

**ANALISIS ARUS-TEGANGAN PADA PLASMA TEGANGAN
TINGGI TERHADAP MUATAN LISTRIK PADA *INVERTER*
BOOST KIT 15 KV**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat

untuk memperoleh gelar

Sarjana Teknik



Oleh :

RAMANDA FADHILLAH

NIM. I0715030

PRODI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SEBELAS MARET

SURAKARTA

2020

HALAMAN PENGESAHAN TIM PEMBIMBING DAN TIM PENGUJI

**ANALISIS ARUS-TEGANGAN PADA PLASMA TEGANGAN TINGGI
TERHADAP MUATAN LISTRIK PADA *INVERTER BOOST KIT* 15 KV**

Disusun oleh

RAMANDA FADHILLAH

NIM. I0715030

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Miftahul Anwar, S.Si., M.Eng.
NIP. 1983032420130201

Chico Hermanu B.A, S.T. M.Eng.
NIP. 198804162015041002

Telah dipertahankan di hadapan Tim Dosen Penguji pada hari Kamis Tanggal 30 Juli
2020

1. **Dr. Miftahul Anwar, S.Si., M.Eng.**
NIP. 1983032420130201
2. **Chico Hermanu B.A, S.T. M.Eng.**
NIP. 198804162015041002
3. **Feri Adriyanto, Ph.D.**
NIP. 196801161999031001
4. **Hari Maghfiroh. M.Eng.**
NIP. 199104132018031001

Kepala Prodi Teknik Elektro

Mengetahui,
Koordinator Tugas Akhir

Feri Adriyanto, Ph.D.
NIP. 196801161999031001

M. Hamka Ibrahim S.T., M.Eng.
NIP. 1988122920161001

(Sengaja dikosongkan)

(Untuk halaman surat tugas)

SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS KARYA ILMIAH

Saya mahasiswa Program Studi Sarjana Teknik Elektro Universitas Sebelas Maret yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ramanda Fadhillah
NIM : I0715030
Judul Tugas Akhir : Analisis Arus-Tegangan pada Plasma Tegangan Tinggi terhadap Muatan Listrik pada *Inverter Boost Kit* 15 KV

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir atau Skripsi yang saya susun tidak mencontoh atau melakukan plagiat dari karya tulis orang lain. Jika terbukti Tugas Akhir yang saya susun tersebut merupakan hasil plagiat dari karya orang lain maka Tugas Akhir yang saya susun tersebut dinyatakan batal dan gelar sarjana yang saya peroleh dengan sendirinya dibatalkan atau dicabut.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan apabila di kemudian hari terbukti melakukan kebohongan maka saya sanggup menanggung segala konsekuensinya.

Surakarta, 30 Juli 2020




Ramanda Fadhillah
NIM. I0715030

ANALISIS ARUS-TEGANGAN PADA PLASMA TEGANGAN TINGGI TERHADAP MUATAN LISTRIK PADA *INVERTER BOOST KIT 15 KV*

Ramanda Fadhillah

Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret

Email : ramandaf@student.uns.ac.id

ABSTRAK

Penggunaan teknologi plasma di Indonesia sudah cukup banyak digunakan dalam bidang industri. Namun, masih banyak yang belum mengetahui penggunaan plasma karena informasinya yang masih sedikit. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa hasil pengukuran arus dan tegangan yang terjadi pada plasma. Sumber plasma yang digunakan adalah *15 KV High Frequency DC High Voltage Arc Ignition Generator Inverter Step Up Boost Module 18650 DIY kit U Core Transformer Suite 3,7 V*, menghasilkan tegangan keluaran maksimal yang dapat mencapai 15 kV dan arus maksimal mencapai 2A dengan sumber tegangan DC Baterai Lithium 3,7 V. Sistem pengukuran dilakukan secara simultan antara arus primer, tegangan primer, dan tegangan sekunder. Pengukuran arus menggunakan sensor arus ACS712 5A, pengukuran tegangan sekunder menggunakan komponen tambahan *digital multimeter probe 1:1000 V* untuk pengukuran tegangan tegangan tinggi. Pengukuran menggunakan Intrustar ISDS205 sebagai *PC-Oscilloscope* dengan software *Multi Virtual Analyzer* sebagai *data recorder*. Hasil dari pengukuran arus dan tegangan akan digunakan untuk menganalisis plasma yang dihasilkan. Dari hasil perhitungan besar muatan listrik, didapatkan energi potensial yang digunakan untuk menghasilkan plasma adalah 7×10^{-10} J sampai $2,81 \times 10^{-8}$ J, memiliki tipe plasma pijar korona dengan jarak antar elektroda yang terjadi memiliki nilai rata-rata 5mm.

Kata kunci : lucutan korona, pengukuran arus, pengukuran tegangan, plasma

CURRENT-VOLTAGE ANALYSIS HIGH VOLTAGE PLASMA TOWARD ELECTRIC CHARGE IN INVERTER BOOST KIT 15 KV

Ramanda Fadhillah

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Sebelas Maret
University

Email : ramandaf@student.uns.ac.id

ABSTRACT

The use of plasma technology in Indonesia is quite widely used in the industrial field, but there are still many who do not know the use of plasma because the information is still small. This research was conducted to analyze the results of current and voltage measurements that occur in plasma. The plasma source used is 15 KV High Frequency DC High Voltage Arc Ignition Generator Step Up Boost Module 18650 DIY kit U Core Transformer Suite 3,7 V, producing a maximum output voltage that can reach 15 kV and the maximum current reaching 2 A with a DC voltage source Lithium Battery 3,7 V. The measurement system is carried out simultaneously between the primary current, primary voltage, and secondary voltage. Current measurement using ACS712 5A current sensor, secondary voltage measurement using additional components digital probe multimeter 1:1000 V for high voltage measurement. Measurement using Intrastar ISDS205 as PC-Oscilloscope with Multi Virtual Analyzer software as a data recorder. The results of current and voltage measurements will be used to analyze the plasma produced. From the results of the calculation of the electric charge, obtained the potential energy used to produce plasma is $7 \times 10^{-10} \text{ J} - 2,81 \times 10^{-8} \text{ J}$, which has a corona discharge plasma type with the distance between the electrodes that occurs has an average value 5mm.

Keywords: corona discharge, current measurement, voltage measurement, plasma

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT Tuhan semesta alam, atas segala karunia, hidayah, dan izin-Nya sehingga tugas akhir dengan judul “Analisis Arus-Tegangan pada Plasma Tegangan Tinggi Terhadap Muatan Listrik Pada Inverter Boost Kit 15 Kv” ini dapat terselesaikan dengan lancar.

Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat agar dapat menyelesaikan studi serta dalam rangka memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Dalam penyusunan tugas akhir ini tentunya penulis selalu mendapat banyak dukungan dan bimbingan baik moril dan materil dari berbagai pihak, sehingga pada akhirnya tugas akhir ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat, penghargaan serta ucapan terima kasih yang tak terhingga penulis ucapkan kepada :

1. Bapak Miftahul Anwar selaku dosen pembimbing yang tak jenuh dalam membimbing, mengarahkan, dan memberikan ilmu serta wawasan
2. Bapak Chico Herrmanu B. A, S.T. M. Eng selaku dosen pembimbing dua, yang senantiasa memberikan kritik, saran serta masukan baik terhadap karya tulis.
3. Bapak Feri Adriyanto, PhD, selaku Kepala Program Studi Teknik Elektro
4. Kedua orang tua saya, yaitu Bapak Imannudin dan Ibu Surtini serta kedua adik saya, Tanty Shafa, dan M. Rifaldi Ramadhani yang senantiasa memberikan bantuan, dan dukungan dalam bentuk doa maupun materiil.
5. Teman – teman bimbingan Pak Anwar, yaitu Perdana Yan, dan Lia Anjarwati
6. Segenap jajaran dewan dosen dan staff Prodi Teknik Elektro yang telah memberikan sumbangsih, fokus, ilmu, dan perhatian terhadap Mahasiswa Teknik Elektro
7. Teman – teman Teknik Elektro UNS terutama Angkatan 2015 yang telah menemani selama masa studi dan terus memberikan semangat serta dukungan dalam mengerjakan tugas akhir.

