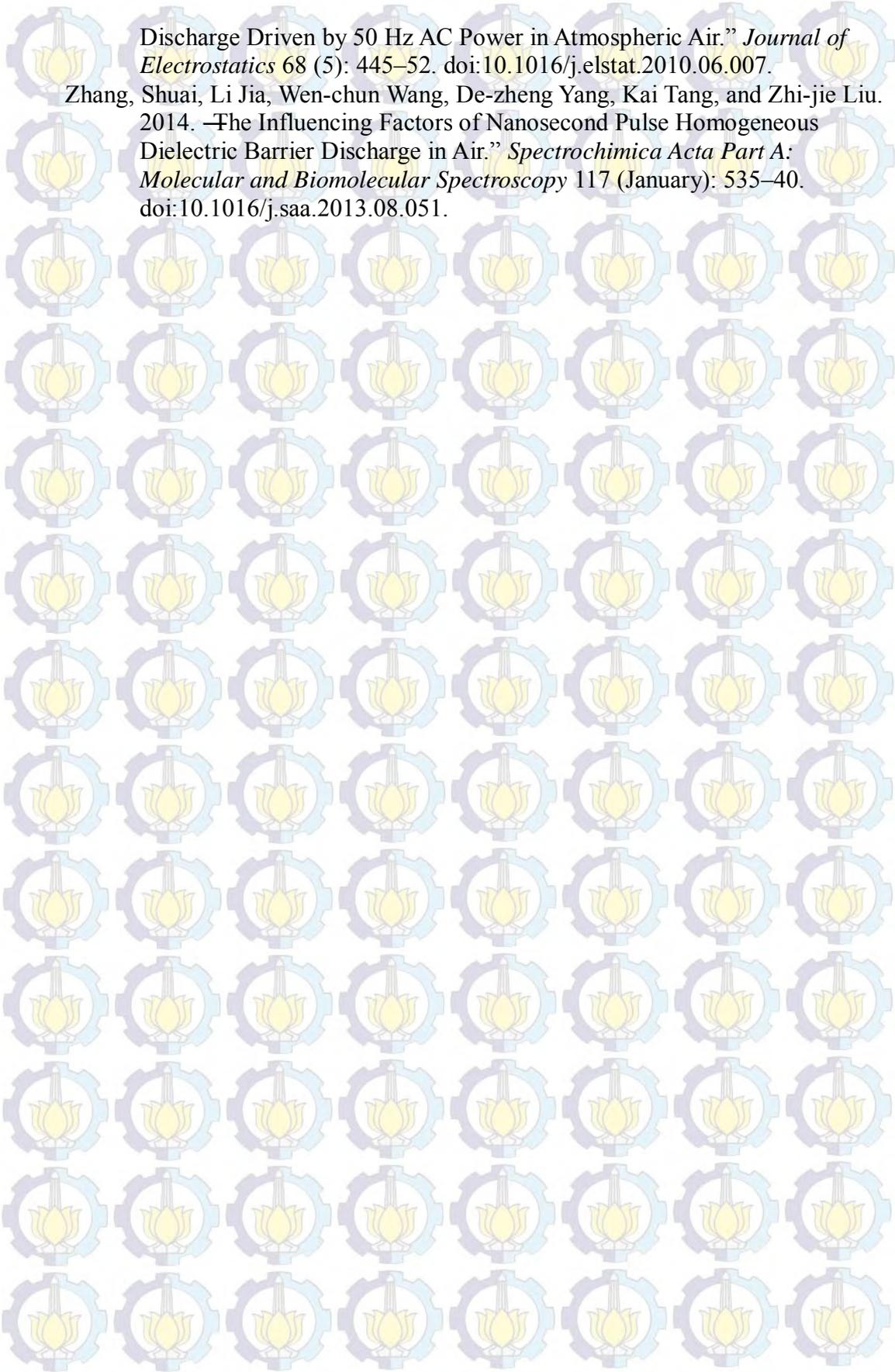
“Halaman ini sengaja dikosongkan”



