



TUGAS AKHIR - SF 184801

**RANCANG BANGUN REAKTOR PLASMA
DENGAN INJEKSI GAS OKSIGEN BERBASIS
*ELECTROSTATIC PRECIPITATOR***

Ryan Pramana Putra
NRP 0111164000034

Dosen Pembimbing :
Diky Anggoro, M.Si
Iim Fatimah, M.Si

DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN ANALITIKA DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020



TUGAS AKHIR - SF 184801

**RANCANG BANGUN REAKTOR PLASMA
DENGAN INJEKSI GAS OKSIGEN BERBASIS
*ELECTROSTATIC PRECIPITATOR***

**Ryan Pramana Putra
NRP 0111164000034**

Dosen Pembimbing :
Diky Anggoro, M.Si
lim Fatimah, M.Si

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN ANALITIKA DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**

”Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”



FINAL PROJECT - SF 184801

***DESIGN OF PLASMA REACTOR WITH
OXYGEN GASSES INJECTION BASED ON
ELECTROSTATIC PRECIPITATOR***

**Ryan Pramana Putra
NRP 0111164000034**

**Advisors :
Diky Anggoro, M.Si
lim Fatimah, M.Si**

**DEPARTMENT OF PHYSICS
FACULTY OF SCIENCES AND DATA ANALYTICS
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**

”Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

RANCANG BANGUN REAKTOR PLASMA DENGAN INJEKSI GAS OKSIGEN BERBASIS *ELECTROSTATIC* *PRECIPITATOR*

TUGAS AKHIR

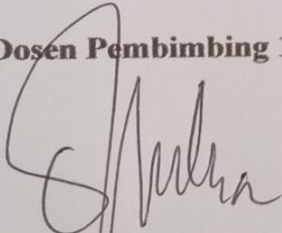
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains pada
Bidang Studi Fisika Instrumentasi Elektronika
Program Studi S1 Departemen Fisika
Fakultas Sains dan Analitika Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Ryan Pramana Putra
NRP. 0111164000034

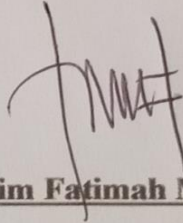
Disetujui oleh Tim Pembimbing Tugas Akhir

Dosen Pembimbing 1



Diky Anggoro, M.Si

Dosen Pembimbing 2



Iim Fatimah M.Si

NIP.19850809 201404 1 003

NIP.19870108 201504 2 002



”Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

RANCANG BANGUN REAKTOR PLASMA DENGAN INJEKSI GAS OKSIGEN BERBASIS *ELECTROSTATIC* *PRECIPITATOR*

Nama Mahasiswa : Ryan Pramana Putra
NRP : 011116400034
Departemen : Fisika, Fakultas Sains dan Analitika Data,
Insitut Teknologi Sepuluh Nopember
Dosen Pembimbing : 1. Diky Anggoro, M.Si
2. Iim Fatimah, M.Si

Abstrak

Salah satu pengaplikasian *electrostatic precipitator* yakni sebagai reaktor plasma dengan injeksi gas oksigen. Penelitian ini bertujuan untuk membuat sebuah reaktor plasma berbasis *electrostatic precipitator*, mengetahui proses terbentuknya plasma dari injeksi gas oksigen, menganalisis *breakdown voltage* terhadap debit gas dan jarak elektroda, serta mengetahui nilai mobilitas elektron. Prinsip yang digunakan oleh plasma yaitu peristitwa ionisasi atau terlepasnya elektron dari suatu atom. Proses perancangan reaktor plasma meliputi desain *chamber*, desain rangkaian alat, dan pengujian alat. Desain *chamber* dibuat dengan bentuk tabung berukuran diameter 10,5 cm dan tinggi 11 cm. Elektroda yang digunakan pada *chamber* yakni elektroda jarum tembaga dengan diameter 1,13 mm. Jarak elektroda yang digunakan yaitu: 10 mm, 15 mm, dan 20 mm. Dalam pengukuran, variabel *breakdown voltage* diukur pada masing-masing variasi debit dan jarak elektroda. Apabila debit gas oksigen dan jarak elektroda diperbesar, maka *breakdown voltage* akan mengalami kenaikan. Dari hasil yang telah didapatkan, hubungan debit gas oksigen dan jarak elektroda ialah berbanding lurus dengan *breakdown voltage* yang sesuai dengan penjabaran rumus empirisnya. Mobilitas elektron terbesar yakni $126 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2/\text{Vs}$ pada jarak elektroda 10 mm. Sedangkan nilai mobilitas terkecil yakni $13,8 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2/\text{Vs}$ pada jarak elektroda 20 mm.

Kata Kunci : *Breakdown Voltage*, Ionisasi, Plasma, Oksigen

”Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

***DESIGN OF PLASMA REACTOR WITH OXYGEN
INJECTION BASED ON ELECTROSTATIC PRECIPITATOR***

Name : Ryan Pramana Putra
NRP : 0111164000034
Department : Physics, Faculty of Sciences and Data Analytics,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Advisors : 1. Diky Anggoro, M.Si
2. Iim Fatimah, M.Si

Abstract

One application of electrostatic precipitator is a plasma reactor with oxygen gas injection. This study aims to make a plasma reactor based electrostatic precipitator, know the process of plasma formation from oxygen gas injection, analyze the breakdown voltage of the gas flow rate and electrode distance, and know electron mobility. The principle used by plasma is the ionization event or the removal of electrons from an atom. The process of designing a plasma reactor includes chamber design, tool circuit design, and tool testing. The chamber design is made in the form of a tube measuring 10.5 cm in diameter and 11 cm in high. The electrodes used in the chamber are copper needle electrodes with a diameter of 1.13 mm. The distance of the electrodes used are: 10 mm, 15 mm, and 20 mm. In measurements, the breakdown voltage is measured for each variation of flow rate and electrode distance. If the oxygen gas flow rate and electrode distance are enlarged, the breakdown voltage will increase. From the results obtained, the relationship between oxygen gas flow rate and electrode distance is directly proportional to the breakdown voltage in accordance with the translation of the empirical formula. Highest electron mobility is $126.10^{-20} \text{ m}^2/\text{Vs}$ that 10 mm electrode distance. And lowest electron mobility is $13,8.10^{-20} \text{ m}^2/\text{Vs}$ that 20 mm electrode distance.

Keywords : Breakdown Voltage, Ionization, Plasma, Oxygen

”Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alhamdulillah. Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat-Nya, petunjuk-Nya atas nikmat iman, islam, dan ikhsan sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir (TA) yang berjudul **“RANCANG BANGUN REAKTOR PLASMA DENGAN INJEKSI GAS OKSIGEN BERBASIS *ELECTROSTATIC PRECIPITATOR*”** secara optimal dan tepat waktu. Tugas Akhir ini penulis susun untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Analitika Data, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas motivasi, bantuan, dorongan, dan juga bimbingan dari berbagai pihak, akhirnya penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan baik. Sehubungan dengan hal tersebut, maka penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Bapak Diky Anggoro, M.Si. selaku Ketua Laboratorium Instrumentasi Elektronika dan dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membagi ilmu, pengalaman, hingga memberikan pengarahan selama proses penelitian dan penyusunan laporan.
2. Ibu Iim Fatimah, M.Si. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang selalu membagi ilmu serta memberikan masukan selama proses penelitian dan penyusunan laporan.
3. Ibu Hanik Pudjiastuti yang kasih sayang dan dorongan tidak ada henti-hentinya kepada penulis untuk segera merampungkan studi S1 nya.
4. Almarhum Ayah Moch Samian yang telah membiayai segala kebutuhan penulis hingga biaya terakhir pendidikan sampai penulis semester 3 pada jenjang S1.
5. Muhamad Rifki Hidayat selaku *bos geng* Laboratorium Instrumentasi Elektronika yang telah menjadi partner

pengerjaan Tugas Akhir serta memberikan ilmu dan pengalamannya.

6. Penghuni Laboratorium Instrumentasi Elektronika yang telah membantu dan memberikan saran dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
7. Rekan-rekan grup Lanangan Sholeh dari Fisika ITS 2016 yang telah memberi hiburan selama menjalani perkuliahan sejak mahasiswa baru hingga penulis menyelesaikan studi S1nya.
8. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari akan adanya kekurangan dalam penulisan laporan ini karena keterbatasan wawasan dan pengetahuan. Untuk itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak agar lebih baik di masa yang akan datang. Semoga laporan penelitian Tugas Akhir ini dapat berguna dan dimanfaatkan dengan baik sebagai referensi bagi yang membutuhkan serta menjadi sarana pengembangan kemampuan ilmiah bagi semua pihak yang bergerak dalam bidang Fisika Instrumentasi Elektronika. Aamiin.

Surabaya, Januari 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
TITLE PAGE	iii
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Electrostatic Precipitator</i>	5
2.2 <i>DC High Voltage</i>	5
2.3 Lucutan Korona	6
2.4 Plasma	8
2.4.1 Proses Terciptanya Plasma	9
2.4.2 Klasifikasi Plasma	11
2.5 <i>Breakdown Voltage</i>	12
2.6 Debit	13
BAB III METODOLOGI	15
3.1 Diagram Alir Penelitian	15
3.2 Alat dan Bahan	16

3.3 Langkah Kerja	20
3.3.1 Perancangan dan Pembuatan <i>Chamber</i>	20
3.3.2 Perancangan dan Pembuatan Sistem Alat.....	21
3.3.3 Pengujian Alat	22
3.3.4 Pengujian Hubungan Variabel Terciptanya Plasma.	23
3.3.5 Akurasi	25
3.3.6 Linearitas.....	25
3.3.7 Presisi	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Kalibrasi <i>High Voltage</i>	27
4.2 Akurasi <i>High Voltage</i>	28
4.3 Linieritas <i>High Voltage</i>	29
4.4 Presisi <i>Breakdown Voltage</i>	30
4.5 Analisis <i>Breakdown Voltage</i> terhadap Debit.....	32
4.6 Analisis <i>Breakdown Voltage</i> terhadap Jarak Elektroda	34
4.7 Analisis <i>Breakdown Voltage</i> terhadap Mobilitas Elektron	37
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	41
5.1 Kesimpulan.....	41
5.2 Saran	41
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN	45
BIODATA PENULIS	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rangkaian Sederhana <i>DC High Voltage</i>	6
Gambar 2.2 Daerah Ionisasi dan Aliran pada Lucutan Korona....	7
Gambar 2.3 Ilustrasi Plasma sebagai Fase Materi ke Empat setelah Padat, Cair, dan Gas.....	9
Gambar 2.4 Peristiwa Ionisasi pada Suatu Atom.....	10
Gambar 2.5 Aliran Fluida pada Sebuah Pipa yang Berbeda Dimensi	13
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	15
Gambar 3.2 <i>High Voltage Power Supply</i> (HVPS).....	16
Gambar 3.3 <i>Multimeter</i>	16
Gambar 3.4 Tabung Kaca.....	17
Gambar 3.5 Elektroda.....	17
Gambar 3.6 Mikrometer skrup	17
Gambar 3.7 <i>Binding Post</i>	18
Gambar 3.8 Kabel.....	18
Gambar 3.9 Pompa Vakum.....	18
Gambar 3.10 <i>Valve</i>	19
Gambar 3.11 Selang.....	19
Gambar 3.12 <i>Flow Meter</i>	19
Gambar 3.13 Gas Oksigen.....	20
Gambar 3.14 Skema <i>Chamber</i>	21
Gambar 3.15 Skema Rangkaian Alat.....	22
Gambar 4.1 Grafik Kalibrasi <i>High Voltage</i>	27
Gambar 4.2 Grafik Linearitas <i>High Voltage</i>	30
Gambar 4.3 Grafik <i>Breakdown Voltage</i> Kuadrat terhadap Debit pada Jarak Elektroda 10 mm.....	33
Gambar 4.4 Grafik <i>Breakdown Voltage</i> Kuadrat terhadap Debit pada Jarak Elektroda 15 mm.....	33
Gambar 4.5 Grafik <i>Breakdown Voltage</i> Kuadrat terhadap Debit pada Jarak Elektroda 20 mm.....	33
Gambar 4.6 Grafik <i>Breakdown Voltage</i> Kuadrat terhadap Jarak Elektroda pada Debit 2 L/menit.....	35
Gambar 4.7 Grafik <i>Breakdown Voltage</i> Kuadrat terhadap Jarak	

Elektroda pada Debit 4 L/menit	35
Gambar 4.8 Grafik <i>Breakdown Voltage Kuadrat</i> terhadap Jarak Elektroda pada Debit 6 L/menit.....	36
Gambar 4.9 Grafik <i>Breakdown Voltage Kuadrat</i> terhadap Jarak Elektroda pada Debit 8 L/menit.....	36
Gambar 4.10 Grafik <i>Breakdown Voltage Kuadrat</i> terhadap Mobilitas Elektron pada Jarak Elektroda 10 mm	38
Gambar 4.11 Grafik <i>Breakdown Voltage Kuadrat</i> terhadap Mobilitas Elektron pada Jarak Elektroda 15 mm.....	38
Gambar 4.12 Grafik <i>Breakdown Voltage Kuadrat</i> terhadap Mobilitas Elektron pada Jarak Elektroda 20 mm	39

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Energi Ionisasi Beberapa Molekul	11
Tabel 2.2 Klasifikasi Plasma Ditinjau dari Temperatur	12
Tabel 4.1 Hasil Akurasi <i>High Voltage</i>	28
Tabel 4.2 Hasil Akurasi <i>Breakdown Voltage</i> pada Jarak Elektroda 10 mm.....	31

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Pengukuran dan Perhitungan	45
Lampiran 2. Dokumentasi Pengambilan Data.....	60

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BABI

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Plasma dapat dikategorikan sebagai wujud zat keempat setelah wujud padat, cair, dan gas. Selain terbentuk secara alamiah di alam, plasma dapat terbentuk dengan memberikan energi besar kepada gas hingga mengalami proses ionisasi. Dari dua proses tersebut akan mengakibatkan susunan gas netral menjadi partikel atau ion yang jumlahnya banyak menjadi bermuatan positif dan negatif, baik berubah sebagian maupun berubah seluruhnya. Besar energi yang diberikan pada susunan gas tersebut akan menyebabkan karakteristik plasma yang diciptakan (Kasih & Nasution, 2016).