8. Teman – Teman “Metu Lele” yang menemani dari awal perkuliahan, Nurina Sharfina, Eza, Bela, Puteri, Talisa, Rangga Rakaspati. Rangga Combe, Fakhri, Henri, Reyhan, Rama, Hasna, Syahreza, Baselia, Sara, dan Badzlina.
9. Teman – teman Jali – Jali, terutama Angkatan 2015, Farhan, Faiq, Corry, Akram, Dina, Luna, dll.
10. Teman – teman KKN UNS Wakatobi 2019 yang membantu dalam proses pendewasaan dalam berfikir.
11. Teman – teman barista Cold n Brew Coffee, yang tetap ramah setiap saya datang ke café untuk mengerjakan skripsi. Ditambah Diputra, Medina, dan Monica yang terkadang menemani.
12. Teman – teman Dream House, Fikri, Hazim, Eva, Ale, Natasha, Yazid, Anggita, Laras, Tisany, Rafli, Satya, Adam, Rani, Syiba, dan Andi.
13. Teman – teman Senjakala Kopi, Mas Bedil, Mas Dimas, Mas Bagus, dll.
14. Teman – teman Kost Wiryo Manton, Raafi, Nugi, Maman, Nover, Fadhil, dll.
15. Teman – teman Kost Dieng, Labib, Daud, Alkodrie, Tanyo, dll.
16. Teman – teman Kost Tower, Mas Wicar, Mas Bayu, Mas Lutfi, Mas Iak, Mas Tenyom, Alvin, Mas Sendy, Gab, dll.
17. Teman – teman kontrakan, Sena, Salman, Zhafran, Hilmi, Arvie, Dito, Wira, Aldi, dll.
18. Teman – teman Kontrakan Rumah Putih
19. Teman – teman Kontrakan Bunda Lenih
20. Teman – teman yang telah memberikan semangat, mematahkan semangat, memberi dukungan, hingga memberi masalah.
21. Teman – teman yang mungkin belum disebutkan tetapi secara tidak langsung sudah mendukung saya untuk mengerjakan skripsi ini.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN TIM PEMBIMBING DAN TIM PENGUJI.....	i
SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS KARYA ILMIAH.	Error!
Bookmark not defined.	
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Landasan Teori.....	7
2.1.1 Teknologi Plasma.....	7
2.1.2 Modul Rangkaian Pembangkit Plasma.....	11
2.1.3 Perancangan Pemakaian Sensor.....	12
2.2 Analisis Arus dan Tegangan.....	15
2.2.1 Muatan Listrik.....	16
2.2.2 Kapasitansi.....	18
2.3 Penelitian Terdahulu.....	19
BAB III METODOLOGI.....	23
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	23
3.1.1 Studi Literatur.....	24
3.1.2 Perancangan dan Pemasangan Sensor.....	24

3.1.3	Pengambilan Data.....	24
3.1.4	Perhitungan Nilai Muatan Listrik dan Kapasitansi.....	25
3.1.5	Pengolahan dan Analisa Data.....	25
3.1.6	Penulisan Skripsi.....	25
3.2	Modul Rangkaian Pembangkit Plasma.....	25
3.2.1	Spesifikasi Modul Rangkaian Pembangkit Plasma.....	25
3.2.2	Skematik Rangkaian Modul Pembangkit Plasma.....	26
3.3	Perancangan dan Pemasangan Sensor.....	27
3.3.1	Sensor Arus ACS712.....	28
3.3.2	Sensor Tegangan.....	29
3.3.3	Skematik Pemasangan Sistem Pengukuran.....	29
3.4	Perhitungan Nilai Muatan Listrik dan Kapasitansi.....	30
3.5	Pengolahan dan Analisa Data.....	31
3.5.1	Analisa Data Arus dan Tegangan.....	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		37
4.1	Hasil Pengukuran.....	37
4.1.1	Hasil Pengukuran Tegangan.....	38
4.1.2	Hasil Pengukuran Arus.....	40
4.1.3	Hasil Pengukuran Resistansi Konstan.....	42
4.2	Analisa Hasil Pengukuran Arus-Tegangan.....	42
4.2.1	Analisis Arus-Tegangan pada Sisi Primer.....	43
4.2.2	Perhitungan Besar Nilai Arus pada Sisi Sekunder.....	44
4.2.3	Analisis Arus-Tegangan pada Sisi Sekunder.....	45
4.3	Analisis Besar Muatan Listrik.....	48
4.3.1	Hasil Perhitungan Muatan Listrik.....	48
4.3.2	Energi yang Dibutuhkan untuk Menghasilkan Plasma.....	49
4.4	Analisis Nilai Kapasitansi.....	50
4.4.1	Hasil Perhitungan Kapasitansi.....	50
4.4.2	Besar Jarak Elektroda saat Terjadinya Plasma.....	51
BAB V KESIMPULAN.....		53
5.1	Kesimpulan.....	53
5.2	Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKA.....		55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Plasma Merupakan Fase Ke-Empat [2].....	7
Gambar 2.2 Grafik Masa Hidup Plasma [7].....	9
Gambar 2.3 Inverter Boost Kit 15 kV [11].....	11
Gambar 2.4 Sensor Arus ACS712 [12].....	13
Gambar 2.5 CT2700 <i>High Voltage DMM Probe</i> [13].....	14
Gambar 2.6 Intrustar ISDS2015 [14].....	15
Gambar 2.7 Muatan Listrik.....	17
Gambar 3.1 Diagram Alir.....	23
Gambar 3.2 Gambar Skematik Rangkaian Inverter Boost Kit 15 kV [11].....	26
Gambar 3.3 Plasma yang dihasilkan.....	27
Gambar 3.4 Diagram Blok Pemasangan Sensor pada Sumber Plasma.....	28
Gambar 3.5 Skematik Sistem Pengukuran Arus dan Tegangan.....	30
Gambar 4.1 Grafik Hasil Pengukuran Tegangan.....	38
Gambar 4.2 Grafik Tegangan Diperbesar.....	39
Gambar 4.3 Grafik Hasil Pengukuran Arus Pada Sisi Primer.....	40
Gambar 4.4 Grafik Arus Diperbesar.....	41
Gambar 4.5 Elektroda pada saat (a) terjadinya plasma (b) plasma padam.....	43
Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Arus dan Tegangan pada Sisi Primer.....	43
Gambar 4.7 Grafik Arus Sekunder (I_s) Hasil Prediksi.....	44
Gambar 4.8 Grafik Arus Sekunder Hasil Substraksi.....	45
Gambar 4.9 Grafik Arus-Tegangan pada Sisi Sekunder.....	46
Gambar 4.10 Graik Arus-Tegangan Sisi Sekunder (Diperbesar).....	47
Gambar 4.11 Grafik Histogram Data Besar Muatan Listrik.....	48
Gambar 4.12 Grafik Histogram Energi Potensial.....	49
Gambar 4.13 Grafik Histogram Data Kapasitansi.....	50
Gambar 4.14 Grafik Arus Sekunder selama 0.2s.....	52

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Keterangan Daerah Grafik Masa Hidup Plasma [7].....	9
Tabel 2.2 Komponen pada Modul Rangkaian Inverter Boost Kit 15 kV [11]..	12
Tabel 2.3 Tabel Penelitian Terkait.....	20
Tabel 3.1 Parameter Inverter Boost Kit 15 kV [11].....	26
Tabel 4.1 Tabel Hasil Pengukuran Resistansi Konstan.....	42
Tabel 4.2 Tabel Perbandingan Nilai pada Rentang Waktu Tertentu.....	51

ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

I_p	=	Arus pada sisi Primer (mA)
V_p	=	Tegangan pada sisi Primer (V)
V_s	=	Tegangan pada sisi Sekunder (V)
I_s	=	Tegangan pada sisi Sekunder (mA)
Q_1	=	Muatan pada perhitungan pertama (C)
Q_2	=	Muatan pada perhitungan kedua (C)
J	=	Satuan energi Joule (J)
C	=	Satuan daya Coulomb (C)
LIPI	=	Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
GM-GA	=	<i>Glow Mode Gliding Arc</i>
GGL	=	Gerak Gaya Listrik
DBD	=	<i>Dielectric Barrier Discharge</i> / Lucutan Berpenghalang Dielektrik
APP	=	<i>Atmospheric Pressure Plasma</i>
APNTP	=	<i>Atmospheric Pressure Non-Thermal Plasma</i>
DC	=	<i>Direct Current</i> / Arus Searah
AC	=	<i>Alternating Current</i> / Arus Bolak-balik
ϵ_0	=	Konstanta Permittivitas $8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2$
k	=	Konstanta elektrostatik $= 8,99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$
t	=	Waktu dalam detik (s)
R_p	=	Resistansi di sisi Primer pada keadaan kit mati (Ω)
R_s	=	Resistansi di sisi Sekunder pada keadaan kit mati (Ω)
V_0	=	Tegangan output proporsional (V)
V_{output}	=	Tegangan terukur (V)
X	=	Sumbu x pada grafik
Y	=	Sumbu y pada grafik