DAFTAR PUSTAKA

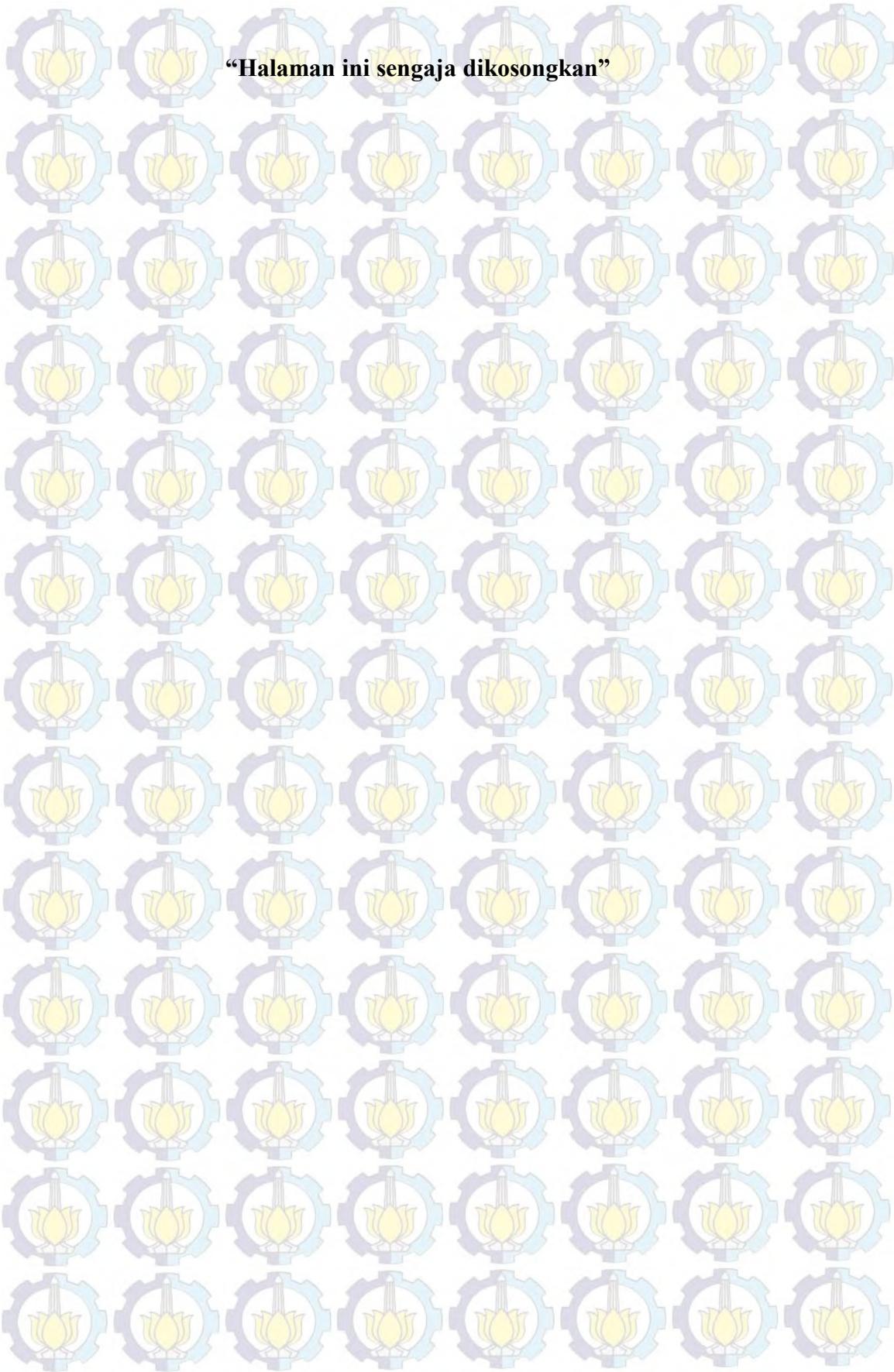
- Dobrot, Marina, Natasa Petrovic, Marko Cirovic, and Veljko Jeremic. 2013. –Measuring and Evaluating Air Pollution Per Inhabitant: A Statistical Approach.” *APCBEE Procedia*, 4th International Conference on Environmental Science and Development- ICESD 2013, 5: 33–37. doi:10.1016/j.apcbee.2013.05.007.
- Facta, M., Z. Salam, A. Jusoh, and Z. Bin Buntat. 2008. –Improvement in Ozone Generation with Low Voltage High Frequency Power Converters.” In *Power and Energy Conference, 2008. PECon 2008. IEEE 2nd International*, 1446–50. doi:10.1109/PECON.2008.4762704.
- Gillespie, Alexander. 2005. *Climate Change, Ozone Depletion and Air Pollution: Legal Commentaries with Policy and Science Considerations*. Leiden ; Boston: Brill Academic Pub.
- Hijosa-Valsero, María, Ricardo Molina, Hendrik Schikora, Michael Müller, and Josep M. Bayona. 2013. –Removal of Priority Pollutants from Water by Means of Dielectric Barrier Discharge Atmospheric Plasma.” *Journal of Hazardous Materials* 262 (November): 664–73. doi:10.1016/j.jhazmat.2013.09.022.
- Ieta, Adrian C., Zdenek Kucеровsky, and William D. Greason. 2008. –Current Density Modeling of a Linear Pin–plane Array Corona Discharge.” *Journal of Electrostatics* 66 (11–12): 589–93. doi:10.1016/j.elstat.2008.06.008.