Salah satu aplikasi di bidang teknologi dari plasma yakni TV plasma yang diciptakan pertama kali oleh tiga orang ilmuwan, yakni: Donald Blitzer, H. Gene Slottow, dan Robert Wilson. Mereka bertiga menciptakan TV plasma pada tahun 1964 di Universitas Illinois, Amerika Serikat. Dikutip dari liputan6.com, pada tahun 2004 hingga 2006 merupakan tahun berjayanya TV plasma. Seiring mengalami masa kejayaan, plasma mengalami masa keruntuhan dikarenakan harga plasma yang tidak turun terhadap volume penjualan TV plasma. Apalagi pada tahun 2007, TV LCD lebih banyak diminati daripada TV plasma. Padahal, TV plasma mampu menampilkan gambar dengan ukuran yang besar dengan material tipis. Sehingga tidak salah jika TV plasma yang dijual di pasaran memiliki ukuran yang ramping dan tidak terlalu cembung.

Berdasarkan definisinya, plasma dapat dibentuk dari berbagai jenis gas, salah satunya yakni gas oksigen. Oksigen ialah unsur terpenting kedua pada atmosfer bumi dengan kedudukan sebesar 21,0% volume dan 23,1% massa (sekitar 10^{15} ton) dalam atmosfer tersebut. Oksigen memiliki peran terpenting bagi kehidupan di bumi. Gas oksigen terlibat pada sebagian besar reaksi kimia yang menghasilkan energi dan diperlukan makhluk hidup seperti

manusia (Haryati, 2013). Namun, pemanfaatan oksigen sebagian besar saat ini digunakan di bidang medis seperti gas bantu untuk pernapasan pada pasien.

Berdasarkan uraian di atas, diperlukan pengaplikasian dari sebuah alat yang dapat digunakan sebagai pelucut plasma. Alat yang digunakan pada penelitian Tugas Akhir ini yakni *Electrostatic Precipitator*. Sehingga, penulis dalam penelitian Tugas Akhinya akan melakukan rancang bangun *Electrostatic Precipitator* sebagai reaktor plasma dengan injeksi gas oksigen.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dibahas sebelumnya, penulis melakukan beberapa analisa kinerja dengan permasalahan yang ditemukan sebagai berikut :

1. Bagaimana cara membuat alat reaktor plasma berbasis *Electrostatic Precipitator*?
2. Bagaimana proses terbentuknya plasma dari gas oksigen?
3. Bagaimana analisis *breakdown voltage* dalam penciptaan plasma dengan pengaruh debit gas oksigen yang diinjeksikan dan jarak elektroda?
4. Berapakah nilai mobilitas elektron terbesar dan terkecil?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut ini:

1. Membuat rancang bangun reaktor plasma berbasis *Electrostatic Precipitator*.
2. Mengetahui proses terbentuknya plasma dari gas oksigen.
3. Menganalisis *breakdown voltage* dalam penciptaan plasma dengan pengaruh debit gas oksigen yang diinjeksikan dan jarak elektroda.
4. Mengetahui nilai mobilitas elektron terbesar dan terkecil.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Elektroda yang digunakan yakni elektroda jarum tembaga dengan diameter 1,13 mm.
2. Aliran gas oksigen yang masuk ke *chamber* dianggap laminar.
3. *Flyback* diasumsikan sebagai transformator ideal.
4. Penelitian ini tidak membahas perubahan susunan atom gas oksigen setelah menjadi plasma.
5. Penelitian hanya dilakukan sampai tahap rancang bangun.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah dapat menghasilkan sebuah alat reaktor plasma gas oksigen dengan *Electrostatic Precipitator*.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I : Pendahuluan

Bab Pendahuluan ini berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II : Tinjauan Pustaka

Bab tinjauan pustaka berisi tentang teori dan konsep dasar penunjang penelitian mengenai teknologi *Electrostatic Precipitator* sebagai reaktor plasma beserta prosesnya.

BAB III : Metodologi

Bab Metodologi berisi tentang metode yang digunakan dalam penelitian ini.

BAB IV : Hasil dan Pembahasan

Bab Hasil dan Pembahasan ini berisi inti dari penulisan laporan Tugas Akhir tentang rancang bangun dan prinsip kerja *Electrostatic Precipitator* sebagai reaktor plasma.

BAB V : Kesimpulan

Bab Kesimpulan ini berisi kesimpulan umum dari hasil analisa dan disertai saran yang berlaku bagi penelitian selanjutnya.

LAMPIRAN :Lampiran berisi beberapa data dan dokumentasi penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Electrostatic Precipitator*

Electrostatic Precipitator (ESP) merupakan teknologi yang memanfaatkan pengaruh gaya elektrostatis untuk menangkap partikel mikro yang terdapat dalam gas buangan kemudian dialirkan menuju ke suatu *chamber* atau ruang khusus. Dimana *chamber* tersebut terdapat elektroda yang dialiri tegangan tinggi untuk menciptakan ion-ion dari gas (Maria & Susanti 2019).

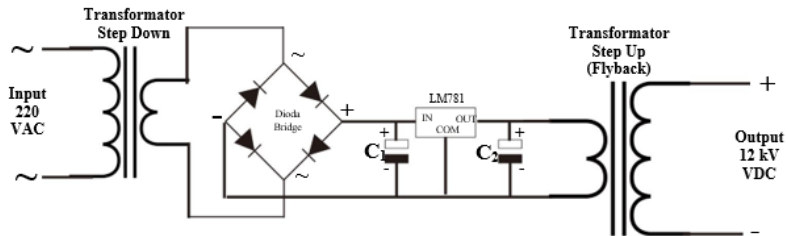
ESP tersusun atas *chamber* tertutup untuk menangkap partikel, transformator *step up* untuk menaikkan tegangan, dan *rectifier* (penyearah) untuk mengubah tegangan AC menjadi DC. Di dalam *chamber* pada ESP terdapat plat konduktor yang berfungsi sebagai elektroda untuk proses penangkapan maupun ionisasi partikel mikro pada gas. Kemudian *chamber* tersebut diisolasi lalu elektroda dialiri tegangan mulai dari 20 kV hingga 120 kV (Parker, 2007).

2.2 *DC High Voltage*

Mayoritas penggunaan tegangan DC digunakan untuk penelitian ilmiah murni. Pengaplikasian *DC High Voltage* di bidang industri untuk pengujian kabel dengan kapasitansi yang relatif besar. *DC High Voltage* diperlukan dalam banyak aplikasi teknik listrik dan fisika terapan seperti: catu daya, unit sinar-X, perangkat TV, tabung CRT, tabung osiloskop dan *Photomultiplier* dalam industri nuklir untuk mendeteksi radiasi (AL-Rawahi & Abdul-Halem, 2017).

Sebagai contoh pada Gambar 2.1 yang menunjukkan rangkaian sederhana *DC High Voltage*, tegangan 220 VAC dari sumber listrik kemudian dinaikkan menjadi 12 kV oleh transformator *step up*. Jika tegangan input berupa AC, maka dalam rangkaian sebelum transformator *step up* diperlukan dioda bridge sebagai *rectifier* atau penyearah untuk mendapatkan tegangan DC. Kemudian setelah itu *DC High Voltage*

dihubungkan ke *Electrostatic Precipitator* (Thonglek, 2011).



Gambar 2.1 Rangkaian Sederhana *DC High Voltage*.

Salah satu komponen terpenting untuk menciptakan *DC High Voltage* yakni Tranformator *Flyback* (TFB). Prinsip dari *flyback* sama halnya dengan transformator pada umumnya yakni menginduksi elektromagnetik. Arus listrik listrik yang berada pada lilitan sisi primer dapat menimbulkan medan magnet kemudian menginduksi pada lilitan pada sisi sekunder. Arus listrik pada sisi primer akan berlawanan dengan arus listrik pada sisi sekunder. Hubungan tegangan (V), jumlah lilitan (N), dan arus listrik (I) pada sisi primer dan sisi sekunder dapat dinyatakan dalam Persamaan 2.1 sebagai berikut.

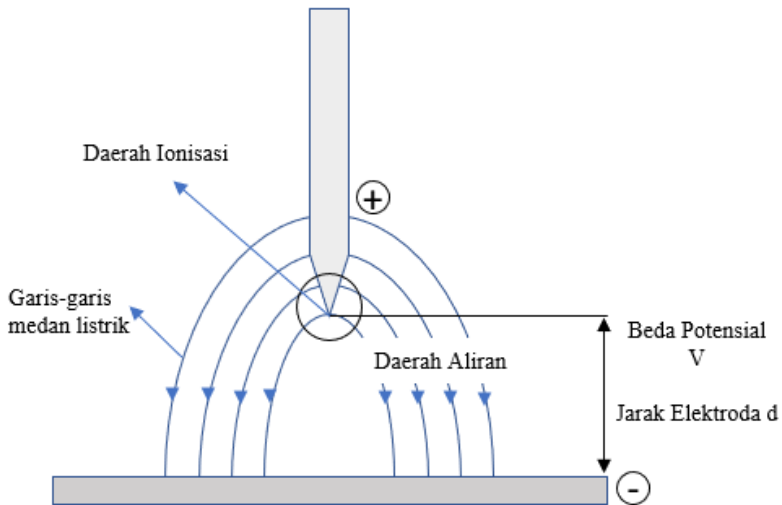
$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p} \dots \dots \dots (2.1)$$

dimana p menunjukkan sisi primer dan s menunjukkan sisi sekunder. Untuk mendapatkan tegangan keluaran yang sangat tinggi, maka diperlukan jumlah lilitan sisi sekunder yang lebih banyak dari sisi primer dan arus listrik sisi sekunder yang lebih kecil daripada arus listrik sisi primer (Prabowo, 2019).

2.3 Lucutan Korona

Lucutan korona dapat dikatakan sebagai plasma lucutan pijar korona yang terletak di antara dua elektroda memiliki dua daerah, yaitu: daerah ionisasi (*ionization region*) dan daerah aliran (*drift region*). Pada daerah ionisasi terletak di sekitaran elektroda aktif yang memiliki medan listrik dengan intensitas tinggi. Sedangkan daerah aliran terletak di antara dua elektroda (Nur, 2011).

Lucutan korona positif dapat diciptakan dengan memberikan polaritas positif pada elektroda, kemudian elektron-elektron bergerak menuju anoda yang semula berasal dari katoda kemudian mengionasi molekul gas yang berada di antara elektroda. Karena mendapat pengaruh medan listrik dari elektroda, maka hasil ionisasi akan mengalir menuju katoda di sekitar daerah aliran yang menimbulkan arus ion atau dapat dikatakan sebagai arus saturasi unipolar dimana ion bermuatan positif. Daerah ionisasi dan daerah aliran dapat ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Daerah Ionisasi dan Aliran pada Lucutan Korona. Konfigurasi elektroda merupakan pendekatan untuk konfigurasi arus saturasi unipolar dapat dituliskan persamaan:

$$I_s = \frac{2 \mu \epsilon_0 V^2}{d} \dots \dots \dots (2.2)$$

dengan I_s merupakan arus saturasi unipolar ion (A), V merupakan tegangan korona (volt), μ merupakan mobilitas ion unipolar ($m^2/volt.s$), ϵ_0 merupakan permitivitas ruang hampa ($m^2/volt.s$) dan d adalah jarak antar elektroda (m) (Nur, 2011).

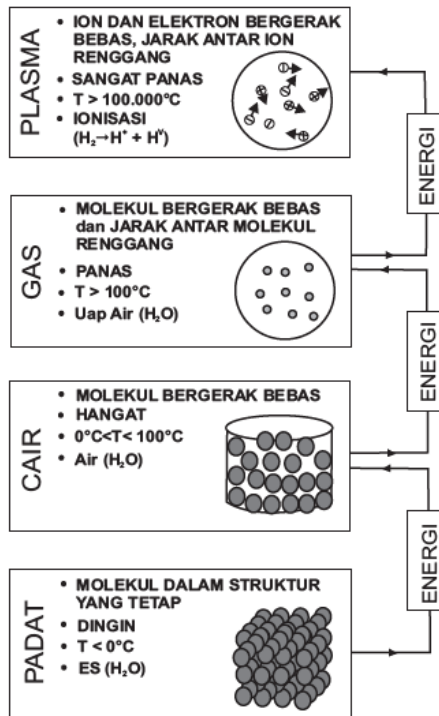
Lucutan korona negatif dapat diciptakan dengan memberikan

polaritas negatif pada elektroda. Berbeda dengan lucutan korona positif, lucutan korona negatif dimana ion yang mengalir melewati daerah aliran yakni ion-ion bermuatan negatif yang tercipta karena terdapat molekul elektronegatif di dalam udara yang bersifat mudah untuk menangkap elektron (Nur, 2011).

2.4 Plasma

Teori plasma dikemukakan pertama kali oleh Langmuir dan Tonks pada tahun 1928 yang mengartikan plasma sebagai gas yang terionisasi dalam lucutan listrik. Menurut Chen (2002), mendefinisikan plasma ialah daerah reaksi tumbukan elektron yang sangat signifikan untuk terjadi. Plasma terbentuk ketika ada kenaikan temperatur atau energi pada gas yang membuat atom pada gas tersebut terionisasi hingga melepas elektron dalam semula keadaannya normal mengelilingi inti. Secara sederhana, plasma merupakan gas terionisasi serta dikenal sebagai fase materi keempat (Nur, 2011).