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Teknologi plasma merupakan teknologi yang menggunakan berbagai macam tipe plasma yang dihasilkan untuk diaplikasikan sebagai teknologi yang dapat menjadi solusi untuk berbagai macam permasalahan dalam pekerjaan manusia. Penggunaan teknologi plasma dapat dimanfaatkan untuk mengatasi permasalahan dalam berbagai bidang kehidupan sehari-hari, mulai dari bidang kesehatan, lingkungan, perindustrian, hingga pengolahan bahan pangan. Dalam bidang industri di Indonesia, teknologi plasma sudah banyak digunakan. Namun, informasinya masih sedikit [1]. Kemudian, karena hampir 99% alam semesta merupakan fase plasma [2], oleh karena itu merupakan hal yang menarik dan juga hal yang penting untuk melakukan penelitian mengenai teknologi plasma terutama di Indonesia. Pada umumnya, peneliti plasma di Indonesia meneliti plasma pada bidang pengaplikasian plasmanya, bukan pada analisis teknologi plasma itu sendiri. Oleh karena itu, penting untuk mengetahui teknologi plasma yang digunakan, agar didapatkan informasi lebih banyak mengenai pengaplikasian yang bisa dilakukan. Dewasa ini teknologi plasma banyak digunakan dalam berbagai bidang industri, seperti industri elektronik, material, kimia, dan obat-obatan, disamping itu, teknologi plasma juga mulai dimanfaatkan untuk mengolah limbah cair dan gas [3].

Pada tahun 2009, LIPI menggunakan teknologi plasma untuk mengatasi pencemaran lingkungan. Peneliti dari Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Anto Tri Sugiarto mengatakan, sebenarnya untuk menangani semua permasalahan pencemaran lingkungan cukup diatasi dengan teknologi plasma [3]. Selain dalam bidang lingkungan, dalam bidang perindustrian, teknologi plasma juga banyak dikembangkan. Dalam perindustrian, terutama dalam hal *microelectronics* teknologi plasma yang banyak dikembangkan adalah plasma dingin (*cold plasma*) dibanding jenis plasma lainnya. Walaupun plasma dingin pada tekanan rendah memiliki sifat proses perlakuan material dengan *repeatability* yang baik. Namun, juga keterbatasan

sifat proses yang tidak dapat kontinyu dan plasma dingin juga memerlukan sistem vakum yang mahal [4]. Oleh karena itu untuk menanggulangi permasalahan tersebut, fokus riset ditujukan pada pengembangan teknik plasma dingin (temperatur rendah) yang dapat dibangkitkan pada tekanan atmosferik sehingga mampu menyediakan sistem yang lebih efektif [5]. Pemanfaatan teknologi plasma dalam bidang industri, diperlukan adanya pengembangan, dalam bentuk pengujian dalam industri. Dalam melakukan pengujian plasma dibidang perindustrian ataupun laboratorium penelitian, pengukuran arus dan tegangan pada plasma secara akurat, merupakan hal yang penting untuk dilakukan.

Pengukuran arus dan tegangan sangat diperlukan dalam proses pembentukan plasma, tipe plasma yang dihasilkan serta hasil dari pengukuran dapat digunakan untuk dianalisis lebih lanjut. Sebagai sumber plasma tegangan tinggi yang digunakan pada plasma, terdapat dua jenis tegangan yang digunakan yaitu tegangan tinggi dan tegangan rendah. Pada umumnya, tegangan tinggi terbagi dalam dua jenis, yaitu tegangan tinggi searah (*Direct Current*) dan tegangan tinggi bolak-balik (*Alternating Current*). Pengukuran tegangan tinggi, pada umumnya masih dilakukan secara manual menggunakan alat pengukur tegangan tinggi, seperti multimeter, dan sebagainya yang mana sering terjadi kesalahan dalam pembacaan nilai hasil pengukuran atau sering terjadi *error* dan tidak akurat. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem khusus untuk melakukan pengukuran arus dan tegangan pada plasma. Pada penelitian ini, pengukuran tegangan tinggi menggunakan *digital multimeter probe* untuk mengukur tegangan tinggi yang terjadi pada plasma, karena diagnosa menggunakan probe adalah teknik yang sederhana, dapat diandalkan, dan banyak digunakan untuk mengukur parameter plasma [6]. Selain tegangan tinggi, pada saat proses pembentukan plasma juga terdapat arus listrik. Oleh karena itu, diperlukan rangkaian pengukuran arus dan tegangan yang tepat untuk mendapatkan data tegangan tinggi dan arus secara bersamaan dan akurat pada saat terjadinya plasma.

Dalam melakukan pengujian plasma di laboratorium penelitian, hal yang perlu diperhatikan adalah keakuratan dalam pengukuran arus dan tegangan. Hal ini

diperlukan karena dari hasil pengukuran yang didapatkan tersebut, akan digunakan untuk dianalisis lebih lanjut. Oleh karena itu, sebagai inovasi dalam pengaplikasian plasma, dan untuk memudahkan dalam menganalisis pembentukan plasma, akan dilakukan pengukuran arus dan tegangan pada plasma secara langsung dan simultan, sehingga dapat mempermudah untuk menganalisis dan mengolah data keluaran. Analisis yang dilakukan dengan membandingkan arus-tegangan, meminimalisir terjadinya *error*/kesalahan dalam pengukuran arus dan tegangan pada plasma.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian ini, berikut merupakan beberapa rumusan masalah yang telah disusun :

1. Bagaimana merancang pengukuran arus dan tegangan pada rangkaian pembangkit plasma?
2. Bagaimana rangkaian sensor arus dan tegangan pada rangkaian pembangkit plasma?
3. Bagaimana cara analisis pengaruh nilai arus dan tegangan yang keluar terhadap plasma yang dihasilkan?
4. Berdasarkan nilai arus dan tegangan yang dihasilkan, bagaimana analisis yang dilakukan terhadap nilai muatan listrik yang dihasilkan?
5. Berdasarkan nilai arus dan tegangan yang dihasilkan, bagaimana hasil nilai kapasitansi pada saat terjadinya plasma?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah penelitian ini, berikut merupakan beberapa batasan masalah yang telah disusun :

1. Perangkat keras yang digunakan untuk memproses pengambilan data keluaran dari plasma adalah *Intrustar ISDS205* yang merupakan *PC-Oscilloscope*.
2. Perangkat lunak yang digunakan untuk mengolah data adalah *Multi Virtual Analyzer*, Microsoft Excel dan OriginLab.
3. Sensor arus yang digunakan adalah Sensor Arus ACS712.

4. Pengambilan data tegangan pada plasma secara langsung dilakukan menggunakan *CT2700 Digital Multimeter Probe*.
5. Rangkaian pembangkit plasma yang digunakan adalah *Inverter Boost Kit 15 kV*.
6. Jenis plasma yang dihasilkan adalah plasma *non-thermal* dengan tipe lucutan korona (*corona discharge*).

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan penjelasan pada bagian rumusan masalah dan batasan masalah, terdapat beberapa tujuan yang akan dicapai dalam penelitian berikut ini, seperti :

1. Merancang sistem pengukuran arus dan tegangan pada sumber pembangkit plasma.
2. Mendapatkan data hasil keluaran dari arus dan tegangan, yang kemudian akan dianalisis lebih lanjut untuk pengembangan lebih lanjut mengenai eksperimen pada plasma.
3. Mendapatkan hasil analisis mengenai pengaruh arus dan tegangan terhadap plasma yang dihasilkan.
4. Mendapatkan hasil analisis mengenai pengaruh arus-tegangan terhadap besar muatan listrik yang dihasilkan plasma, yang kemudian digunakan untuk mendapatkan nilai energi potensial.
5. Mengetahui nilai kapasitansi yang terjadi diujung elektroda untuk mendapatkan nilai jarak antar elektroda pada saat plasma terjadi.

1.5 Manfaat Penelitian

Berdasarkan beberapa tujuan penelitian yang hendak dicapai, maka penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat seperti berikut ini :

1. Terciptanya sistem pengukuran arus dan tegangan pada rangkaian sumber pembangkit plasma, terutama pada modul *Inverter Boost Kit 15 kV*.
2. Mengetahui kinerja pengukuran arus dan tegangan pada rangkaian sumber pembangkit plasma.

3. Mengetahui pengaruh besar muatan listrik terhadap plasma, serta analisis lebih menggunakan nilai muatan listrik.
4. Sebagai bentuk perkembangan dalam penelitian mengenai plasma secara lebih lanjut terutama dalam bidang nanopartikel.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini secara sistematis akan dibagi dalam beberapa bab yang dapat diuraikan sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Pada bab ini memberikan penjelasan singkat mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan studi literatur mengenai kajian pustaka, referensi penelitian, desain yang diajukan, serta gambaran penelitian terdahulu.