- Kim, Hyun-Joo, Hae In Yong, Sanghoo Park, Kijung Kim, Tae Hoon Kim, Wonho Choe, and Cheorun Jo. 2014. –Effect of Atmospheric Pressure Dielectric Barrier Discharge Plasma on the Biological Activity of Naringin.” *Food Chemistry* 160 (October): 241–45. doi:10.1016/j.foodchem.2014.03.101.
- Krähling, Tobias, Sebastian Geisler, Michael Okruss, Stefan Florek, and Joachim Franzke. 2015. –Spectroscopic Measurements of the Electron Number Density, Electron Temperature and OH(A) Rotational Distribution in a Liquid Electrode Dielectric Barrier Discharge.” *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy* 114 (December): 20–26. doi:10.1016/j.sab.2015.09.018.
- Kriegeeis, Jochen, Benjamin Möller, Sven Grundmann, and Cameron Tropea. 2011. –Capacitance and Power Consumption Quantification of Dielectric Barrier Discharge (DBD) Plasma Actuators.” *Journal of Electrostatics* 69 (4): 302–12. doi:10.1016/j.elstat.2011.04.007.
- Kumar, Prashant, Lidia Morawska, Claudio Martani, George Biskos, Marina Neophytou, Silvana Di Sabatino, Margaret Bell, Leslie Norford, and Rex Britter. 2015. –The Rise of Low-cost Sensing for Managing Air Pollution in Cities.” *Environment International* 75 (February): 199–205. doi:10.1016/j.envint.2014.11.019.
- Malik, Muhammad Arif, Karl H. Schoenbach, and Richard Heller. 2014a. –Coupled Surface Dielectric Barrier Discharge Reactor-ozone Synthesis and Nitric Oxide Conversion from Air.” *Chemical Engineering Journal* 256 (November): 222–29. doi:10.1016/j.cej.2014.07.003.
- . 2014b. –Coupled Surface Dielectric Barrier Discharge Reactor-ozone