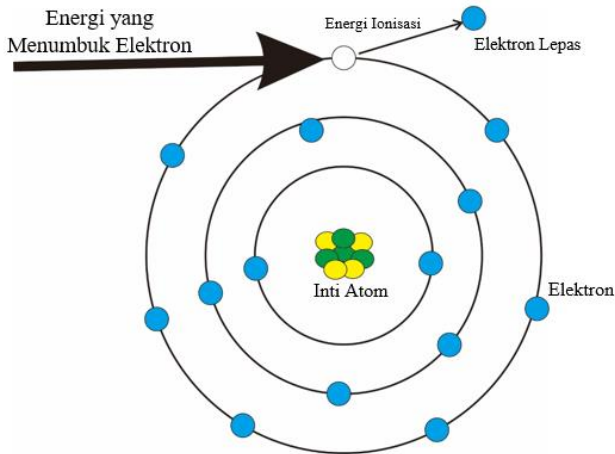
Pada Gambar 2.3 menunjukkan fase materi mulai dari padat, cair, gas, hingga plasma. Pada gambar tersebut, dimisalkan molekul H_2O yang semula fase padat dengan wujud es. Kemudian mendapatkan energi hingga mencapai suhu $0^{\circ}C$ dan berubah fase menjadi cair dengan wujud air. Apabila air diberi energi yang lebih besar hingga suhunya mencapai $100^{\circ}C$, maka air akan berubah wujud menjadi uap air dengan fase gas tetapi molekulnya tetap yakni H_2O . Jika molekul gas H_2O diberi energi secara terus menerus, molekul tersebut akan terpecah menjadi H_2 dan O_2 hingga akhirnya terionisasi menjadi ion-ion positif dan elektron dengan kondisi maupun ruang tertentu dan di mana kondisi tersebut dinamakan plasma (Nur, 2011).



Gambar 2.3 Ilustrasi Plasma sebagai Fase Materi ke Empat setelah Fase Padat, Cair, dan Gas. (Nur, 2011)

2.4.1 Proses tercipta Plasma

Berdasarkan definisi sebelumnya, plasma merupakan gas yang terionisasi. Ionisasi merupakan peristiwa terlepasnya elektron pada suatu atom atau molekul dari ikatannya yang disajikan pada Gambar 2.4. Untuk bisa melepaskan elektron dari orbit suatu atom atau molekul, maka diperlukan suatu energi yang dimiliki oleh atom sendiri yakni energi ionisasi (E_i) yang dinyatakan dalam satuan elektron-volt (eV) (Nur, 2011).



Gambar 2.4 Peristiwa Ionisasi pada Suatu Atom.

Ionisasi dapat terbentuk jika elektron yang menumbuk memiliki energi lebih besar atau sama dengan energi ionisasi atom yang tertumbuk. Sehingga, dituliskan secara matematis dapat dirumuskan:

$$\frac{1}{2} m_e v_e^2 \geq e V \dots\dots\dots (2.3)$$

dimana m_e merupakan massa elektron (kg), v_e merupakan kecepatan elektron (m/s), e merupakan muatan elektron ($1,602 \times 10^{-19}$ coulomb), dan V merupakan potensial ionisasi atom atau molekul (volt) (Nur, 2011).

Energi ionisasi merupakan energi minimum yang harus diserap oleh atom atau molekul dalam keadaan dasar untuk membentuk ion dengan melepaskan suatu elektron (Svec & Junk, 1976). Pada Tabel 2.1, menunjukkan besar energi ionisasi yang terdapat pada beberapa molekul.

Tabel 2.1 Energi Ionisasi Beberapa Molekul.

Molekul	[eV]	Molekul	[eV]
Hidrogen, H ₂	15.4	Helium, He	24.6
Metana, CH ₄	12.6	Neon, Ne	21.6
Etana, C ₂ H ₆	11.5	Argon, Ar	15.8
Propana, <i>n</i> -C ₃ H ₈	10.9	Kripton, Kr	14
Butana, <i>n</i> -C ₄ H ₁₀	10.5	Xenon, Xe	12.1
Pentana, <i>n</i> -C ₅ H ₁₂	10.3		
Heksana, <i>n</i> -C ₆ H ₁₄	10.1	Nitrogen, N ₂	15.6
Dekana, <i>n</i> -C ₁₀ H ₂₂	9.7	Oksigen, O ₂	12.1
		Karbonmonoksida, CO	14
Etena, C ₂ H ₄	10.5	Karbondioksida, CO ₂	13.8
Propena, C ₃ H ₆	9.7		
(E)-2-Butena, C ₄ H ₈	9.1	Flourin, F ₂	15.7
		Klorin, Cl	11.5
Benzena, C ₆ H ₆	9.2	Bromin, Br	10.5
Toluena, C ₆ H ₈	8.8	Iodin, I ₂	9.3
Indena, C ₉ H ₈	8.6		
Naphthalena, C ₁₀ H ₈	8.1	Etanol, C ₂ H ₆ O	10.5
Biphenil, C ₁₂ H ₁₀	8.2	Dimetillether	10
Antharacena, C ₁₄ H ₁₀	7.4	Ethanathiol, C ₂ H ₆ S	9.3
Anilina, C ₆ H ₇ N	7.7	Dimetilsulfida, C ₂ H ₆ S	8.7
Tripphenilamina, C ₁₈ H ₁₅ N	6.8	Dimetillamina, C ₂ H ₇ N	8.2

(NIST Chemistry Webbook, 2002)

2.4.2 Klasifikasi Plasma

Plasma dapat diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu: plasma dingin, plasma termik, dan plasma panas. Klasifikasi tersebut ditinjau dari besar temperatur plasma yang penjelasan dan

perbedaannya disajikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Klasifikasi Plasma Ditinjau dari Temperatur.

Sifat	Klasifikasi Plasma		
	Plasma Dingin	Plasma Termik	Plasma Panas
Temperatur (K)	$T < 3000$	$3000 < T < 10^6$	$T > 10^6$
Kegunaan	Pembersihan polutan, pembentukan materi baru, dan pengaplikasian di bidang mikroelektronik	Pengelasan dan pemotongan logam	Memproduksi energi listrik

(Nur, 2011)

2.5 Breakdown Voltage

Teori tentang *breakdown voltage* tidak terlepas dari Hukum Paschen. Hukum Paschen menjelaskan bahwa *breakdown voltage* merupakan tegangan minimal yang diperlukan sebuah gas untuk melakukan proses ionisasi dimana letaknya di antara 2 elektroda dengan fungsi tekanan dan jarak antar elektroda (Kim, 2002). Selain itu, *Breakdown voltage* bergantung pada jalur bebas elektron. Jalur bebas elektron merupakan jarak yang ditempuh elektron sebelum mengenai atom yang berada di sekitaran dua elektroda yang menentukan pelepasan elektron dari elektroda (Paschen, 1889).

Paschen merumuskan *breakdown voltage* untuk suatu gas agar dapat melakukan ionisasi sebagai berikut:

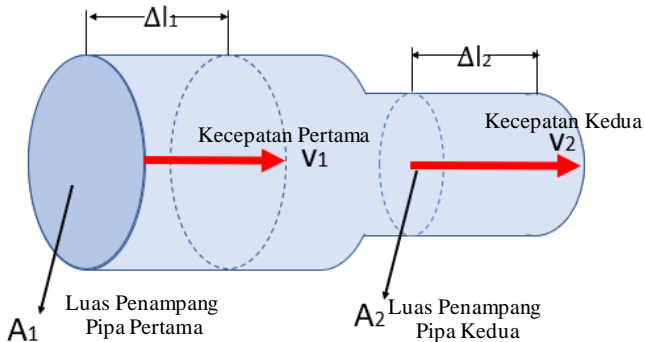
$$V = \frac{B(pd)}{\ln(Apd) + \ln\left(\ln\left(1 + \frac{1}{\gamma}\right)\right)} \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana V merupakan *breakdown voltage* (volt), p merupakan tekanan di sekitar elektroda atau di dalam *chamber* sebagai

tempat terbentuknya plasma (torr), dan d merupakan jarak antar elektroda (cm). Nilai A dan B merupakan tetapan Paschen pada masing-masing molekul yang dihubungkan dengan energi ionisasi dan eksitasi gas. Nilai A memiliki satuan $\text{cm}^{-1} \cdot \text{torr}^{-1}$ dan B memiliki satuan volt/cm.torr . Sedangkan γ ialah banyaknya elektron yang berasal dari katoda (Usada, 2011).

2.6 Debit

Aliran laminar yang stabil dari suatu fluida melalui pipa pipa tertutup seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5, maka didapatkan kecepatan fluida berubah ketika ukuran tabung berubah.



Gambar 2.5 Aliran Fluida pada Sebuah Pipa yang Berbeda Dimensi.

Laju aliran volume atau debit (Q) didefinisikan sebagai banyaknya volume fluida yang melewati suatu tempat tertentu per satuan waktu t , maka dapat dirumuskan:

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} \dots\dots\dots (2.5)$$

Pada Gambar 2.5, volume fluida pada titik 1 terdapat beberapa variabel lain, yakni: A_1 , v_1 , dan Δl_1 . Δl_1 merupakan jarak fluida berpindah selama Δt detik. Sedangkan $v_1 = \Delta l_1 / \Delta t$ yang merupakan kecepatan aliran fluida. Sehingga, Persamaan 2.4 dapat ditulis:

$$Q_1 = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{A_1 \Delta l_1}{\Delta t} = A_1 v_1 \dots\dots\dots (2.6)$$

Selain itu, pada Gambar 2.5 memiliki 2 titik dengan karakteristik berbeda. Jika debit fluida yang dialirkan ke dalam pipa sama, maka dapat dirumuskan:

$$Q_1 = Q_2$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \dots\dots\dots (2.7)$$

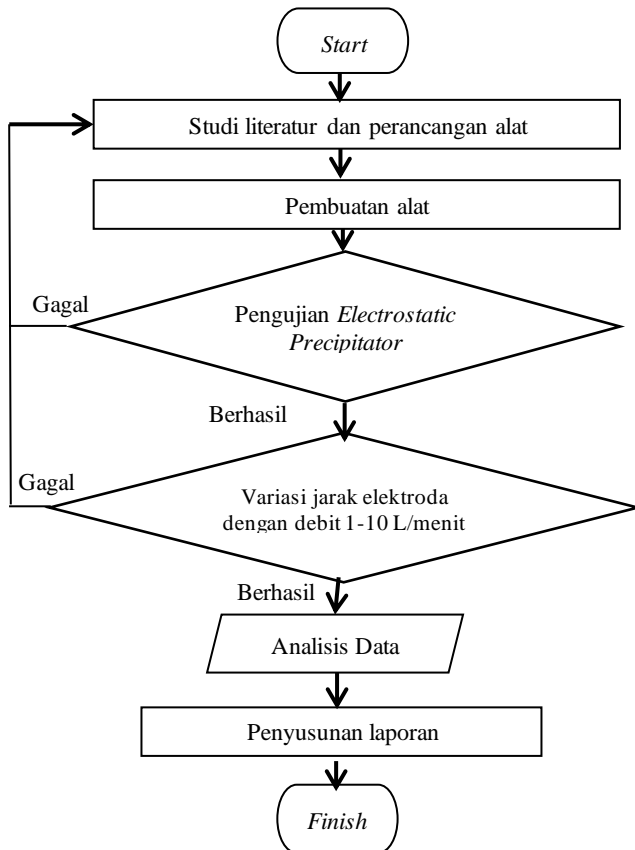
dimana Persamaan 2.7 dapat dikatakan sebagai Persamaan Kontinuitas (Giancoli, 2005).

BAB III

METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa langkah. Langkah tersebut disajikan pada Gambar 3.1 sebagai berikut.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.

Berdasarkan diagram alir yang terdapat pada Gambar 3.1, dapat dijelaskan bahwa terdapat beberapa tahapan untuk menyelesaikan penelitian ini. Pertama melakukan studi literatur dan menyiapkan konsep rancangan yang akan dibangun hingga pembuatan alat. Lalu dilakukan pengujian pada seperangkat alat *Electrostatic Precipitator*. Kemudian dilakukan penyatuan seluruh bagian menjadi satu sistem. Setelah itu dilakukan pengambilan data dengan variasi debit aliran gas dan jarak elektroda kemudian data akan dianalisis hingga disusun menjadi laporan.

3.2 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam rancang bangun *Electrostatic Precipitator* adalah sebagai berikut ini:

1. *High Voltage Power Supply* (HVPS)
High Voltage Power Supply (HVPS) digunakan sebagai sumber tegangan DC yang akan dialirkan ke elektroda pada *chamber*.



Gambar 3.2 *High Voltage Power Supply* (HVPS).

2. *Multimeter*
Multimeter digunakan untuk digunakan untuk mengukur besar tegangan keluaran yang dihasilkan oleh *High Voltage Power Supply*.



Gambar 3.3 Multimeter.

3. *Chamber*

Bagian-bagian yang terdapat pada *chamber* antara lain:

a. Tabung Kaca

Tabung kaca nantinya akan dibuat sebagai *chamber* atau ruang tempat yang nantinya tekanan udara di dalamnya akan diturunkan seminimal mungkin. *Chamber* tersebut digunakan sebagai reaktor plasma.



Gambar 3.4 Tabung Kaca.

b. Elektroda Jarum Tembaga

Elektroda jarum tembaga merupakan konduktor berbentuk jarum dengan bahan tembaga yang berfungsi sebagai penangkap gas oksigen untuk terciptanya plasma.



Gambar 3.5 Elektroda Jarum Tembaga.

c. Mikrometer Sekrup

Mikrometer sekrup digunakan sebagai pengatur manual jarak antar elektroda.