BAB III : METODOLOGI

Pada bab ini akan dijelaskan proses eksperimen perancangan sistem, daftar kebutuhan alat dan bahan, dan jadwal waktu pelaksanaa.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dilakukan analisis dari hasil pengukuran yang didapat dan pembahasan mengenai hasil yang telah didapat.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini diberikan kesimpulan dan saran, sebagai hasil dari eksperimen, kritik, serta saran.

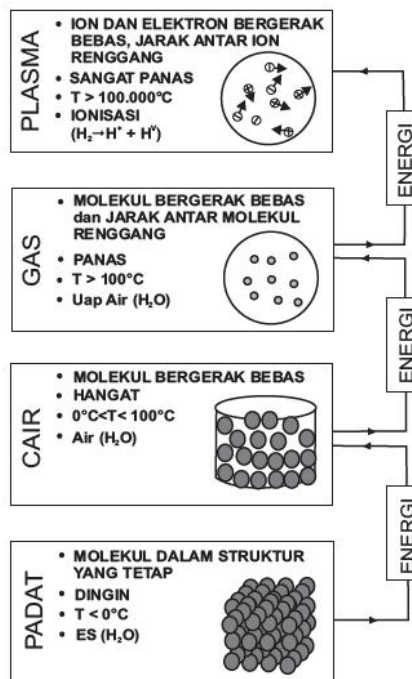
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Teknologi Plasma

Teknologi plasma merupakan teknologi yang memanfaatkan plasma sebagai solusi untuk mengatasi kehidupan sehari-hari, mulai dari bidang industri, lingkungan, kesehatan, bahkan hingga pengolahan bahan pangan. Pemanfaatan sains dan teknologi plasma mulai dari ruang – ruang sterilisasi medis sampai masalah jagat raya (astrofisika dan astronomi) [2]. Plasma merupakan fase ke-empat setelah fase padat, cair, dan gas. Plasma dapat terjadi ketika temperatur atau energi suatu gas dinaikkan sehingga memungkinkan atom-atom gas terionisasi akan membuat gas tersebut melepaskan elektron – elektronnya yang pada keadaan normal mengelilingi inti [2].



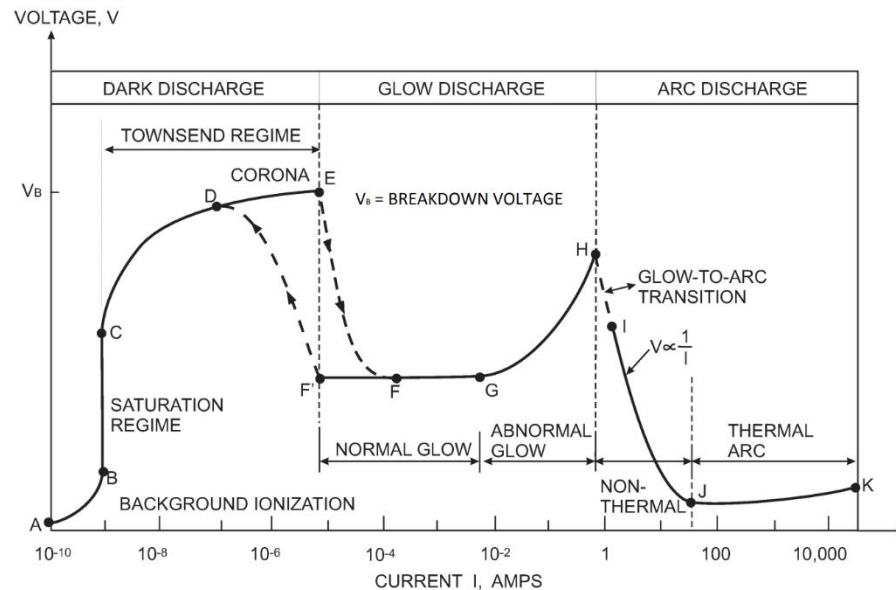
Gambar 2.1 Plasma Merupakan Fase Ke-Empat [2]

Pada umumnya, terdapat dua jenis plasma, yaitu plasma pada kesetimbangan termal (*thermal equilibrium plasma*), dan plasma pada ketidaksetimbangan termal

(*non-thermal equilibrium*). Jenis – jenis plasma tersebut terbagi lagi menjadi tiga jenis berdasarkan temperaturnya, yaitu plasma panas, plasma termik, dan plasma dingin. Plasma panas, merupakan plasma yang tersusun dari gas bertemperatur tinggi yang temperaturnya mencapai diatas 10^6K . Plasma panas biasa digunakan untuk memproduksi energi listrik. Plasma dingin (*non-thermal equilibrium*), merupakan plasma yang memiliki temperatur gas yang relatif rendah, dan temperatur elektron yang tinggi. Plasma ini biasa digunakan untuk pembersihan polutan, pembentukan materi baru, dan biasa digunakan pada bidang mikroelektronik. Yang ketiga adalah plasma termik. Plasma termik merupakan yang memiliki temperatur partikel lebih dari 3000K , dengan temperatur elektron sekitar 10^5K . Plasma termik ini biasa digunakan untuk pengelasan, pemotongan logam, dan lain sebagainya. Plasma non-termal dengan temperatur elektron yang tinggi dan temperatur gas yang rendah mengkonsumsi energi lebih sedikit pada pemanas gas dan juga efisien dalam memproduksi spesies reaktif [5]. Dalam proses pembentukan plasma, arus dan tegangan yang dihasilkan akan berubah sesuai dengan besar plasma yang dihasilkan. Oleh karena itu, diperlukan pengukuran elektrikal dalam proses pembentukan plasma. Besar plasma yang dihasilkan dipengaruhi oleh besarnya jarak antar kedua elektroda, kestabilan tegangan sumber plasma, medium dan teknik yang digunakan dalam proses pembentukan plasma.

Plasma dapat dibuat dengan cara memanfaatkan tegangan listrik, contohnya dengan menghadapkan dua buah elektroda di udara bebas, dalam hal ini udara merupakan isolator listrik, yang mana definisi dari isolator itu sendiri merupakan materi yang tidak dapat menghantarkan listrik. Pada kedua elektroda dipasang tegangan yang cukup tinggi, sehingga sifat konduktor akan muncul pada udara diantara kedua elektroda dan bersamaan dengan hal itu, arus listrik mulai mengalir diantara kedua elektroda, sehingga membentuk busur atau biasa disebut *arc*. Oleh karena itu, perbedaan plasma dengan sumber tegangan beraliran AC dan DC adalah pada pengaplikasiannya. Plasma dengan sumber tegangan DC pada umumnya diaplikasikan untuk pembangkitan plasma lucutan korona, biasa digunakan untuk pengendalian polusi seperti *electrostatic precipitators*. Plasma dengan sumber

tegangan AC diaplikasikan untuk pembangkitan plasma dengan tenaga operasi yang tinggi, seperti *glow discharge*, *gliding arc discharge*, serta *arc discharge* yang biasa digunakan untuk peningkatan pembakaran, modifikasi permukaan, dll. Pada sumber tegangan plasma beraliran DC, plasma yang dihasilkan akan keluar hanya dari salah satu elektroda, sedangkan pada sumber tegangan plasma beraliran AC, plasma yang dihasilkan akan keluar dari kedua elektroda. Pada saat terjadinya plasma, proses pembangkitan sampai terjadinya *arc* terbagi menjadi tiga bagian berdasarkan jumlah arus yang melaluinya. Tiga bagian tersebut adalah *dark discharges*, *glow discharge*, dan *arc discharge* [7]. Teknologi plasma ini juga dapat diterapkan pada tekanan atmosfer. Beberapa teknik, misalnya, corona, lucutan penghalang dielektrik atau Dielectric Barrier Discharge (DBD), dan pelepasan busur (*arc discharge*), telah dikembangkan untuk diterapkan pada tekanan atmosfer [8].