- Synthesis and Nitric Oxide Conversion from Air.” *Chemical Engineering Journal* 256 (November): 222–29. doi:10.1016/j.cej.2014.07.003.
- O’Donnell, Colm, Brijesh K. Tiwari, P. J. Cullen, and Rip G. Rice. 2012. *Ozone in Food Processing*. 1 edition. Chichester, West Sussex ; Ames, Iowa: Wiley-Blackwell.
- Obradović, Bratislav M., Goran B. Sretenović, and Milorad M. Kuraica. 2011. –A Dual-use of DBD Plasma for Simultaneous NO_x and SO₂ Removal from Coal-combustion Flue Gas.” *Journal of Hazardous Materials* 185 (2–3): 1280–86. doi:10.1016/j.jhazmat.2010.10.043.
- Srivastava, A. K., and G. Prasad. 2014. –Characteristics of Parallel-plate and Planar-surface Dielectric Barrier Discharge at Atmospheric Pressure.” *Journal of Electrostatics* 72 (2): 140–46. doi:10.1016/j.elstat.2014.01.002.
- Storr, Wayne. 2016. –555 Oscillator Tutorial - The Astable Multivibrator.” *Basic Electronics Tutorials*. Accessed January 16. http://www.electronicstutorials.ws/waveforms/555_oscillator.html.
- Suksri, A., K. Karnchanalekha, K. Tonmitra, and P. Apiratikul. 2009. –A Comparative Study on Suitable High Voltage Sources for Ozone Generation.” In *6th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, 2009. ECTI-CON 2009*, 01:296–99. doi:10.1109/ECTICON.2009.5137012.
- Sung, T. -L., S. Teii, C. -M. Liu, R. -C. Hsiao, P. -C. Chen, Y. -H. Wu, C. -K. Yang, K. Teii, S. Ono, and K. Ebihara. 2013. –Effect of Pulse Power Characteristics and Gas Flow Rate on Ozone Production in a Cylindrical Dielectric Barrier Discharge Ozonizer.” *Vacuum*, Including rapid communications and original articles and Special section with papers from the Sixth Symposium on Vacuum-based Science and Technology 20-22 September, 2011, Kolobrzeg, Poland, 90 (April): 65–69. doi:10.1016/j.vacuum.2012.10.003.
- Torregrosa, G., A. Coves, C.P. Vicente, A.M. Perez, B. Gimeno, and V.E. Boria. 2006. –Time Evolution of an Electron Discharge in a Parallel-plate Dielectric-loaded Waveguide.” *IEEE Electron Device Letters* 27 (7): 619–21. doi:10.1109/LED.2006.877284.
- Wang, Changquan, Guixin Zhang, and Xinxin Wang. 2012. –Comparisons of Discharge Characteristics of a Dielectric Barrier Discharge with Different Electrode Structures.” *Vacuum*, Selected papers from the IUVSTA 18th International Vacuum Congress (IVC-18) held in Beijing, P.R.China, 23 - 27 August 2010, 86 (7): 960–64. doi:10.1016/j.vacuum.2011.06.027.
- Wei, L. -S., D. -K. Yuan, Y. -F. Zhang, Z. -J. Hu, and G. -P. Dong. 2014a. –Experimental and Theoretical Study of Ozone Generation in Pulsed Positive Dielectric Barrier Discharge.” *Vacuum* 104 (June): 61–64. doi:10.1016/j.vacuum.2014.01.009.
- _____. 2014b. –Experimental and Theoretical Study of Ozone Generation in Pulsed Positive Dielectric Barrier Discharge.” *Vacuum* 104 (June): 61–64. doi:10.1016/j.vacuum.2014.01.009.
- Zhang, Cheng, Tao Shao, Yang Yu, Zheng Niu, Ping Yan, and Yuanxiang Zhou. 2010. –Comparison of Experiment and Simulation on Dielectric Barrier