Gambar 3.6 Mikrometer Sekrup.

d. *Binding Post*

Binding post digunakan sebagai konektor atau penghubung *high voltage* dengan kabel yang dihubungkan dengan elektroda.



Gambar 3.7 *Binding Post*.

e. Kabel

Kabel digunakan sebagai penghubung jalannya arus listrik dari *binding post* menuju elektroda.



Gambar 3.8 Kabel.

4. Pompa Vakum

Pompa vakum digunakan untuk menurunkan tekanan udara di dalam *chamber* seminimal mungkin agar nantinya *chamber* mengandung gas oksigen saja tanpa mengandung gas atau molekul lain.



Gambar 3.9 Pompa Vakum.

5. *Valve*

Valve digunakan sebagai kran untuk menghambat atau mengalirkan gas oksigen menuju ke *chamber*.



Gambar 3.10 *Valve*.

6. *Selang*

Selang digunakan sebagai tempat untuk mengalirkan gas yang berasal dari tabung gas oksigen menuju ke *chamber*. *Selang* yang digunakan pada penelitian ini menyesuaikan ukuran dengan *valve* yang ada pada tabung oksigen.



Gambar 3.11 *Selang*.

7. *Flow Meter*

Flow meter digunakan sebagai pengatur debit aliran gas oksigen yang dialirkan dari tabung gas oksigen menuju ke dalam *chamber*.



Gambar 3.12 *Flow Meter*.

Bahan atau spesimen yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. Gas Oksigen

Gas Oksigen merupakan bahan yang digunakan sebagai pencipta plasma.



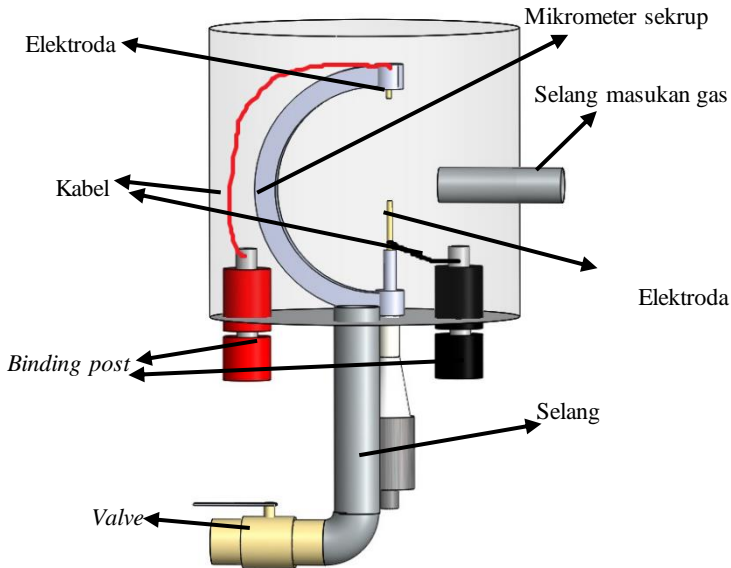
Gambar 3.13 Gas Oksigen.

3.3 Langkah Kerja

Langkah kerja pada penelitian ini terdiri dari beberapa bagian sebagai berikut.

3.3.1 Perancangan dan Pembuatan *Chamber*

Dalam perancangan dan pembuatan *chamber*, maka diperlukan desain *chamber* dengan menggunakan *software solidworks* dan *coreldraw* sebagai media untuk mendesain. Beberapa komponen untuk mendesain dan membuat *chamber*, antara lain: tabung kaca, *binding post*, elektroda jarum tembaga, selang, kabel, dan *valve*. Kemudian komponen-komponen tersebut dirangkai sesuai desain pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14 Skema Chamber.

Berdasarkan Gambar 3.14, *chamber* dibuat sedemikian hingga sebagai tempat reaktor plasma. *Chamber* terbuat dari tabung kaca agar dapat mengamati plasma secara jelas. Jarak elektroda yang dipasang pada mikrometer sengaja didekatkan pada selang masukan gas agar ketika gas dialirkan ke *chamber* langsung menuju daerah aliran yang berada di antara dua elektroda. Pada *chamber*, terdapat selang yang dihubungkan dengan *valve* yang nantinya akan dihubungkan dengan pompa vakum. Tujuan untuk dihubungkan ke pompa vakum agar kandungan gas di dalam *chamber* dikurangi seminimal mungkin agar plasma yang terbentuk hanya dari gas oksigen. Dimensi *chamber* yang digunakan pada penelitian Tugas Akhir ini sebagai berikut:

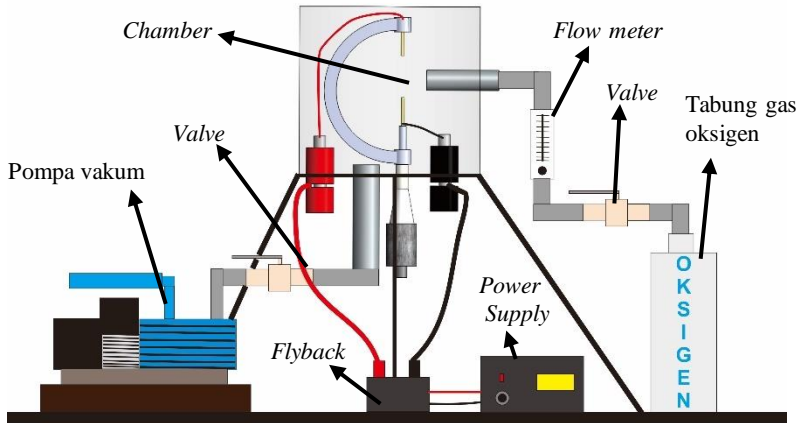
Diameter : 10,5 cm

Tinggi : 11 cm

3.3.2 Perancangan dan Pembuatan Sistem Alat

Dalam perancangan dan pembuatan sistem alat, diperlukan

desain terlebih dahulu menggunakan *software coreldraw* yang disajikan pada Gambar 3.15 sebagai berikut.



Gambar 3.15 Skema Alat.

Berdasarkan Gambar 3.15, skema alat untuk merancang bangun sistem *electrostatic precipitator* tersusun atas: *chamber* sebagai reaktor plasma, pompa vakum sebagai penurun maupun pengurang gas yang ada di dalam *chamber*, gas oksigen sebagai spesimen untuk menciptakan plasma, dan HVPS sebagai pelucut korona hingga terbentuk plasma.

3.3.3 Pengujian Alat

Proses pengujian alat dilakukan untuk mendapatkan *output* dari alat yang berupa *breakdown voltage* saat *electrostatic precipitator* dinyalakan untuk menciptakan lucutan korona hingga plasma. Untuk mendapatkan *breakdown voltage*, tegangan keluaran pada HVPS perlu dilakukan pengurangan atau penambahan lilitan pada transformator *flyback* kemudian dilakukan pengukuran menggunakan multimeter untuk mendapatkan besar tegangan yang diinginkan.

Setelah itu, jarak antar elektroda di dalam *chamber* perlu ditentukan jaraknya sebagai variasinya. Pada penelitian Tugas Akhir ini, jarak antar elektroda yang digunakan yakni: 10 mm, 15 mm, dan 20 mm. Ketika jarak antar elektroda sudah diatur,

pompa vakum yang sudah terhubung dengan *chamber* dinyalakan untuk mengurangi gas yang ada di dalam *chamber* dengan ditandai selang yang mulai mengkerut kemudian *valve* yang berada di antara pompa vakum dan *chamber* ditutup. Setelah itu, *chamber* diinjeksikan gas oksigen dengan cara memutar *valve* yang berada pada tabung oksigen.

Setelah gas diinjeksikan, debit aliran gas perlu diukur dengan cara memutar knop pada *flow meter* sesuai debit yang diinginkan. Pada penelitian Tugas Akhir ini, debit gas yang digunakan yakni 1 L/min hingga 10 L/min. Saat gas sudah mengalir ke dalam *chamber* dengan debit yang telah ditentukan, HVPS dinyalakan dengan tegangan yang paling kecil terlebih dahulu sampai tegangan lucutan korona mulai timbul hingga tercipta plasma. *Breakdown voltage* tersebut digunakan agar plasma tetap menyala. Jika sudah didapatkan tegangan minimum untuk plasma tercipta (*breakdown voltage*), tegangan tersebut dicatat kemudian HVPS dimatikan lalu *valve* pada oksigen ditutup. Setelah itu, gas di dalam *chamber* dihisap kembali dengan menggunakan pompa vakum. Pada penelitian Tugas Akhir ini, tekanan dan temperatur di dalam *chamber* tidak dilakukan pengukuran dan dianggap konstan.

Kemudian dilakukan variasi lain dengan merubah debit aliran gas hingga jarak antar elektroda. Tiap masing-masing data dilakukan pengulangan sebanyak 5 kali. Apabila data-data tersebut sudah didapat, maka dibuat dalam bentuk tabel dengan *microsoft excell*. Dari data yang didapat nantinya akan diolah dan dibuat grafik untuk mendapatkan nilai akurasi, linieritas, dan presisi.

3.3.4 Pengujian Hubungan Variabel Terciptanya Plasma

Beberapa variabel pencipta plasma dapat dilakukan pengujian variabel dengan penurunan rumus empiris yang didasari pada Persamaan 2.3. Persamaan tersebut menjelaskan bahwa energi kinetik elektron yang menumbuk harus lebih besar atau sama dengan dari energi kinetik elektron pada suatu atom yang tertumbuk.

Energi kinetik elektron (EK_e) yang menumbuk dapat dirumuskan:

$$EK_e = \frac{1}{2} m_e v_e^2 \dots\dots\dots (3.1)$$

dimana:

m_e = massa elektron (kg)

v_e = kecepatan elektron (m/s)

untuk mencari kecepatan elektron (v_e), digunakan rumus arus dan gerak muatan sebagai berikut:

$$I_s = n q A v_e \dots\dots\dots (3.2)$$

dengan I_s merupakan arus elektron yang mengalir elektron di antara dua elektroda atau sesuai dengan Persamaan 2.2. Jadi, Persamaan 3.2 dapat ditulis:

$$\frac{2 \mu \epsilon_0 V^2}{d} = n q A v_e$$

$$v_e = \frac{2 \mu \epsilon_0 V^2}{n q A d} \dots\dots\dots (3.3)$$

dimana V merupakan tegangan korona atau bisa disebut *breakdown voltage* (volt), μ merupakan mobilitas ion unipolar (m^2/Vs), ϵ_0 merupakan permitivitas ruang hampa ($m^2/volt.s$) dan d adalah jarak antar elektroda (m), n ialah jumlah partikel pembawa muatan bebas per satuan volume, q ialah partikel pembawa muatan, A ialah luas penampang elektroda, dan v_e ialah kecepatan *drift* elektron (m/s).

Sedangkan energi kinetik elektron pada oksigen (EK_{eo}) yang tertumbuk, dapat dirumuskan:

$$EK_{eo} = \frac{1}{2} m_{eo} v_{eo}^2 \dots\dots\dots (3.4)$$

m_{eo} = massa elektron pada gas oksigen (kg)

v_{eo} = kecepatan elektron pada gas oksigen (m/s^2)

Untuk mencari kecepatan elektron pada gas oksigen (v_{eo}) diperlukan persamaan kontinuitas fluida, dikarenakan luas penampang pada keluaran *flow meter* (A_1) dengan luas penampang selang pada *chamber* (A_2) berbeda dan gas oksigen yang diinjeksikan dengan besaran debit (Q_1). Maka, persamaan kontinuitas v_2 dapat dituliskan menjadi v_{eo} sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 A_1 v_1 &= A_2 v_2 \\
 Q_1 &= A_2 v_{e0} \\
 v_{e0} &= \frac{Q_1}{A_2} \dots\dots\dots(3.5)
 \end{aligned}$$

Sehingga, pada penelitian Tugas Akhir ini Persamaan 2.3 dapat dituliskan:

$$\begin{aligned}
 E_{Ke} &\geq E_{Ke0} \\
 \frac{1}{2} m_e v_e^2 &\geq \frac{1}{2} m_{e0} v_{e0}^2 \\
 m_c \left(\frac{2 \mu \epsilon_0 V^2}{n q A d} \right)^2 &\geq m_{e0} \left(\frac{Q_1}{A_2} \right)^2 \dots\dots\dots(3.6)
 \end{aligned}$$

Berdasarkan Persamaan 3.6, hubungan *breakdown voltage* kuadrat terhadap debit ialah berbanding lurus.

3.3.5 Akurasi

Dalam pembuatan sebuah alat, diperlukan suatu akurasi untuk mendapatkan nilai yang akurat dari alat itu sendiri. Untuk mengetahui keakuratan dari suatu alat, maka pada penelitian ini diperlukan kalibrasi alat. Kalibrasi dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran dengan spesifikasi atau referensi yang dimiliki oleh alat tersebut. Pada penelitian ini, kalibrasi dilakukan pada HVPS yang diukur besar tegangan keluarannya menggunakan multimeter dengan besar tegangan yang akan ditampilkan pada LCD (nilai referensi). Berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai *error* dan tingkat keakuratan dari suatu kalibrasi HVPS yang digunakan.

$$\text{Error} = \left| \frac{\text{referensi} - \text{pengukuran}}{\text{referensi}} \right| \times 100\% \dots\dots\dots(3.7)$$

$$\text{Keakuratan} = 100\% - \text{Error} \dots\dots\dots(3.8)$$

3.3.6 Linieritas

Linieritas bertujuan untuk mengetahui apakah dua variabel mempunyai hubungan yang linier atau tidak secara signifikan. Uji ini biasanya digunakan sebagai prasyarat dalam analisis korelasi atau regresi linier. Pada penelitian Tugas Akhir ini, pengujian melihat bagaimana regresi linier dari kalibrasi *high voltage*. Pengujian dilakukan dengan membuat grafik antara dua tegangan yang terukur dengan tegangan referensi agar data yang diperoleh

dapat dilihat perbedaannya.