Gambar 2.2 Grafik Masa Hidup Plasma [7]

Tabel 2.1 Keterangan Daerah Grafik Masa Hidup Plasma [7]

(1)	Dark Discharges
-----	-----------------

	(A) Background ionization
	(B) The saturation regime
	(C) The Townsend regime
	(D) Corona discharges
	(E) Electrical breakdown
(2)	Glow discharges
	(F) The normal glow discharges
	(G) The abnormal glow discharges
(3)	Arc discharges
	(H) The glow-to-arc transition
	(I) Nonthermal arcs
	(J) Thermal arcs

Plasma pada tekanan atmosfer atau biasa disebut *Atmospheric Pressure Plasma* (APP), cukup menarik perhatian dan terdapat minat khusus untuk membahas APP ini. Hal ini dikarenakan plasma pada tekanan atmosfer mempertahankan sifat yang sama dengan plasma bertekanan rendah, dan tidak memerlukan fasilitas vakum yang mahal [9]. Berdasarkan temperatur relatif pada elektron, ion dan netral, APP diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu kesetimbangan termal (*thermal equilibrium*), kesetimbangan termal lokal (*local thermal equilibrium*), dan kesetimbangan non-termal (*non-thermal equilibrium*). Plasma kesetimbangan non-termal pada tekanan atmosfer atau biasa disebut *Atmospheric Pressure Non-Thermal Plasma* (APNTP)

dapat diaplikasikan secara luas, seperti perawatan asap knalpot, pemurnian air, sterilisasi, endapan dan sintesis material, kontrol aliran, dan sebagainya [9].

2.1.2 Modul Rangkaian Pembangkit Plasma

Terdapat banyak metode dan modul rangkaian untuk menghasilkan plasma tegangan tinggi, salah satunya adalah dengan menggunakan *15 KV High Frequency DC High Voltage Arc Ignition Generator Inverter Step Up Boost Module 18650 DIY kit U Core Transformer Suite 3,7 V*. Definisi dari inverter adalah suatu rangkaian atau perangkat elektronika yang dapat mengubah arus listrik searah (*DC*) ke arus listrik bolak-balik (*AC*) pada tegangan dan frekuensi yang dibutuhkan sesuai dengan perancangan rangkaiannya [10].



Gambar 2.3 Inverter Boost Kit 15 kV [11]

Rangkaian pembangkit plasma tegangan tinggi yang digunakan adalah Rangkaian modul *Inverter Boost Kit 15 kV*. Rangkaian modul *Inverter Boost Kit 15 kV* ini terdiri dari transistor NPN, trafo, resistor 120 Ω , dan *switch control*. Pada penelitian ini, digunakan baterai lithium milik Universitas Sebelas Maret (UNS) sebagai *power supply* dari rangkaian modul *Inverter Boost Kit 15 kV* ini. Baterai lithium yang digunakan memiliki tegangan keluaran sebesar 3,6 V. Berikut merupakan tabel mengenai spesifikasi dari Inverter Boost Kit 15 kV.

Tabel 2.2 Komponen pada Modul Rangkaian Inverter Boost Kit 15 kV [11]

NO.	Component Name	PCB Marker	Parameter	QTY
1	Transformer	T1	15KV	1
2	Diode	D1	UF4007	1
3	Transistor	NPN	N20	1
4	Resistor	R1	120ohm	1
5	Screw		M3*6mm	1
6	Switch	SW		1
7	Male Pin		2P	1
8	Tie			1
9	PCB		4.2*3.2*0.16cm	1

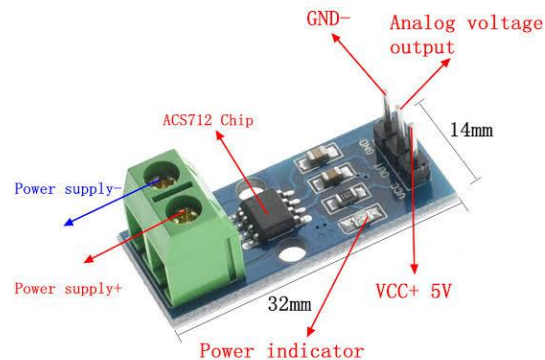
Karakteristik arus-tegangan dari plasma yang dihasilkan oleh rangkaian *Inverter Boost 15 kV* ini adalah memiliki arus yang relatif kecil dengan ukuran hingga orde *microampere*, dan memiliki tegangan yang tinggi hingga mencapai 15 kV.

2.1.3 Perancangan Pemakaian Sensor

Dalam melakukan pengukuran arus dan tegangan, terdapat beberapa komponen yang digunakan untuk mengukur besar tegangan dan arus yang keluar pada saat proses pembentukan plasma. Saat proses pembentukan plasma, tegangan yang diperlukan cukup tinggi, sedangkan arus yang dihasilkan kecil, bahkan bisa mencapai orde *microampere*. Oleh karena itu, diperlukan perancangan rangkaian sensor menggunakan komponen yang disesuaikan dengan karakteristik arus dan tegangan pada plasma. Beberapa komponen yang dimaksud adalah sebagai berikut.

a). Sensor ACS712

Sensor ACS712 adalah sensor pengukur arus, yang menggunakan konsep *hall effect*. *Hall effect Allegro ACS712* merupakan sensor yang presisi sebagai sensor arus AC atau DC dalam pembacaan arus didalam dunia otomotif, industri, komersil dan sistem – sistem komunikasi [12]. Terdapat tiga jenis sensor ACS712, yaitu sensor ACS712 dengan maksimal pengukuran 5A, 20A dan 30 A. Sensor ini memerlukan input tegangan sebesar 5V untuk pengoperasiannya, dengan sensitifitas keluaran mulai dari 66-185 mV/A.



Gambar 2.4 Sensor Arus ACS712 [12]

Perangkat ini terdiri dari sirkuit *Hall* linear presisi, *offset* rendah, dengan jalur konduksi tembaga yang terletak di dekat cetakan. Arus yang diterapkan mengalir melalui jalur konduksi tembaga ini menghasilkan medan magnet yang diubah *IC Hall* menjadi tegangan proporsional. Akurasi perangkat dioptimalkan melalui kedekatan sinyal magnetik dengan transduser *hall*. Tegangan proporsional yang presisi disediakan oleh *IC BiCMOS hall* yang distabilkan dengan *offset* rendah.

Dalam penelitian ini, digunakan sensor ACS712 5A. Sensor ACS712 5A ini memiliki sensitivitas keluaran sebesar 185 mV/A dan maksimal arus yang diukur sebesar 5 A. Voltase yang keluar dari sensor, perlu dilakukan perhitungan kembali untuk mendapatkan nilai arus yang dibutuhkan. Keluaran perangkat memiliki kemiringan positif ($> VCC/2$) ketika arus yang meningkat mengalir melalui tembaga primer jalur konduksi (dari pin 1 dan 2, ke pin 3 dan 4), yaitu jalur yang digunakan untuk pengambilan sampel sensor. Hambatan internal dari jalur konduktivitas tipikalnya adalah 1.2 m Ω , memberikan rugi – rugi daya yang rendah.

b). CT2700 40 KV *High Voltage DMM Probe*

CT2700 *high voltage DMM probe* adalah alat yang dapat mengukur tegangan tinggi langsung ke sumber tegangan keluaran yang akan diukur. Alat ini

memungkinkan multimeter digital standar untuk dapat mengukur tegangan mencapai 40 KV atau 28 KV AC [12]. Pengukuran pada alat ini adalah dengan rasio pembagian tegangan sebesar 1000:1 maka ketika alat ini membaca tegangan sebesar 1000 V, pada multimeter akan terbaca 1 V.



Gambar 2.5 CT2700 *High Voltage DMM Probe* [13]

Pada penelitian ini, penggunaan alat ini dilakukan dengan cara menyambungkan langsung *probe* ke Intrustar, lalu dilakukan pengukuran tegangan pada sisi sekunder trafo pada rangkaian *Inverter Boost Kit 15 kV*. Hal ini dilakukan untuk pencegahan kerusakan pada Intrustar ISDS205 dan komponen pengukuran elektrik lainnya akibat tegangan tinggi yang dihasilkan plasma.

c). Intrustar ISDS205

Intrustar ISDS205 merupakan osiloskop saluran ganda, dengan tujuan desain “biaya murah, dengan kinerja terbaik”[14]. *Bandwidth* dirancang dengan baik dengan 16 MHz, 48 MHz nilai sampel, dua saluran bolak-balik, dengan pola bolak-balik XT XY dari dua saluran *Virtual Oscilloscope*, *Spectrum Analyzer*, dan *Data Recorder*. Intrustar merupakan osiloskop digital (*PC-Oscilloscope*) yang memiliki 2 saluran keluaran untuk pembacaan data berbentuk gelombang sinusoidal pada software *Multi Virtual Analyzer* yang akan digunakan untuk membaca data keluaran pada personal komputer.