Discharge Driven by 50 Hz AC Power in Atmospheric Air.” *Journal of Electrostatics* 68 (5): 445–52. doi:10.1016/j.elstat.2010.06.007.

Zhang, Shuai, Li Jia, Wen-chun Wang, De-zheng Yang, Kai Tang, and Zhi-jie Liu. 2014. “The Influencing Factors of Nanosecond Pulse Homogeneous Dielectric Barrier Discharge in Air.” *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 117 (January): 535–40. doi:10.1016/j.saa.2013.08.051.



Lampiran 1. Pengukuran Kadar Ozon

Normalitas $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = 0.015 \text{ N}$

Molaritas KI = 0.15 M

No	Jenis Elektroda	Tegangan Primer (V)	Arus Primer (A)	Frekuensi (KHz)	Kandungan Ozon (mg)		
					5 menit	10 menit	15 menit
1	2 Strip-plane	14,3	1,22	11,9	0	0	0
2	3 Strip-plane	14,3	1,22	11,9	0	0,36	0,48
3	4 Strip-plane	14,3	1,22	11,9	1,07	1,79	2,87

No	Jenis Elektroda	Tegangan Primer (V)	Arus Primer (A)	Frekuensi (KHz)	Kandungan Ozon (mg)		
					5 menit	10 menit	15 menit
1	Koaksial 1	8,3	0,72	11,9	0	0,31	0,42
2	Koaksial 2	8,3	0,72	11,9	0	0,48	0,58
3	Koaksial 3	8,3	0,72	11,9	0,53	1,61	2,17

No	Jenis Elektroda	Tegangan Primer (V)	Arus Primer (A)	Frekuensi (KHz)	Kandungan Ozon (mg)		
					5 menit	10 menit	15 menit
1	Koaksial dielektrikum keramik	16,6	1,6	11,9	0,53	0,91	1,26
2	Koaksial dielektrikum kaca	8,3	0,72	11,9	0	0	0
3	Pin-plane	16,4	1,66	11,9	4,87	7,56	11,52

Lampiran 2 Perhitungan Ozon

Normalitas $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = 0.015 \text{ N}$

Molaritas KI = 0.15 M Volume = 100 mL

No	Jenis Elektroda	Durasi aliran Ozon (menit)	Titration (ml)			Rata - rata (ml)	Kandungan Ozon (mg)
			1	2	3		
1	2 Strip-Plane	5	0	0	0	0	0
		10	0	0	0	0	0
		15	0	0	0	0	0
2	3 Strip-Plane	5	0	0	0	0	0
		10	1	1	1	1	0,36
		15	1,4	1,3	1,3	1,33	0,48
3	4 Strip-Plane	5	3	2,9	3	2,97	1,07
		10	5	4,9	5	4,97	1,79
		15	8	7,9	8	7,97	2,87
4	Koaksial-1	5	0	0	0	0,00	0,00
		10	0,9	0,8	0,9	0,87	0,31
		15	1,2	1,2	1,1	1,17	0,42
5	Koaksial-2	5	0	0	0	0,00	0,00
		10	1,3	1,4	1,3	1,33	0,48
		15	1,6	1,6	1,6	1,60	0,58
6	Koaksial-3	5	1,5	1,4	1,5	1,47	0,53
		10	4,5	4,5	4,4	4,47	1,61
		15	6	6	6,1	6,03	2,17
7	Koaksial Dielektrikum Keramik	5	1,5	1,5	1,4	1,47	0,53
		10	2,5	2,5	2,6	2,53	0,91
		15	3,5	3,5	3,5	3,50	1,26
8	Koaksial Dielektrikum Kaca	5	0	0	0	0,00	0,00
		10	0	0	0	0,00	0,00
		15	0	0	0	0,00	0,00
9	Pin-Plane	5	13,5	13,5	13,6	13,53	4,87
		10	21	21	21	21	7,56
		15	32	32	32	32	11,52

Lampiran 3 Kadar Polutan

No	Jenis Gas	Sumber Udara	Tanpa Generator Ozon		Menggunakan Generator Ozon	
			Nilai	Satuan	Nilai	satuan
1	Oksigen	Udara Bebas	0,002097	ppm	0,00211	ppm
		Asap Kendaraan	0,001691	ppm	0,001796	ppm
2	CO ₂	Asap Kendaraan	0,000096	ppm	0,00004	ppm
3	CO	Asap Kendaraan	0,0000665	ppm	0,0000493	ppm
4	HC	Asap Kendaraan	936	ppm	762	ppm
5	NOx	Udara Bebas	0,0135	ppm	0,2154	ppm
		Asap Kendaraan	0,0297	ppm	0,1458	ppm
6	SOx	Udara Bebas	0,00053429	ppm	0,0015266	ppm
		Asap Kendaraan	0,00377821	ppm	0,0085868	ppm
7	Ox	Udara Bebas	0,0113	ppm	0,1467	ppm
		Asap Kendaraan	0,1222	ppm	0,2977	ppm

Lampiran 4 Generator Ozon



Gambar Generator Ozon dengan elektroda *Pin-Plane*



Gambar Generator Ozon dengan elektroda *Strip-Plane*



Gambar Generator Ozon dengan elektroda Koaksial

Lampiran 5 Administrasi Pengukuran di UPT K3 Surabaya



PEMERINTAH PROVINSI JAWA TIMUR
DINAS TENAGA KERJA, TRANSMIGRASI DAN KEPENDUDUKAN
UNIT PELAKSANA TEKNIS KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA
(UPT K3)