3.3.7 Presisi

Presisi menunjukkan seberapa besar kedekatan nilai dari hasil pengukuran dengan dilakukannya pengulangan. Dalam melakukan perhitungan presisi, ada beberapa hal yang harus dihitung. Persamaan perhitungan yang digunakan untuk menghitung presisi terdapat pada Persamaan 3.9 hingga 3.11.

a. Ralat Mutlak

$$\Delta = \sqrt{\frac{(x-\bar{x})^2}{(n-1)}} \dots\dots\dots (3.9)$$

b. Ralat Nisbi

$$I = \frac{\Delta}{\bar{x}} 100\% \dots\dots\dots (3.10)$$

c. Keseksamaan

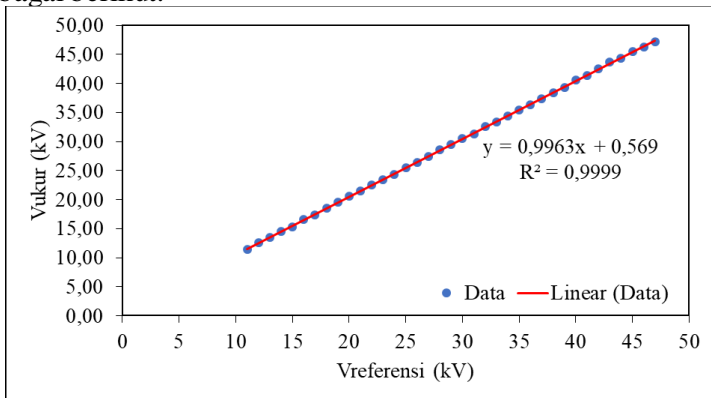
$$K = 100\% - I \dots\dots\dots (3.11)$$

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kalibrasi *High Voltage*

Dalam perancangan suatu alat, perlu dilakukan kalibrasi untuk mengetahui keakuratan atau tingkat kepercayaan dari alat tersebut. Sebelum dikalibrasi, *high voltage* perlu dilakukan pengaturan awal dengan menambah atau mengurangi jumlah lilitan pada rangkaian untuk mendapatkan tegangan keluaran sesuai kebutuhan. Pada penelitian Tugas Akhir ini, kalibrasi *high voltage* dilakukan untuk mengetahui akurasi besar tegangan keluaran. Untuk mengkalibrasi *high voltage*, dilakukan pengukuran menggunakan multimeter sebanyak 5 kali pengulangan. Besar tegangan keluaran yang diukur akan dirata-rata kemudian akan dibandingkan oleh tegangan referensi. Tegangan referensi yang dimaksud ialah tegangan yang akan ditampilkan oleh LCD pada HVPS. Kalibrasi *high voltage* ditunjukkan pada Gambar 4.1 sebagai berikut.



Gambar 4.1 Grafik Kalibrasi *High Voltage*.

Gambar 4.1 merupakan grafik kalibrasi *high voltage* yang didapatkan dari hasil perhitungan data pada Lampiran 1 Tabel 1. Data pada lampiran 1 memiliki tegangan minimal sebesar 11 kV dan tegangan maksimal sebesar 47 kV. Rentang tegangan 11 kV

hingga 47 kV dibuat sebagai prakiraan lucutan korona mulai terbentuk hingga plasma pada jarak elektroda yang digunakan sebagai variasinya. Pada grafik tersebut, memiliki koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9999 yang artinya alat berfungsi baik sesuai tegangan yang diinginkan.

4.2 Akurasi *High Voltage*

Dalam perancangan suatu alat perlu dilakukan uji akurasi untuk mengetahui bagaimana keakuratan dari alat tersebut. Pada pembuatan alat ini, dilakukan akurasi terhadap data tegangan pada *high voltage*. Untuk mendapatkan nilai keakuratan, maka perlu dihitung nilai errornya terlebih dahulu. Berikut contoh perhitungan untuk mendapatkan keakuratan pada tegangan 11 kV. Perhitungan akurasi menggunakan nilai rata-rata hasil pengukuran dari 5 kali pengulangan.

$$\text{Error} = \left| \frac{\text{Vreferensi} - \text{pengukuran}}{\text{referensi}} \right| \times 100\%$$

$$\text{Error} = \left| \frac{11 - 11.47}{11} \right| \times 100\% = 0.00042\%$$

$$\text{Keakuratan} = 100\% - \text{Error}$$

$$\text{Keakuratan} = 100\% - 0.00042\% = 99.99958\%$$

Beberapa contoh pengukuran akurasi pada *high voltage* disajikan pada Tabel 4.1 sebagai berikut.

Tabel 4.1 Hasil Akurasi *High Voltage*.

Vreferensi (kV)	Vukur (kV)	Error (%)	Keakuratan (%)
11	11.47	0.00042	99.99958
12	12.58	0.00049	99.99951
13	13.51	0.00040	99.99960
14	14.58	0.00042	99.99958
15	15.35	0.00024	99.99976
Rata-Rata		0.00039	99.99961

Berdasarkan hasil uji akurasi pada Tabel 4.1, menunjukkan bahwa rata-rata error pada *high voltage* sebesar 0,00039% dan keakuratannya 99,99961%. Selain Tabel 4.1, secara keseluruhan

eror pada HVPS yang dibuat sebesar 0.00019% dan nilai keakuratannya sebesar 99.99981% yang disajikan pada Lampiran 1 Tabel 2. Artinya, bahwa *high voltage* menunjukkan akurasi yang sangat bagus dan sesuai yang diinginkan.

4.3 Linieritas *High Voltage*

Uji linieritas bertujuan untuk mengetahui apakah dua variabel mempunyai hubungan yang linier atau tidak. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana regresi linear dari tegangan terhadap keluaran arus listrik dari *high voltage*. Sebelum dilakukan pengujian linieritas, kuat arus listrik pada keluaran *high voltage* perlu dihitung dengan menggunakan persamaan transformator ideal.

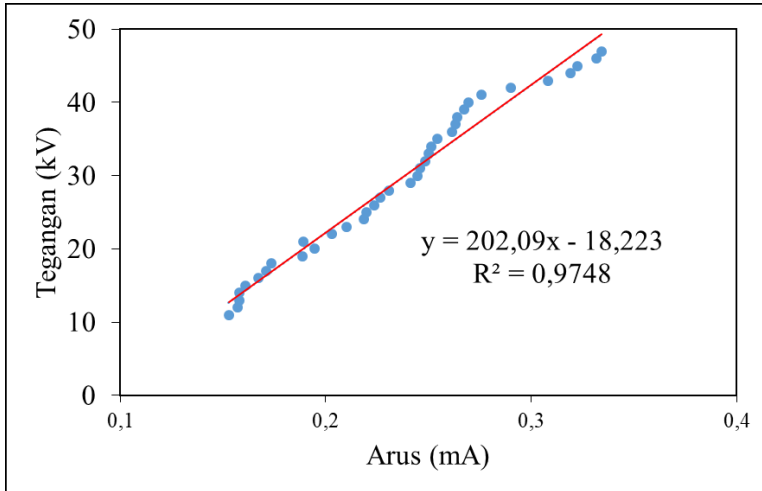
Berikut merupakan contoh perhitungan arus keluaran *flyback* dengan menggunakan Persamaan 2.1 apabila digunakan tegangan masukan sebesar 6 V, arus masukan sebesar 0,196 A, dan tegangan keluaran sebesar 11 kV.

$$\frac{V_{in}}{V_{out}} = \frac{I_{out}}{I_{in}}$$

$$\frac{11000}{8,58} = \frac{I_{out}}{0,196}$$

$$I_{out} = 0,152880 \text{ mA}$$

Dari contoh perhitungan tersebut, maka dapat dibuat tabel kuat arus listrik keluaran yang disajikan pada Lampiran 1 Tabel 3. Setelah didapat arus listrik, kemudian dilakukan pengujian linieritas tegangan terhadap arus listrik pada keluaran *high voltage* yang disajikan pada Gambar 4.2 sebagai berikut.



Gambar 4.2 Linieritas *High Voltage*.

Gambar 4.2 merupakan grafik linieritas tegangan terhadap arus listrik pada keluaran *high voltage*. Linieritas tersebut memiliki persamaan regresi linear $y = 202,09x + 18,223$ dan memiliki koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9748. Jika dilihat dari persamaan linearitas yang didapat, maka dapat diartikan bahwa setiap kenaikan arus listrik 0,01 mA, tegangan akan naik sebesar 202,09 V. Apabila dilihat dari koefisien determinasinya sebesar 0,9748 maka dapat diartikan bahwa perubahan arus listrik mempengaruhi tegangan 97,48% dengan error sebesar 2,52% disebabkan oleh variabel lain.

4.4 Presisi *Breakdown Voltage*

Uji Presisi bertujuan untuk mengetahui keseksamaan dari hasil pengukuran yang diulang. Presisi pada penelitian Tugas Akhir ini yaitu kedekatan hasil pengukuran *breakdown voltage* pada jarak elektroda dan debit aliran gas.

Berikut merupakan contoh perhitungan presisi pada variasi jarak elektroda 10 mm pada debit 1 L/min dimana data pengulangan *breakdown voltage* disajikan pada Lampiran 1 Tabel 4.

a) Ralat Mutlak

$$\Delta = \sqrt{\frac{(V-\tilde{V})^2}{(n-1)}} = \sqrt{\frac{0.8}{(5-1)}} = 0.447$$

b) Ralat Nisbi

$$I = \frac{\Delta}{\tilde{V}} \times 100\% = \frac{0.447}{18.8} \times 100\% = 2.37\%$$

c) Keseksamaan

$$K = 100\% - I = 97.62\%$$

Setelah dilakukan perhitungan seperti pada contoh di atas, maka diperoleh nilai presisi pada debit 1 L/menit hingga 3 L/menit seperti pada Tabel 4.2 sebagai berikut.

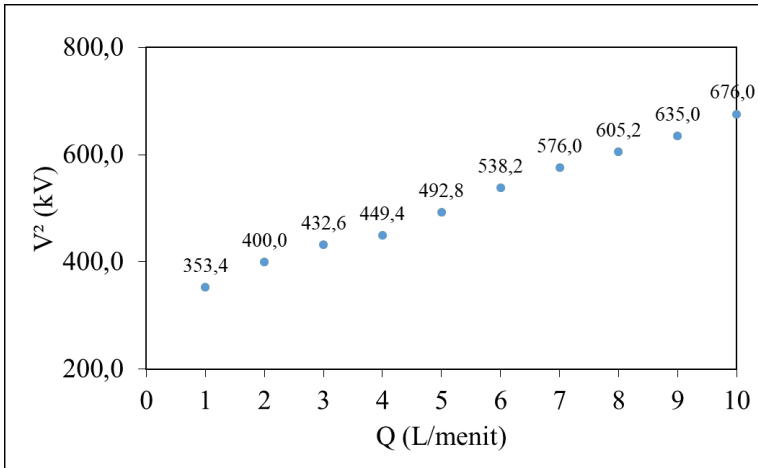
Tabel 4.2 Presisi *Breakdown Voltage* pada Jarak Elektroda 10 mm.

Q (L/min)	Tegangan (kV)	V- \tilde{V}	(V- \tilde{V}) ²	$\Sigma(V-\tilde{V})^2$	Presisi (%)
1	18	0,8	0,64	0,8	97,62
	19	0,2	0,04		
	19	0,2	0,04		
	19	0,2	0,04		
	19	0,2	0,04		
\tilde{V}	18,8				
2	20	0	0	0	100
	20	0	0		
	20	0	0		
	20	0	0		
	20	0	0		
\tilde{V}	20				
3	21	0,2	0,04	0,8	97,85
	20	0,8	0,64		
	21	0,2	0,04		
	21	0,2	0,04		
	21	0,2	0,04		

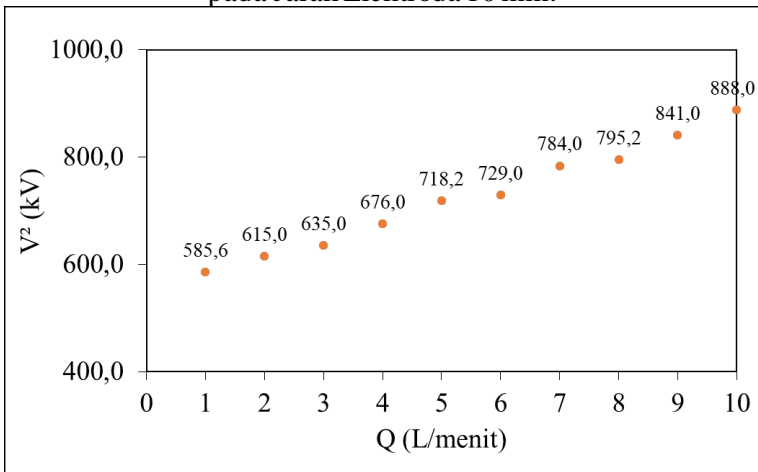
Tabel 4.2 serta pada Lampiran 1 (Tabel 7 hingga Tabel 9) merupakan nilai presisi *breakdown voltage* pada masing-masing variasi jarak elektroda. Nilai presisi yang didapatkan berbeda-beda tiap debit yang ditentukan. Perbedaan tersebut disebabkan pengaturan tegangan keluaran pada HVPS dilakukan pembulatan ke satuan kV, padahal saat diukur menggunakan multimeter tegangan yang didapat tidak bulat dan memiliki rentang ratusan volt. Secara keseluruhan, nilai presisi yang didapat pada masing-masing variasi di atas 97%. Hal tersebut berarti pengulangan yang dilakukan sebanyak 5 kali memiliki nilai yang sangat presisi karena memiliki error hanya 3%.