Gambar 2.6 Intrustar ISDS2015 [14]

d). *Multi Virtual Analyzer*

Multi Virtual Analyzer adalah software untuk menampilkan hasil pengambilan nilai yang masuk ke Intrustar sebagai *PC-Oscilloscope*. Pilihan mode yang digunakan pada saat pengukuran arus-tegangan pada software ini, yaitu:

1. *Oscilloscope / Spectrum analyzer*

Oscilloscope adalah salah satu mode untuk menampilkan besar gelombang yang terjadi pada saat pengukuran. Osiloskop yang ditampilkan berupa program osiloskop berbentuk digital yang muncul dilayar komputer dan memiliki fungsi seperti osiloskop pada umumnya, yaitu pengaturan besar gelombang data, dll

2. *Data Recorder*

Data recorder adalah salah satu mode untuk menyimpan hasil pembacaan data pada Intrustar dalam bentuk gambar. Data grafik hasil pengukuran tersebut memiliki format .csv, sehingga dapat langsung dikonversi menjadi data *Microsoft Excel* untuk kemudian diolah lebih lanjut.

2.2 Analisis Arus dan Tegangan

Pada beberapa penelitian mengenai plasma, selalu dilakukan pengukuran elektrik, yaitu pengukuran arus dan tegangan. Hal ini dilakukan untuk menganalisis karakteristik plasma yang dihasilkan. Karakteristik ini dibutuhkan untuk mengklasifikasikan plasma yang dihasilkan. Perbedaan jenis plasma yang dihasilkan,

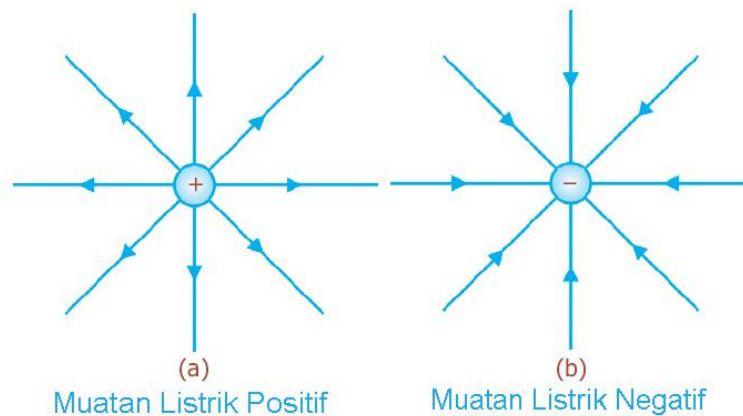
akan memberikan fungsi yang berbeda untuk pemanfaatan teknologi plasma yang akan dilakukan.

Pengambilan data yang dilakukan, menghasilkan data arus primer (I_p), data tegangan primer (V_p) dan data tegangan sekunder (V_s). Untuk mendapatkan rumus persamaan trafo, diperlukan nilai arus sekunder (I_s). Sehingga analisis mengenai arus-tegangan dilakukan untuk mendapatkan nilai arus sekunder (I_s). Setelah mendapatkan nilai arus sekunder (I_s) dapat dihitung nilai muatan listrik (Q), kapasitansi (C), dan lain sebagainya.

Arus dan tegangan yang dihasilkan dan ditampilkan dalam bentuk grafik, dapat digunakan untuk menghitung besarnya nilai muatan listrik. Besarnya muatan listrik, dapat mempengaruhi besarnya plasma yang terjadi. Jika diibaratkan, pada sisi sekunder terdapat dua buah elektroda yang terpisahkan oleh udara, hal ini mirip seperti prinsip kerja kapasitor. Oleh karena itu didapatkan juga nilai kapasitansi (C), dimana semakin besar nilai kapasitansi, semakin besar juga muatan listrik yang diperlukan.

2.2.1 Muatan Listrik

Muatan listrik adalah sifat atau muatan dasar yang dibawa partikel dasar sehingga menyebabkan partikel tersebut mengalami gaya tarik menarik dan tolak menolak [15]. Terdapat dua tipe dari muatan listrik, yaitu muatan listrik positif dan muatan listrik negatif. Apabila terdapat dua benda dengan muatan yang berbeda, maka antar kedua benda tersebut akan terjadi gaya tarik menarik, sedangkan apabila dua benda tersebut memiliki muatan yang sama, maka antar kedua benda tersebut akan terjadi gaya tolak menolak. Ketika muatan antar kedua benda memiliki nilai yang sama, maka besar nilai muatan adalah 0, maka objek tersebut memiliki muatan yang seimbang, sehingga dapat dikatakan bahwa objek tersebut memiliki muatan yang netral.



Gambar 2.7 Muatan Listrik

Material dari partikel yang diberi muatan listrik, dapat kita klasifikasikan berdasarkan kemampuan dari muatan listrik bergerak melalui partikel tersebut. Konduktor listrik adalah material yang dapat mengalirkan muatan dengan mudah dan bebas, contohnya seperti material metal (tembaga), dan juga tubuh manusia. Non-konduktor atau dapat juga disebut insulator adalah material yang membuat muatan tidak dapat bergerak secara bebas, contohnya seperti karet, plastik, gelas, dll. Berdasarkan klasifikasi tersebut, terdapat partikel bermuatan. Sifat – sifat partikel bermuatan tersebut disebabkan karena sifat dasar dan sifat kelistrikan dari atom tersebut. Atom terdiri dari proton yang bermuatan positif, dan elektron yang bermuatan negatif, dan neutron yang netral secara listrik. Muatan satu elektron dengan muatan satu proton memiliki nilai yang sama, namun memiliki tanda sebaliknya [16].

Muatan listrik dapat digunakan untuk menghitung besarnya gaya listrik yang terjadi pada saat partikel diberi muatan. Persamaan ini ditemukan oleh Charles Augustin de Coulomb dan disebut sebagai hukum Coulomb. Jika dua partikel bermuatan didekatkan, kedua partikel tersebut akan mendesak gaya elektrostatis pada sisi lainnya [15], dengan arah yang disesuaikan dengan sifat muatannya. Hukum Coulomb dapat didefinisikan dengan persamaan,

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad (2.1)$$

Dengan keterangan nilai k adalah konstanta yang memiliki nilai sebagai berikut

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8.99 \times 10^9 N \cdot m^2/C^2 \quad (2.2)$$

Dengan keterangan,

F = Gaya

k = Konstanta Elektrostatik

Q₁ = Muatan 1

Q₂ = Muatan 2

r = Jarak antara muatan 1 dan 2

ε₀ = Konstanta Permittivitas = 8,85 × 10⁻¹² C²/N·m²

2.2.2 Kapasitansi

Kapasitansi adalah nilai besar muatan listrik yang disimpan pada suatu kapasitor. Kapasitor adalah suatu komponen yang terdiri antara dua pelat konduktor yang dapat menyimpan muatan listrik. Ketika kapasitor diisi, maka kedua pelat tersebut akan memiliki nilai muatan yang sama, namun memiliki tanda yang berbanding terbalik. Dikarenakan dua pelat tersebut adalah konduktor, maka semua bagian dari pelat tersebut memiliki potensial elektrik yang sama, bahkan terdapat perbedaan potensial antar kedua pelat tersebut. Oleh karena itu, dapat didefinisikan besar muatan listrik yang terjadi pada kapasitor sesuai dengan persamaan,

$$Q = CV \quad (2.3)$$

Dengan keterangan :

Q = Muatan Listrik

C = Kapasitansi

V = Tegangan

Besar nilai kapasitansi tergantung ukuran dari pelat, bukan tergantung dari besar muatan listrik yang terjadi, maupun besar beda potensial. Kapasitansi adalah pengukuran seberapa besar muatan listrik yang harus diberikan pada pelat untuk menghasilkan perbedaan potensial tertentu diantara keduanya [16]. Satuan unit untuk besar kapasitansi adalah coulomb (C) per volt (V), dapat juga disebut farad (F). Dikarenakan prinsip kerja dari kapasitor memiliki kesamaan dengan proses pembentukan plasma pada dua ujung elektroda, maka diperlukan nilai kapasitansi untuk melakukan analisis mengenai jarak antar elektroda ketika sedang terjadinya plasma.

2.3 Penelitian Terdahulu

Terdapat beberapa penelitian sebelumnya yang berhubungan dengan penelitian ini. Berdasarkan penelitian – penelitian sebelumnya diambil perbandingan dari cara analisis mengenai karakteristik arus-tegangan pada plasma, sistem pengukuran, dan plasma yang dihasilkan.