Jl. Dukuh Menanggal 122 Telpun 8280440, 8294490, Fax. 8294277 Surabaya 60234
Website : www.uptk3surabaya.dsnakertransduk.jatimprov.go.id
Email : admin@uptk3surabaya.dsnakertransduk.jatimprov.go.id

Form. 5.7-03
Terbitan / Revisi : 4 / 0

SURAT PERINTAH TUGAS

No. 094 / 1092 / 106/25 / 2015

- Dasar :
1. Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor : 06 Tahun 2009 tentang Laboratorium Lingkungan UPT Keselamatan dan Kesehatan Kerja Provinsi Jawa Timur telah memenuhi semua Persyaratan dan Ketentuan Registrasi Kompetensi sesuai Perundang-undangan, No. Registrasi Kompetensi : 0014/ LPI/ LABLING-1/ LRK/ KLH tanggal 6 September 2012.
 2. Peraturan Gubernur Provinsi Jawa Timur Nomor : 122 Tahun 2008 tentang Organisasi dan Tata Kerja Unit Pelaksana Teknis Dinas Tenaga Kerja Transmigrasi dan Kependudukan Provinsi Jawa Timur.

DIPERINTAHKAN

- Kepada :
1. Sekar Jati N, S.Si
 2. Lailia Mufida, ST
- Untuk :
1. Melaksanakan pengukuran Kualitas Udara Lingkungan Kerja di UPT K3 Surabaya (Mahasiswa ITS Surabaya) pada tanggal 21 Desember 2015.
 2. Harap dilaksanakan dengan rasa penuh tanggung jawab.

Dikeluarkan di : Surabaya
Pada Tanggal : 18 Desember 2015

Kegiatan tersebut di atas telah dilaksanakan
Pada tanggal
Pimpinan Perusahaan

.....
YUGO TRIAWANTO





Form. 5.7 - 15
Terbitan / Revisi : 4 / 0

BERITA ACARA PENGAMBILAN CONTOH UJI

Pada hari ini Senin tanggal 07 bulan Agustus tahun 2018 kami nama :

- | | |
|-----------------------|-----------|
| 1. <u>Reda Sidiq</u> | NIP. |
| 2. <u>Laila Mulya</u> | NIP. |
| 3. | NIP. |
| 4. | NIP. |
| 5. | NIP. |

Petugas pengambil contoh uji udara dari Unit Pelaksana Teknis Keselamatan dan Kesehatan Kerja (UPT K3) Surabaya, telah melakukan pengambilan contoh uji udara : Emisi, Ambien dan Lingkungan Kerja dengan rincian sebagaimana pada lampiran dari :

1. Nama Perusahaan : Pabrik PT. ...
2. Alamat Perusahaan : ...
3. Jenis Perusahaan : ...

Demikian Berita Acara ini dibuat dengan sebenar - benarnya dengan tanpa paksaan.

Mengetahui
Pimpinan Perusahaan /
Yang Mewakili

Pengambil Contoh Uji
Ketua Team

(.....)

(.....)