4.5 Analisis *Breakdown Voltage* terhadap Debit

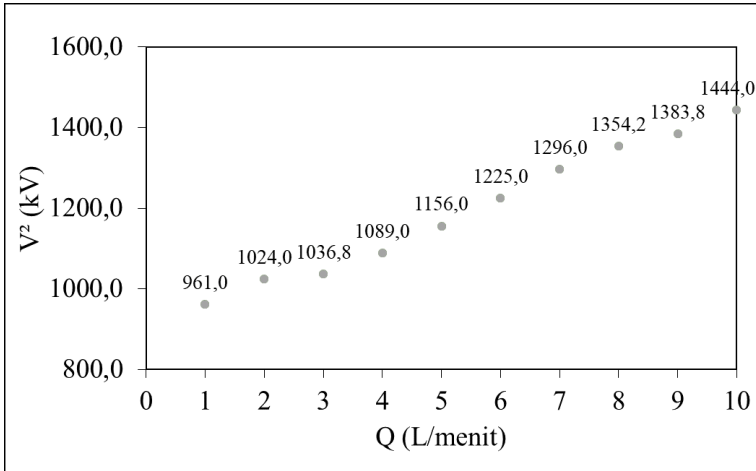
Salah satu bagian dalam *electrostatic precipitator* yaitu *high voltage* yang mempunyai peran untuk melucutkan korona pada dua elektroda di dalam *chamber* kemudian akan menjadi plasma. Pengambilan data *breakdown voltage* bertujuan untuk melihat pengaruh tegangan minimum yang dibutuhkan untuk melucutkan korona agar elektron yang berasal elektroda yang bersumber dari *high voltage* dapat menumbuk elektron pada oksigen yang mengalir. Sebelum menganalisa dalam bentuk grafik dan sesuai dengan Persamaan 3.6 *breakdown voltage* pada masing-masing variasi jarak elektroda dirata-rata terlebih dahulu kemudian dikuadratkan. Untuk mengetahui *breakdown voltage* kuadrat secara umum disajikan pada Lampiran 1 Tabel 10. Gambar 4.3 hingga Gambar 4.5 menunjukkan grafik perbandingan *breakdown voltage* kuadrat terhadap debit pada masing-masing jarak elektroda.



Gambar 4.3 Grafik *Breakdown Voltage* Kuadrat terhadap Debit pada Jarak Elektroda 10 mm.



Gambar 4.4 Grafik *Breakdown Voltage* Kuadrat terhadap Debit pada Jarak Elektroda 15 mm.



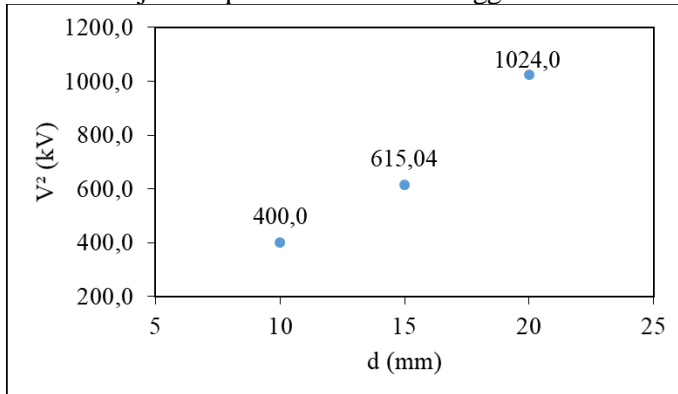
Gambar 4.5 Grafik *Breakdown Voltage* Kuadrat terhadap Debit pada Jarak Elektroda 20 mm.

Sesuai Gambar 4.3 hingga Gambar 4.5, jika diplot pada grafik dapat dilihat bahwa *breakdown voltage* kuadrat pada debit 1 L/menit memiliki nilai yang lebih kecil daripada variasi debit yang lain. Semakin bertambahnya debit gas oksigen, maka *breakdown voltage* semakin besar juga. Hal tersebut dikarenakan elektron yang berpindah dari satu elektroda ke elektroda lain membutuhkan energi kinetik yang lebih besar untuk menumbuk elektron pada oksigen yang mengalir. Pada ketiga gambar tersebut *breakdown voltage* terkecil terdapat pada variasi jarak elektroda 10 mm dengan debit 1 L/menit yakni sebesar 353,4 kV dan *breakdown voltage* terbesar pada jarak elektroda 20 mm dengan debit 10 L/menit yakni sebesar 1444,0 kV.

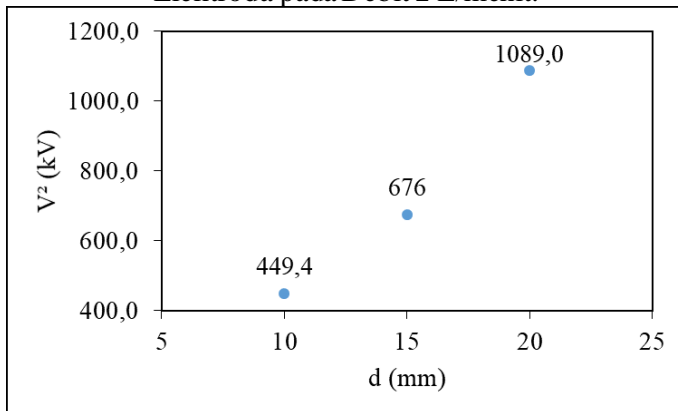
4.6 Analisis *Breakdown Voltage* terhadap Jarak Elektroda

Selain analisis *breakdown voltage* terhadap debit gas oksigen, diperlukan juga analisis *breakdown voltage* terhadap jarak elektroda. Elektroda merupakan komponen terpenting untuk menciptakan plasma. Jarak elektroda yang digunakan pada penelitian ini yakni: 10 mm, 15 mm, dan 20 mm. Pemilihan jarak

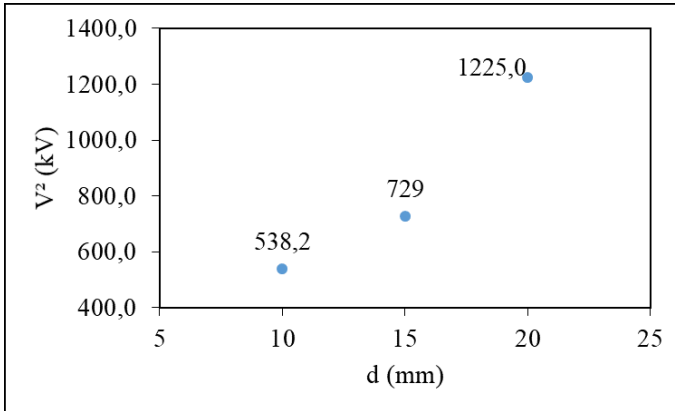
elektroda disesuaikan dengan besar *high voltage* yang telah didapatkan. Analisis *breakdown voltage* kuadrat terhadap jarak elektroda ditunjukkan pada Gambar 4.6 hingga Gambar 4.9.



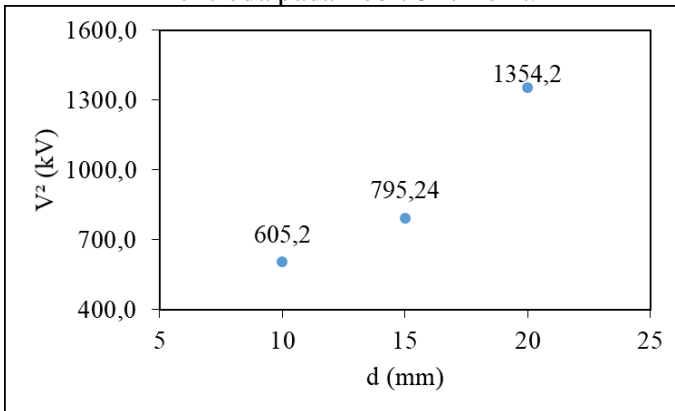
Gambar 4.6 Grafik *Breakdown Voltage* Kuadrat terhadap Jarak Elektroda pada Debit 2 L/menit.



Gambar 4.7 Grafik *Breakdown Voltage* Kuadrat terhadap Jarak Elektroda pada Debit 4 L/menit.



Gambar 4.8 Grafik *Breakdown Voltage* Kuadrat terhadap Jarak Elektroda pada Debit 6 L/menit.



Gambar 4.9 Grafik *Breakdown Voltage* Kuadrat terhadap Jarak Elektroda pada Debit 8 L/menit.

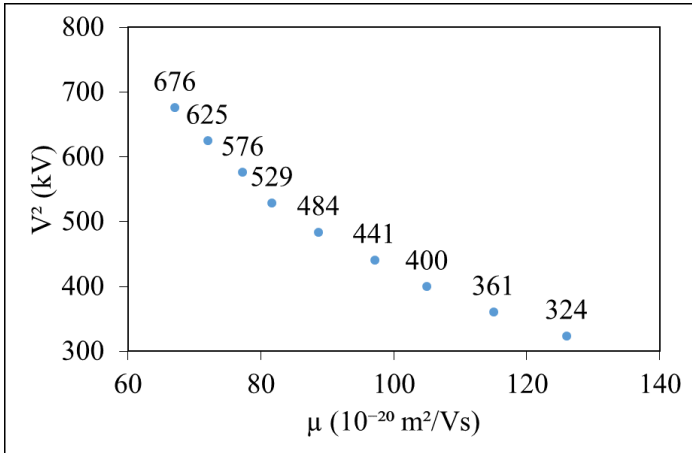
Gambar 4.6 hingga Gambar 4.9 menunjukkan hubungan antara *breakdown voltage* kuadrat dengan jarak elektroda. *Breakdown voltage* kuadrat terbesar dari ketiga grafik tersebut pada saat jarak elektroda 20 mm dan dari ketiga grafik tersebut menunjukkan *breakdown voltage* kuadrat terkecil pada saat jarak elektroda 10 mm.

Meskipun jarak elektrodanya sama, *breakdown voltage*

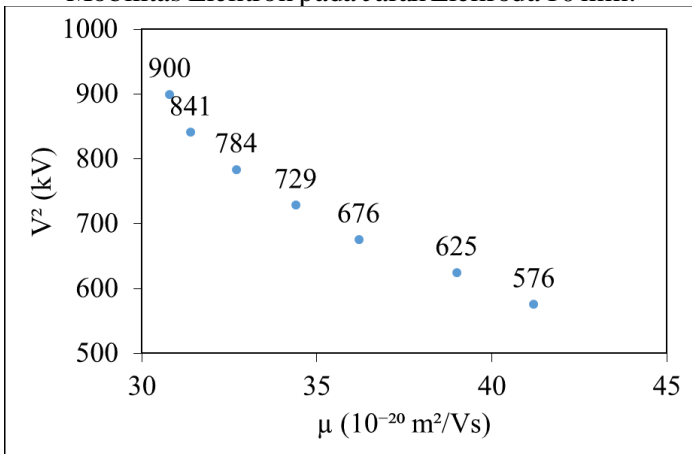
kuadrat juga lebih besar seiring bertambahnya debit gas oksigen yang diinjeksikan. Hal tersebut dikarenakan debit gas oksigen yang diinjeksikan memiliki kecepatan yang berbeda-beda sehingga membuat energi kinetik elektron pada gas oksigen juga berbeda. Semakin besar kecepatan elektron gas oksigen, maka energi kinetiknya juga semakin besar. Besarnya energi kinetik tersebut juga akan mempengaruhi energi kinetik elektron yang berasal dari elektroda akibat adanya *breakdown voltage*. Pada ketiga gambar tersebut *breakdown voltage* terkecil terdapat pada debit 2 L/menit dengan jarak elektroda 10 mm yakni sebesar 400 kV dan *breakdown voltage* terbesar pada debit 8 L/menit dengan jarak elektroda 20 mm yakni sebesar 1354,2 kV.

4.7 Analisis *Breakdown Voltage* terhadap Mobilitas Elektron

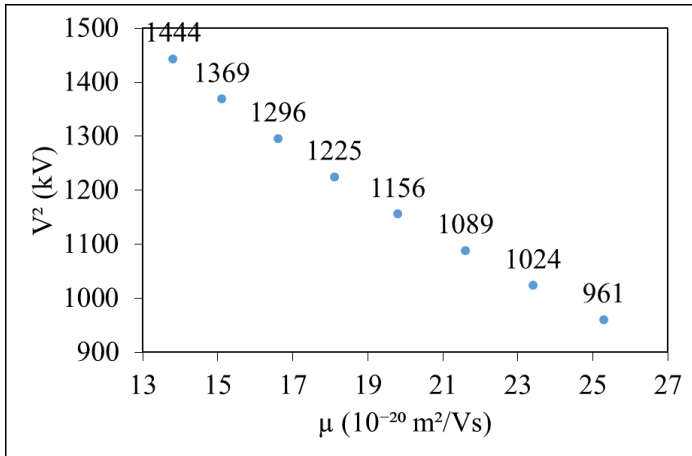
Mobilitas (μ) ialah kecepatan suatu elektron yang bergerak dalam satuan medan listrik. Pada penelitian ini, faktor yang mempengaruhi mobilitas yakni: permitivitas bahan, jarak elektroda, *breakdown voltage*, dan arus saturasi unipolar. Pada penelitian ini, digunakan gas oksigen dengan konstanta dielektrik yang besarnya 1,57 (sumber: *engineeringtoolbox.com*). Untuk mendapatkan nilai permitivitas oksigen, maka konstanta dielektrik oksigen yang besarnya 1,57 dikalikan dengan permitivitas ruang hampa atau udara (ϵ_0) yang besarnya $8,85 \cdot 10^{-12}$ C/vm. Sehingga, permitivitas oksigen didapatkan sebesar $13,894510^{-12}$ C/vm. Dengan menggunakan Persamaan 2.2, maka dapat dihitung mobilitas (μ) yang disajikan pada Lampiran 1 Tabel 12 hingga Tabel 14. Gambar 4.10 hingga Gambar 4.12 menunjukkan grafik hubungan antara *breakdown voltage* kuadrat terhadap mobilitas elektron.