Penelitian Pei Yan, *et al.* [17] menganalisis tentang karakteristik negatif corona dengan aliran arus searah (*direct current*) pada temperatur yang tinggi dengan konfigurasi lucutan kabel-pelat. Menganalisis arus-tegangan termasuk corona *onset/spark voltages*, rentang tegangan operasi, dan komposisi arus korona. Sistem yang digunakan terdiri dari tegangan tinggi DC negatif dengan tegangan operasi 0-30 kV, lucutan korona dengan sistem konfigurasi kabel-pelat, sistem perapian dengan pengatur temperatur, serta sistem pengukuran yang terdiri dari pengukuran tegangan tinggi, dan pengukuran arus pada sisi sekunder.

Pada penelitian yang dilakukan Jiajian Zhu, *et al.* [8] menganalisis tentang *gliding arc discharge plasma* yang pada tekanan atmosfer dengan tegangan yang memiliki arus bolak-balik (AC). Analisis pada paper ini cukup lengkap, yaitu menganalisis arus dan tegangan pada grafik yang kemudian dibagi menjadi tiga bagian analisis, sehingga data yang dianalisis lebih spesifik. Data grafik tegangan dan

arus tersebut dilengkapi dengan gambaran plasma yang terjadi yang direkam menggunakan kamera berkecepatan tinggi, sehingga analisis mengenai arus dan tegangan dapat dibuktikan sesuai dengan bentuk plasma dari gambar yang dihasilkan. Dilengkapi dengan perhitungan daya aktif dan impedansi pada kolom plasma, serta perhitungan temperatur elektron dan kepadatan elektron menggunakan BOLSIG⁺ *Simulation Boltzmann Solver*.

Pada penelitian yang dilakukan Chengdong Kong, *et al.* [18] dilakukan untuk memberikan pemahaman yang lebih baik mengenai *glow mode-gliding arc* (GM-GA) yang dihasilkan pada udara atmosfer. Konservasi elektron dan keseimbangan energi dari GM-GA *discharge* dipertimbangkan untuk membangun model arus-tegangan yang terpusat untuk analisis karakteristik lucutan, sifat dinamis kepadatan arus, dan disipasi energi[18]. Sistem yang digunakan tetap menggunakan analisis terhadap grafik arus dan tegangan beserta kamera berkecepatan tinggi.

Pada penelitian T.P. Kasih, dkk. [4] menjelaskan tentang manfaat plasma untuk modifikasi permukaan material. Dengan analisis – analisis mengenai plasma dingin, menjelaskan tentang manfaat dari plasma dingin itu sendiri terhadap kelanjutan penelitian potensial plasma mengenai material. Plasma yang dihasilkan diberikan aliran gas argon, sehingga menghasilkan *plasma torch*.

Tabel 2.3 Tabel Penelitian Terkait

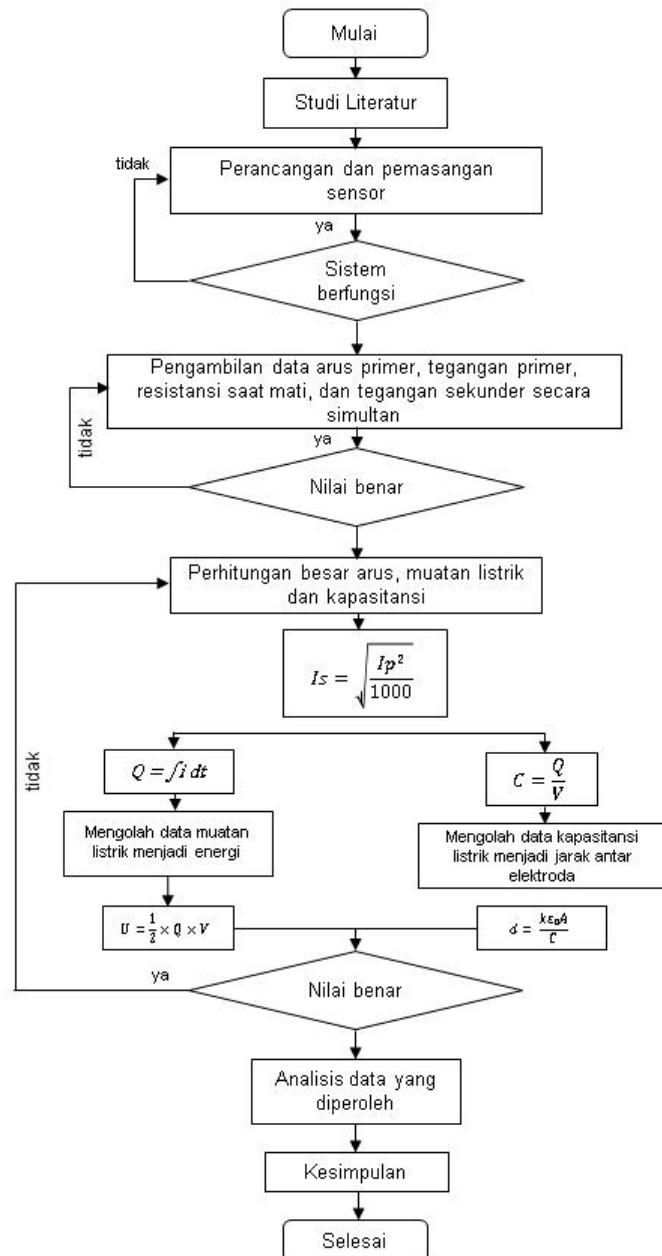
Ref.	Jenis Plasma	Sistem Alat	Analisis
Pei Yan [17]	<i>Corona Discharge</i>	<i>Negative DC Power Supply 0-30kV</i> Konfigurasi Kabel-Plat Sistem Perapian dengan temperatur yang dapat diatur.	Menganalisis karakteristik lucutan korona negatif DC pada temperatur tinggi, dan juga menganalisis karakteristik korona berdasarkan bentuk

			elektroda.
Zhu [8]	<i>Gliding Arc Discharge (Cold Plasma)</i>	AC power Supply High Speed Camera $V_p = 3 - 12 \text{ kV}$ Arus (I) = 0,2 mA Frequency (f) = 35 kHz	Grafik arus dan tegangan, data gambar dari kamera kecepatan tinggi, temperatur elektron dan kepadatan elektron dari BOLSIG ⁺
Chengdong [18]	<i>Glow Mode Gliding Arc Discharge (Cold Plasma)</i>	Analisis dengan <i>Current-Voltage lumped model</i> Frequency = 35 kHz Dioperasikan dengan model arus-tegangan yang disamakan.	Memberikan pemahaman mengenai GM-GA, dijelaskan melalui nilai kepadatan arus dan analisis terhadap disipasi energi.
Tota Pirdo [4]	<i>Plasma Torch glow discharge (Cold Plasma)</i>	Menggunakan HVPS (<i>High Voltage Power Supply</i>), tegangan yang dihasilkan mencapai 18 – 20 kV. Plasma dialiri gas argon	Pengembangan sistem plasma untuk material. Menjelaskan potensi dari plasma dingin untuk dikembangkan lebih lanjut.
Ramanda F	<i>Corona Discharge Plasma</i>	Sensor Arus ACS712, Digital Multimeter Probe 1:1000, Intrastar <i>PC-Oscilloscope</i> , dengan menggunakan Inverter Boost Kit 15 kV sebagai sumber plasma.	Menganalisis hasil pengukuran arus-tegangan untuk mendapatkan nilai energi potensial, serta jarak antar elektroda yang terjadi pada saat proses pembentukan plasma.

Perbedaan dari penelitian ini dengan penelitian terdahulu yang disampaikan pada Tabel 2.3 terletak pada sumber plasma yang digunakan. Pada penelitian ini, belum terdapat penelitian lainnya yang membahas tentang karakteristik arus-tegangan pada *Inverter Boost kit 15 kV*. Terutama, penelitian-penelitian di Indonesia, lebih banyak dilakukan pada pengaplikasiannya dibanding menganalisis spesifikasi, tipe dan jenis plasma itu sendiri.

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir

3.1.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mencari referensi, informasi dari penelitian – penelitian serupa yang telah dilakukan sebelumnya. Studi literatur mengenai plasma ini bertujuan untuk mengetahui tentang karakteristik plasma, parameter plasma, metode dan cara pembangkitan plasma, serta komponen – komponen yang diperlukan untuk pembangkitan plasma. Referensi dan informasi yang didapat akan sangat membantu dalam keberlangsungan penelitian ini. Dengan melakukan studi literatur ini diharapkan dapat mengetahui prosedur yang akan dilakukan dalam melakukan penelitian ini.

Dalam penelitian ini, studi literatur juga diperlukan untuk memahami berbagai jenis sensor yang digunakan dalam pengambilan data. Pengambilan data menggunakan sensor arus dan sensor tegangan memerlukan informasi dalam penggunaan dan batasan – batasan yang terdapat di sensor, sehingga dengan studi literatur ini diharapkan dapat mengetahui sensor – sensor yang sesuai dengan penelitian ini.