Lampiran 6 Pengambilan Data di UPT K3 Surabaya



Gambar pengukuran kecepatan aliran udara



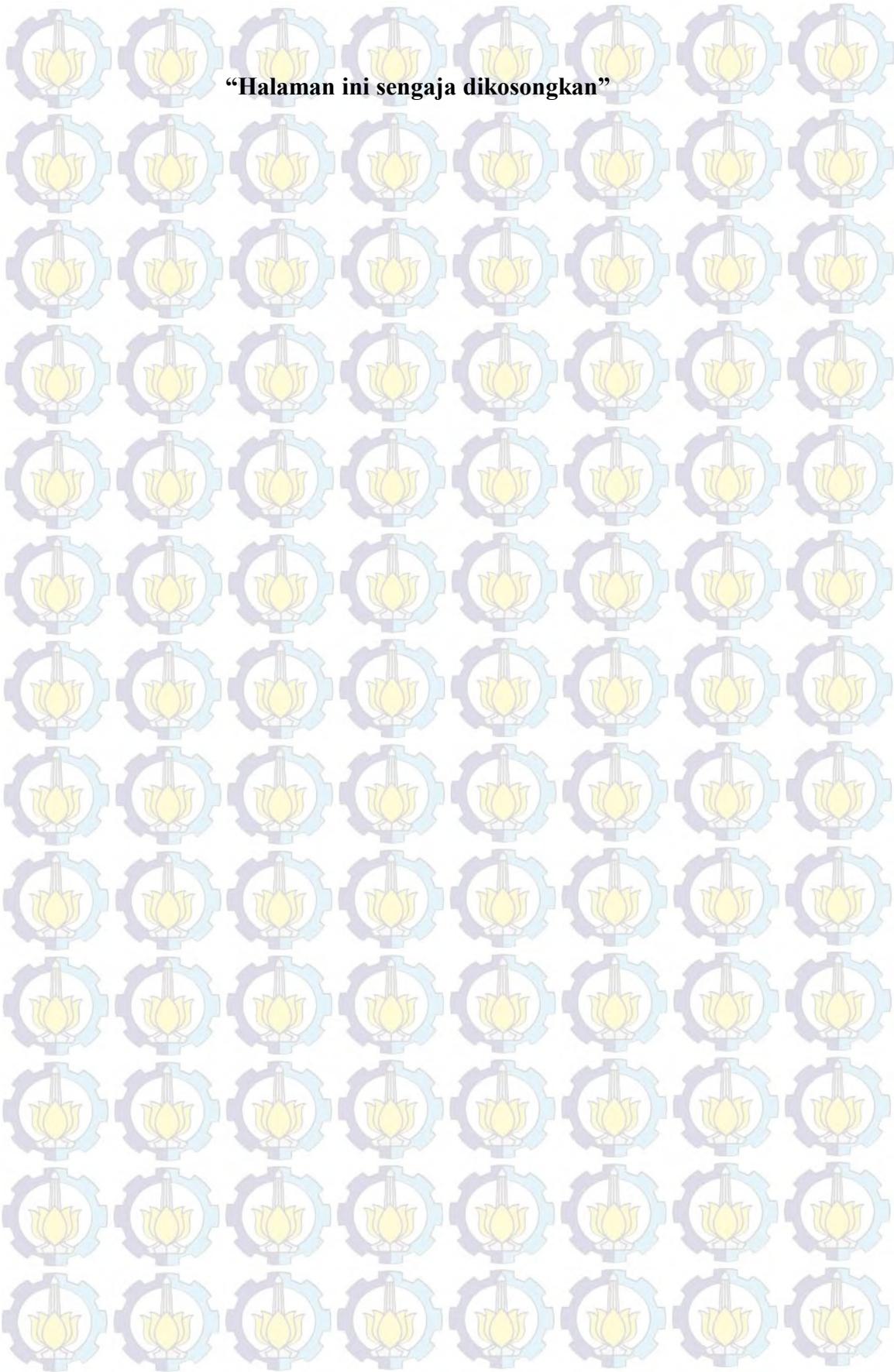
Gambar Cairan absorber untuk mengukur O_3 , NO_2 , SO_2



Gambar Pengukuran O_3 , NO_2 , SO_2 dengan absorber



Gambar rangkaian pembangkit tegangan tinggi



BIOGRAFI PENULIS



Penulis lahir pada 6 Februari 1984 di Ponorogo. Penulis menempuh pendidikan dasar dan menengah di Ponorogo dan S1 di Jurusan Fisika FMIPA ITS lulus tahun 2008. Saat S1 Penulis aktif sebagai asisten Praktikum Fisika Madya. Setelah lulus, penulis berkesempatan bekerja di SMP Muhammadiyah 12 GKB Gresik sampai sekarang.

Tahun 2013 Penulis mendapat beasiswa S2 dari Majelis DIKDASMEN PCM GKB Gresik dan masuk S2 Jurusan Fisika FMIPA ITS dengan minat bidang Fisika Instrumentasi seperti saat S1. Penulis mengerjakan penelitian terkait Generator Ozon dan aplikasinya untuk mereduksi polutan.