Gambar 4.10 Grafik *Breakdown Voltage* Kuadrat terhadap Mobilitas Elektron pada Jarak Elektroda 10 mm.



Gambar 4.11 Grafik *Breakdown Voltage* Kuadrat terhadap Mobilitas Elektron pada Jarak Elektroda 15 mm.



Gambar 4.12 Grafik *Breakdown Voltage* Kuadrat terhadap Mobilitas Elektron pada Jarak Elektroda 20 mm.

Dari ketiga gambar tersebut, dapat diketahui bahwa semakin bertambahnya jarak elektroda, maka *breakdown voltage* semakin berkurang berakibat mobilitas elektron semakin berkurang. Hal tersebut dapat dipengaruhi oleh *breakdown voltage* yang berbeda-beda pada masing-masing jarak elektroda. Elektron yang bergerak dari satu elektroda ke elektroda lain membutuhkan energi yang dimana energi tersebut membutuhkan nilai mobilitas. Mobilitas menyebabkan berpindahnya elektron dari satu elektroda ke elektroda yang lain dan membutuhkan kecepatan tertentu agar elektron dapat berpindah. Mobilitas elektron pada penelitian ini terdapat pada daerah aliran elektron, karena mobilitas sendiri ialah kecepatan elektron per satuan medan listrik. Selain itu, ketiga gambar tersebut menunjukkan grafik eksponensial karena mobilitas elektron pada penelitian Tugas Akhir ini sama halnya dengan reaksi pengosongan pada kapasitor hanya saja data pada penelitian Tugas Akhir ini ialah data diskrit. Apabila dua buah elektroda diberikan medan listrik yang besar, maka mobilitas elektron yang mengalir semakin kecil. Sehingga, hubungan mobilitas elektron terhadap *breakdown voltage* kuadrat ialah berbanding terbalik.

Berdasarkan perhitungan yang disajikan pada Lampiran 1 Tabel 11 hingga Tabel 13, nilai mobilitas elektron terkecil didapatkan pada *breakdown voltage* kuadrat sebesar 1444 kV pada jarak elektroda 20 mm yakni sebesar $13,8 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2/\text{Vs}$. Selain itu, mobilitas elektron terbesar ketika *breakdown voltage* kuadrat sebesar 324 kV pada jarak elektroda 10 mm yakni sebesar $126 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2/\text{Vs}$.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Pembuatan reaktor plasma berbasis *Electrostatic Precipitator* terdiri 4 bagian, yakni: *DC High Voltage* dengan akurasi 99.99981%, *chamber*, gas oksigen, dan pompa vakum.
2. Plasma dapat terbentuk dari gas oksigen dikarenakan gas oksigen terionisasi akibat adanya tumbukan elektron dari dua elektroda dengan elektron dari gas oksigen.
3. Hubungan *breakdown voltage* terhadap debit gas oksigen 1 L/menit hingga 10 L/menit ialah berbanding lurus. Selain debit, hubungan *breakdown voltage* terhadap jarak elektroda berbanding lurus.
4. Nilai mobilitas elektron terbesar yakni $126 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2/\text{Vs}$ pada jarak elektroda 10 mm dengan *breakdown voltage* kuadrat sebesar 324 kV. Sedangkan nilai mobilitas terkecil yakni $13,8 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2/\text{Vs}$ pada jarak elektroda 20 mm dengan *breakdown voltage* kuadrat 1444 kV.

5.2 Saran

1. Pengukuran dan kalibrasi *high voltage* dilakukan dengan skala Volt sesuai dan tidak dilakukan pembulatan ke kV agar mendapatkan data *breakdown voltage* yang lebih akurat dengan selisih nilai yang lebih mendetail.
2. Perlu dilakukan pengukuran tekanan dan temperatur di dalam *chamber* untuk mengetahui karakteristik plasma yang diciptakan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Rawahi, S.M. & Abdul-Halem, R.A. 2017. “*Design And Simulation Of A High Voltage DC (HVDC) Generator.*” 7th National Symposium on Engineering Final Year Projects. Initial Campus, Birkat Al Mouz: P.O.Box:33, PC: 616
- Haryati, Diah & Sukma. 2013. "Hubungan Antara Intensitas Sinar Matahari dan Kandungan Oksigen (O₂) di Atmosfer pada Lapisan Troposfer sampai Lapisan Eksosfer Menggunakan Teleskop Spektograf Atmosfer di LAPAN Watukosek Periode Juni 2012-Mei 2013". Skripsi, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Malang: Malang
- Giancoli, Douglas C. 2015. “*Physics: Principle with Applications Sixth Edition.*” United States of America: Pearson Educatio, Inc.
- https://engineeringtoolbox.com/amp/liquid-dielectric-constants-d_1263.html (diakses pada 18 Desember 2019)
- <https://liputan6.com/teknoread/797093/tv-plasma-hadir-di-tahun-1960an-dan-akan-mati-tahun-ini> (diakses pada 1 Juli 2019)
- F. Paschen Wiedemann, Ann. 1889. *Phys. Chem.* 37 69–96.
- K. Parker. 2007. "*Electrical Operation of Electrostatic Precipitator.*"
- Kasih, T.P. & Nasution, Januar. 2016. "Pengembangan Teknologi Plasma Dingin untuk Modifikasi Karakteristik Permukaan Material tanpa Mengubah Sifat Dasar Material." *Jurnal PASTI* Vol. X No. 3, 373 - 379.
- Kim, H.H. Prieto, G., Takashima, K., Katsura, S., Mizuno, A. 2002. “*Performance Evaluation of Discharge Plasma for Gaseous Pollutant Removal. Journal of Electrostatic Elsevier* Vol. 55”.
- NIST Chemistry Webbook. <http://webbook.nist.gov/2002>.

- Nur, Muhammad. 2011. "Fisika Plasma dan Aplikasinya." Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- Prabowo, Dwi Yulian. 2019. " Rancang Bangun Sumber Tegangan Tinggi (*High Voltage*) 20 kV dengan Teknik *Pulse Width Modulation* (PWM) Berbasis Arduino untuk Aplikasi Mesin Pemintal Serat Nano." Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- Svec, H.J. & Junk, G.A. 1967. "*Electron-Impact Studies of Substitutes Alkanes*". J.Am.Chem.Soc, 89, 790-796.
- Thonglek, Nakhom et al. 2011. "*Soot Treatment by Using High Voltage Pulse Energized Electrostatic Precipitator*." 9th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium. Chiang Mai: Elsevier Ltd, Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT), Thailand.
- Usada, Widdi. 2011. "Perhitungan Kerapatan Ion Nitrogen Pada Pembentukan FeN Dalam Proses Nitridasi Plasma." Yogyakarta: Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan BATAN Yogyakarta.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Pengukuran dan Perhitungan

Tabel 1. Data Kalibrasi *High Voltage*.

V _{referensi} (kV)	V _{ukur} (kV)					Rata-Rata
	1	2	3	4	5	
11	11,18	11,63	11,75	11,32	11,45	11,47
12	12,62	12,20	12,65	12,76	12,69	12,58
13	13,75	13,78	13,11	13,59	13,34	13,51
14	14,49	14,90	14,52	14,75	14,25	14,58
15	15,58	15,21	15,31	15,41	15,26	15,35
16	16,48	16,73	16,53	16,78	16,55	16,61
17	17,60	17,51	17,31	17,25	17,29	17,39
18	18,65	18,54	18,33	18,80	18,34	18,53
19	19,38	19,72	19,91	19,38	19,55	19,59
20	20,46	20,55	20,89	20,32	20,69	20,58
21	21,20	21,35	21,43	21,89	21,85	21,54
22	22,49	22,25	22,34	22,78	22,91	22,55
23	23,35	23,33	23,47	23,44	23,48	23,41
24	24,40	24,48	24,31	24,13	24,62	24,39
25	25,31	25,46	25,74	25,38	25,37	25,45
26	26,32	26,30	26,38	26,31	26,37	26,34
27	27,59	27,11	27,83	27,17	27,59	27,46
28	28,60	28,55	28,89	28,65	28,29	28,60
29	29,49	29,35	29,30	29,38	29,78	29,46
30	30,56	30,65	30,79	30,45	30,16	30,52
31	31,50	31,60	31,33	31,13	31,26	31,36

32	32,48	32,70	32,46	32,75	32,40	32,56
33	33,42	33,38	33,49	33,13	33,28	33,34
34	34,49	34,14	34,75	34,13	34,51	34,40
35	35,77	35,37	35,32	35,46	35,39	35,46
36	36,42	36,37	36,51	36,33	36,20	36,37
37	37,80	37,20	37,10	37,10	37,40	37,32
38	38,30	38,60	38,30	38,50	38,40	38,42
39	39,40	39,50	39,20	39,30	39,30	39,34
40	40,80	40,90	40,60	40,60	40,30	40,64
41	41,60	41,30	41,30	41,20	41,30	41,34
42	42,40	42,80	42,50	42,50	42,40	42,52
43	43,30	43,70	43,90	43,90	43,60	43,68
44	44,80	44,40	44,20	44,10	44,30	44,36
45	45,80	45,90	45,40	45,10	45,30	45,50
46	46,80	46,10	46,20	46,30	46,30	46,34
47	47,10	47,20	46,80	47,30	47,50	47,18

Tabel 2. Hasil Akurasi *High Voltage*.

Vreferensi (kV)	Vukur (kV)	Error (%)	Keakuratan (%)
11	11.47	0.00042	99.99958
12	12.58	0.00049	99.99951
13	13.51	0.00040	99.99960
14	14.58	0.00042	99.99958
15	15.35	0.00024	99.99976
16	16.61	0.00038	99.99962
17	17.39	0.00023	99.99977
18	18.53	0.00030	99.99970
19	19.59	0.00031	99.99969
20	20.58	0.00029	99.99971

21	21.54	0.00026	99.99974
22	22.55	0.00025	99.99975
23	23.41	0.00018	99.99982
24	24.39	0.00016	99.99984
25	25.45	0.00018	99.99982
26	26.34	0.00013	99.99987
27	27.46	0.00017	99.99983
28	28.60	0.00021	99.99979
29	29.46	0.00016	99.99984
30	30.52	0.00017	99.99983
31	31.36	0.00012	99.99988
32	32.56	0.00017	99.99983
33	33.34	0.00010	99.99990
34	34.40	0.00012	99.99988
35	35.46	0.00013	99.99987
36	36.37	0.00010	99.99990
37	37.32	0.00009	99.99991
38	38.42	0.00011	99.99989
39	39.34	0.00009	99.99991
40	40.64	0.00016	99.99984
41	41.34	0.00008	99.99992
42	42.52	0.00012	99.99988
43	43.68	0.00016	99.99984
44	44.36	0.00008	99.99992
45	45.50	0.00011	99.99989
46	46.34	0.00007	99.99993
47	47.18	0.00004	99.99996
Rata-Rata		0.00019	99.99981

Tabel 3. Perhitungan Arus Listrik Keluaran pada *High Voltage*.

V_{in} (V)	I_{in} (A)	V_{out} (kV)	I_{out} (mA)
8,58	0,196	11	0,152880
8,58	0,220	12	0,157300
8,58	0,239	13	0,157740
8,58	0,258	14	0,158117
8,58	0,281	15	0,160732
8,58	0,312	16	0,167310
8,58	0,339	17	0,171095
8,58	0,364	18	0,173507
8,58	0,418	19	0,188760
8,58	0,453	20	0,194337
8,57	0,463	21	0,188948
8,57	0,521	22	0,202953
8,57	0,564	23	0,210151
8,57	0,612	24	0,218535
8,57	0,641	25	0,219735
8,57	0,678	26	0,223479
8,57	0,714	27	0,226629
8,57	0,754	28	0,230778
8,56	0,818	29	0,241451
8,56	0,857	30	0,244531
8,56	0,890	31	0,245755
8,56	0,928	32	0,248240
8,56	0,964	33	0,250056
8,56	0,999	34	0,251513
8,56	1,040	35	0,254354

8,56	1,100	36	0,261556
8,56	1,138	37	0,263278
8,56	1,171	38	0,263783
8,55	1,220	39	0,267462
8,55	1,261	40	0,269539
8,55	1,323	41	0,275894
8,55	1,424	42	0,289886
8,55	1,549	43	0,307999
8,55	1,643	44	0,319265
8,55	1,698	45	0,322620
8,55	1,784	46	0,331591
8,55	1,837	47	0,334178

Tabel 4. Data Pengukuran *Breakdown Voltage* pada Jarak Elektroda 10 mm.

Q (L/min)	Breakdown Voltage (kV)						V ²
	1	2	3	4	5	Rata-Rata	
1	18	19	19	19	19	18,8	353,4
2	20	20	20	20	20	20,0	400,0
3	21	20	21	21	21	20,8	432,6
4	21	21	21	21	22	21,2	449,4
5	22	22	22	22	23	22,2	492,8
6	23	23	23	23	24	23,2	538,2
7	24	24	24	24	24	24,0	576,0
8	25	24	25	24	25	24,6	605,2
9	26	25	25	25	25	25,2	635,0
10	26	26	26	26	26	26,0	676,0

Tabel 5. Data Pengukuran *Breakdown Voltage* pada Jarak Elektroda 15 mm

Q (L/min)	Breakdown Voltage (kV)						V ²
	1	2	2	4	5	Rata-Rata	
1	24	24	24	24	25	24,2	585,6
2	24	25	25	25	25	24,8	615,0
3	25	25	25	25	26	25,2	635,0
4	26	26	26	26	26	26,0	676,0
5	27	26	27	27	27	26,8	718,2
6	27	27	27	27	27	27,0	729,0
7	28	28	28	28	28	28,0	784,0
8	28	28	29	28	28	28,2	795,2
9	29	29	29	29	29	29,0	841,0
10	30	30	30	29	30	29,8	888,0

Tabel 6. Data Pengukuran *Breakdown Voltage* pada Jarak Elektroda 20 mm

Q (L/min)	Breakdown Voltage (kV)						V ²
	1	2	2	4	5	Rata-Rata	
1	31	31	31	31	31	31,0	961,0
2	32	32	32	32	32	32,0	1024,0
3	33	32	32	32	32	32,2	1036,8
4	33	33	33	33	33	33,0	1089,0
5	34	34	34	34	34	34,0	1156,0
6	35	35	35	35	35	35,0	1225,0
7	36	36	36	36	36	36,0	1296,0
8	37	37	37	37	36	36,8	1354,2
9	37	38	37	37	37	37,2	1383,8
10	38	38	38	38	38	38,0	1444,0

Tabel 7. Presisi *Breakdown Voltage* pada Jarak Elektroda 10 mm.

Q (L/min)	Tegangan (kV)	V- \tilde{V}	(V- \tilde{V}) ²	$\Sigma(V-\tilde{V})^2$	Presisi (%)
1	18	0,8	0,64	0,8	97,62
	19	0,2	0,04		
	19	0,2	0,04		
	19	0,2	0,04		
	19	0,2	0,04		
\tilde{V}	18,8				
2	20	0	0	0	100
	20	0	0		
	20	0	0		
	20	0	0		
	20	0	0		
\tilde{V}	20				
3	21	0,2	0,04	0,8	97,85
	20	0,8	0,64		
	21	0,2	0,04		
	21	0,2	0,04		
	21	0,2	0,04		
\tilde{V}	20,8				
4	21	0,2	0,04	0,8	97,89
	21	0,2	0,04		
	21	0,2	0,04		
	21	0,2	0,04		
	22	0,8	0,64		
\tilde{V}	21,2				
5	22	0,2	0,04	0,8	97,99
	22	0,2	0,04		

	22	0,2	0,04		
	22	0,2	0,04		
	23	0,8	0,64		
\tilde{V}	22,2				
6	23	0,2	0,04	0,8	98,07
	23	0,2	0,04		
	23	0,2	0,04		
	23	0,2	0,04		
	24	0,8	0,64		
\tilde{V}	23,2				
7	24	0	0	0	100
	24	0	0		
	24	0	0		
	24	0	0		
	24	0	0		
\tilde{V}	24				
8	25	0,4	0,16	1,2	97,77
	24	0,6	0,36		
	25	0,4	0,16		
	24	0,6	0,36		
	25	0,4	0,16		
\tilde{V}	24,6				
9	26	0,8	0,64	0,8	98,23
	25	0,2	0,04		
	25	0,2	0,04		
	25	0,2	0,04		
	25	0,2	0,04		
\tilde{V}	25,2				
10	26	0	0	0	100

	26	0	0		
	26	0	0		
	26	0	0		
	26	0	0		
\tilde{V}	26				

Tabel 8. Presisi *Breakdown Voltage* pada Jarak Elektroda 15 mm

Q (L/min)	Tegangan (kV)	$V-\tilde{V}$	$(V-\tilde{V})^2$	$\Sigma(V-\tilde{V})^2$	Presisi (%)
1	24	0,2	0,04	0,8	98,15
	24	0,2	0,04		
	24	0,2	0,04		
	24	0,2	0,04		
	25	0,8	0,64		
\tilde{V}	24,2				
2	24	0,8	0,64	0,8	98,20
	25	0,2	0,04		
	25	0,2	0,04		
	25	0,2	0,04		
	25	0,2	0,04		
\tilde{V}	24,8				
3	25	0,2	0,04	0,8	98,23
	25	0,2	0,04		
	25	0,2	0,04		
	25	0,2	0,04		
	26	0,8	0,64		
\tilde{V}	25,2				
4	26	0	0	0	100
	26	0	0		
	26	0	0		

	26	0	0		
	26	0	0		
\tilde{V}	26				
5	27	0,2	0,04	0,8	98,33
	26	0,8	0,64		
	27	0,2	0,04		
	27	0,2	0,04		
	27	0,2	0,04		
\tilde{V}	26,8				
6	27	0	0	0	100
	27	0	0		
	27	0	0		
	27	0	0		
	27	0	0		
\tilde{V}	27				
7	28	0	0	0	100
	28	0	0		
	28	0	0		
	28	0	0		
	28	0	0		
\tilde{V}	28				
8	28	0,2	0,04	0,8	98,41
	28	0,2	0,04		
	29	0,8	0,64		
	28	0,2	0,04		
	28	0,2	0,04		
\tilde{V}	28,2				
9	29	0	0	0	100
	29	0	0		

	29	0	0		
	29	0	0		
	29	0	0		
\tilde{V}	29				
10	30	0,2	0,04	0,8	98,50
	30	0,2	0,04		
	30	0,2	0,04		
	29	0,8	0,64		
	30	0,2	0,04		
\tilde{V}	29,8				

Tabel 9. Presisi *Breakdown Voltage* pada Jarak Elektroda 20 mm.

Q (L/min)	Tegangan (kV)	$V-\tilde{V}$	$(V-\tilde{V})^2$	$\Sigma(V-\tilde{V})^2$	Presisi (%)
1	31	0	0	0	100
	31	0	0		
	31	0	0		
	31	0	0		
	31	0	0		
\tilde{V}	31				
2	32	0	0	0	100
	32	0	0		
	32	0	0		
	32	0	0		
	32	0	0		
\tilde{V}	32				
3	33	0,8	0,64	0,8	98,61
	32	0,2	0,04		
	32	0,2	0,04		
	32	0,2	0,04		

	32	0,2	0,04		
\tilde{V}	32,2				
4	33	0	0	0	100
	33	0	0		
	33	0	0		
	33	0	0		
	33	0	0		
\tilde{V}	33				
5	34	0	0	0	100
	34	0	0		
	34	0	0		
	34	0	0		
	34	0	0		
\tilde{V}	34				
6	35	0	0	0	100
	35	0	0		
	35	0	0		
	35	0	0		
	35	0	0		
\tilde{V}	35				
7	36	0	0	0	100
	36	0	0		
	36	0	0		
	36	0	0		
	36	0	0		
\tilde{V}	36				
8	37	0,2	0,04	0,8	98,78
	37	0,2	0,04		
	37	0,2	0,04		

	37	0,2	0,04		
	36	0,8	0,64		
\tilde{V}	36,8				
9	37	0,2	0,04	0,8	98,80
	38	0,8	0,64		
	37	0,2	0,04		
	37	0,2	0,04		
	37	0,2	0,04		
\tilde{V}	37,2				
10	38	0	0	0	100
	38	0	0		
	38	0	0		
	38	0	0		
	38	0	0		
\tilde{V}	38				

Tabel 10. Analisis *Breakdown Voltage* Kuadrat terhadap Debit.

Q (L/min)	V ² (kV)		
	10 mm	15 mm	20 mm
1	353,4	585,64	961,0
2	400,0	615,04	1024,0
3	432,6	635,04	1036,8
4	449,4	676	1089,0
5	492,8	718,24	1156,0
6	538,2	729	1225,0
7	576,0	784	1296,0
8	605,2	795,24	1354,2
9	635,0	841	1383,8
10	676,0	888,04	1444,0

Tabel 11. Analisis *Breakdown Voltage* Kuadrat terhadap Jarak Elektroda.

d (mm)	V ² (kV)			
	Q = 2 L/men	Q = 4 L/men	Q = 6 L/men	Q = 8 L/men
10	400	449,44	538,24	605,16
15	615,04	676	729	795,24
20	1024	1089	1225	1354,24

Tabel 12. Perhitungan Mobilitas Elektron pada Jarak Elektroda 10 mm.

V _p (V)	I _p (A)	V _s (kV)	I _s (mA)	μ (10 ⁻²⁰ m ² /Vs)
8.58	1.191	18	0.567710	126
8.58	1.278	19	0.577118	115
8.58	1.369	20	0.587301	105
8.57	1.458	21	0.595003	97.1
8.57	1.532	22	0.596784	88.7
8.57	1.612	23	0.600645	81.7
8.57	1.732	24	0.618468	77.3
8.57	1.823	25	0.624924	72
8.57	1.912	26	0.630225	67.1

Tabel 13. Perhitungan Mobilitas Elektron pada Jarak Elektroda 15 mm

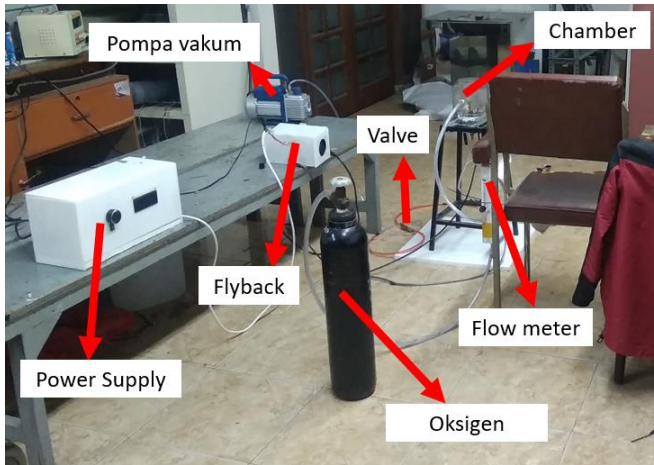
V _p (V)	I _p (A)	V _s (kV)	I _s (mA)	μ (10 ⁻²⁰ m ² /Vs)
8.57	0.93	24	0.332088	41.2
8.57	0.989	25	0.339029	39
8.57	1.031	26	0.339833	36.2

8.57	1.098	27	0.348513	34.4
8.57	1.165	28	0.356573	32.7
8.56	1.242	29	0.366604	31.4
8.56	1.351	30	0.385485	30.8

Tabel 14. Perhitungan Mobilitas Elektron pada Jarak Elektroda 20 mm.

V _p (V)	I _p (A)	V _s (kV)	I _s (mA)	μ (10^{-20} m ² /Vs)
8.56	1.223	31	0.337706	25.3
8.56	1.243	32	0.332503	23.4
8.56	1.258	33	0.326318	21.6
8.56	1.266	34	0.318734	19.8
8.56	1.261	35	0.308405	18.1
8.56	1.259	36	0.299362	16.6
8.56	1.245	37	0.288032	15.1
8.56	1.232	38	0.277524	13.8

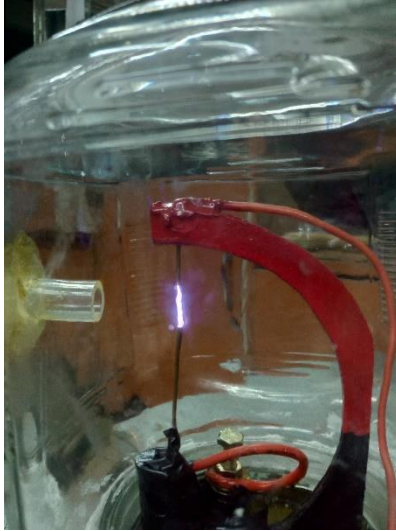
Lampiran 2. Dokumentasi Pengambilan Data



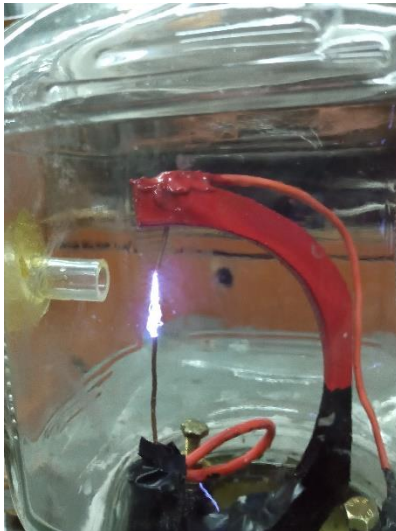
Gambar 1. Rangkaian Alat.



Gambar 2. Plasma pada Jarak Elektroda 10 mm.



Gambar 3. Plasma pada Jarak Elektroda 15 mm.



Gambar 4. Plasma pada Jarak Elektroda 20 mm.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Nama lengkap penulis yaitu Ryan Pramana Putra, dengan nama panggilan Ryan. Penulis dilahirkan di Surabaya pada tanggal 29 November 1997. Penulis merupakan anak dari pasangan Moch Samian (Alm) dan Hanik Pudjiastuti, anak pertama dari tiga bersaudara. Riwayat pendidikan penulis yaitu, TK Kuncup Harapan lulus tahun 2004, SDN Bulak Rukem I lulus tahun 2010, SMPN 15 Surabaya lulus tahun 2013, SMAN 4 Surabaya lulus tahun 2016. Tahun 2016 diterima di Departemen Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) melalui jalur SNMPTN. Penulis mengambil bidang minat Instrumentasi Elektronika. Sejak semester 5, pengalaman semasa kuliah yaitu: Asisten Praktikum Fisika Dasar 1 dan 2, Asisten Dosen Fisika Dasar 1, Asisten Praktikum Elektronika Dasar 1 dan 2, Asisten Praktikum Elektronika, dan Asisten Praktikum Instrumentasi. Selain itu, penulis pernah menjadi staf Departemen Kominfo BEM FS periode 2017/2018 dan mengemban amanah sebagai Wakil 2 Ketua Himpunan Mahasiswa Fisika (Himasika) ITS periode 2018/2020. Penulis menggeluti bidang kepenulisan hingga menorehkan belasan prestasi sejak SMA. Akibat penulis aktif di bidang kepenulisan, penulis pernah menjadi pemateri *Basic Media Schooling* (BMS) dan *Advance Media Schooling* (AMS), yakni sebuah pelatihan bermedia tingkat departemen maupun fakultas. Penulis dapat diajak berdiskusi dengan via email: ryanpramanap@gmail.com