3.1.2 Perancangan dan Pemasangan Sensor

Setelah dilakukan studi literatur, maka selanjutnya adalah perancangan dan pemasangan sensor pada modul rangkaian plasma. Berdasarkan referensi dan kumpulan *data sheet* dari rangkaian sensor yang digunakan, perlu penyesuaian dalam pengukuran arus dan tegangan pada sumber plasma. Perancangan dan pemasangan sensor yang tepat akan mempermudah dan menghasilkan data keluaran yang akurat sesuai dengan yang diinginkan.

3.1.3 Pengambilan Data

Setelah dilakukan perancangan dan pemasangan sensor dengan tepat, selanjutnya dilakukan pengambilan data. Pengambilan data menggunakan komponen yang sudah ditentukan dan dapat digunakan untuk merekam data keluaran arus dan tegangan secara akurat.

3.1.4 Perhitungan Nilai Muatan Listrik dan Kapasitansi

Setelah mendapatkan data nilai arus dan tegangan, diperlukan data perhitungan besar nilai muatan listrik dan kapasitansi. Hal ini diperlukan untuk melakukan analisis lebih lanjut mengenai plasma yang dihasilkan.

3.1.5 Pengolahan dan Analisa Data

Setelah semua data telah didapatkan, selanjutnya dilakukan analisa data berdasarkan data grafik, dan data perhitungan yang didapatkan.

3.1.6 Penulisan Skripsi

Penulisan skripsi menggunakan Bahasa Indonesia sesuai Pedoman Umum Ejaan Bahasa Indonesia (PUEBI) yang baik dan benar. Format tata letak, penomoran, teknis, dan sitasi berdasarkan Buku Panduan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik UNS 2018.

3.2 Modul Rangkaian Pembangkit Plasma

Modul pembangkit plasma yang digunakan pada penelitian ini adalah *15 KV High Frequency DC High Voltage Arc Ignition Generator Inverter Step Up Boost Module 18650 DIY kit U Core Transformer Suite 3,7 V*, atau bisa juga disebut *Inverter Boost Kit 15 kV*. Modul ini menghasilkan keluaran bertegangan AC, yang memiliki tegangan cukup tinggi, dikarenakan terdapat *step-up transformer*. Plasma yang dihasilkan memiliki karakteristik nilai arus yang rendah hingga mencapai orde milliampere dengan tegangan yang dihasilkan mencapai 15 kV. Oleh karena itu bentuk plasma yang dihasilkan berbentuk seperti *glow-discharge*. Dalam proses pembentukan plasma, tidak digunakan tambahan gas lain, dalam arti hanya menggunakan udara sebagai isolator diantara kedua elektroda.

3.2.1 Spesifikasi Modul Rangkaian Pembangkit Plasma

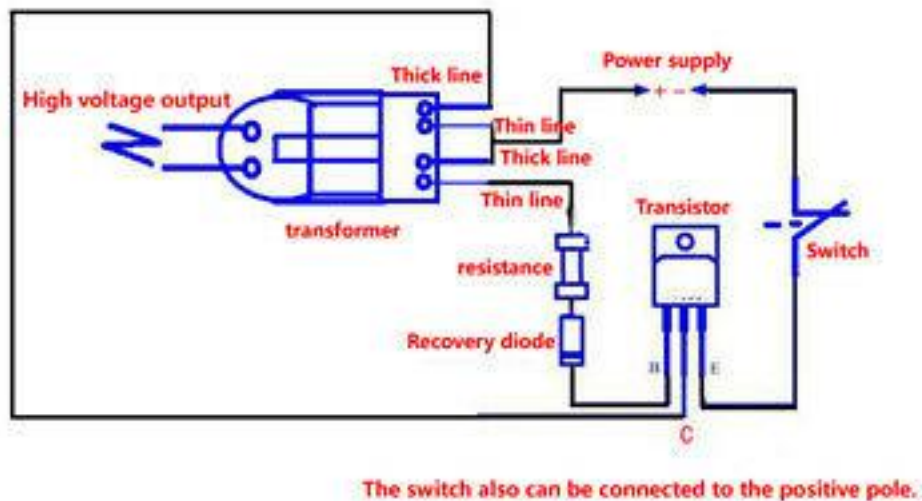
Pada modul rangkaian pembangkit plasma yang digunakan, berikut spesifikasi dari *15 KV High Frequency DC High Voltage Arc Ignition Generator Inverter Step Up Boost Module 18650 DIY kit U Core Transformer Suite 3,7 V*.

Tabel 3.1 Parameter Inverter Boost Kit 15 kV [11]

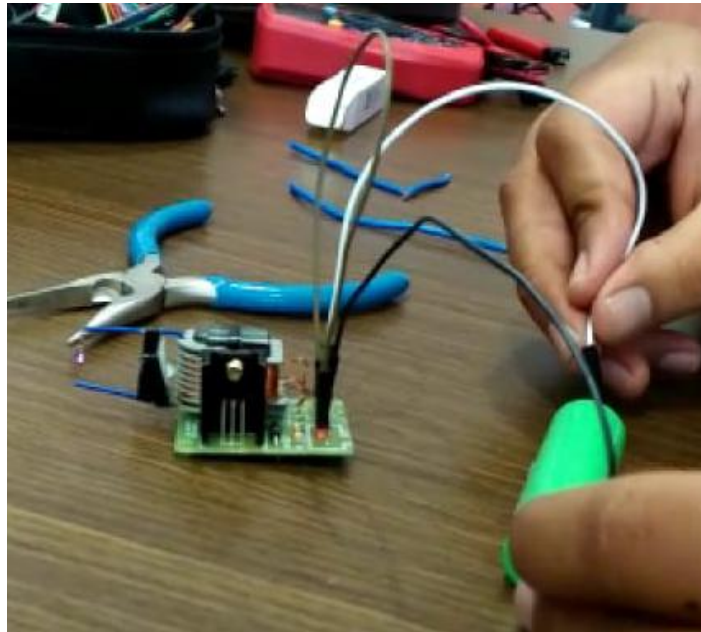
No	Parameter	Value
1.	Power supply	3,7 V – 4,2 V
2.	Work Current	2A (Max)
3.	Output Voltage	15 KV (Max)
4.	Arc Distance	1.5 mm (Max)
5.	PCB Size	4,2 * 3,2 * 0,16
6.	PCB Material	FR4

3.2.2 Skematik Rangkaian Modul Pembangkit Plasma

Berikut merupakan skematik rangkaian dari *15 KV High Frequency DC High Voltage Arc Ignition Generator Inverter Step Up Boost Module 18650 DIY kit U Core Transformer Suite 3,7 V*.

**Gambar 3.2** Gambar Skematik Rangkaian Inverter Boost Kit 15 kV [11]

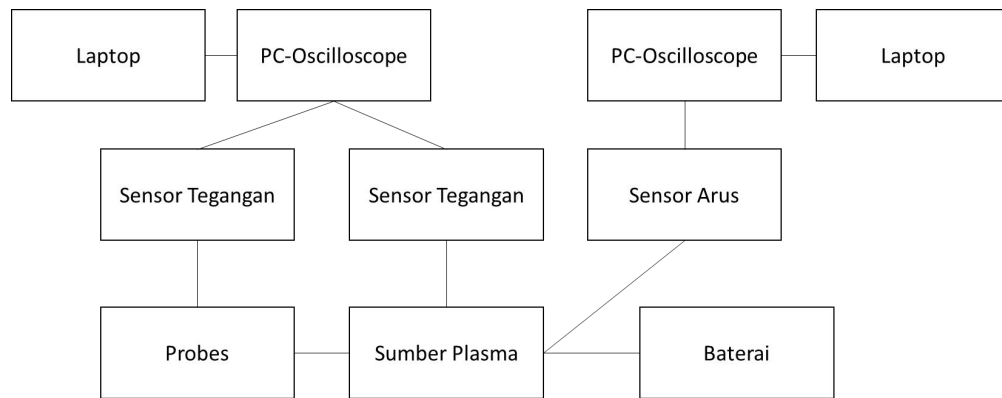
Sesuai pada Gambar 3.2, pembangkit tegangan yang digunakan merupakan transformator, sehingga dalam sistem pengukuran, dilakukan pengukuran arus dan tegangan pada kedua buah sisi transformator. Berikut merupakan gambar dari plasma yang dihasilkan



Gambar 3.3 Plasma yang dihasilkan

3.3 Perancangan dan Pemasangan Sensor

Proses perancangan dan pemasangan sensor pada plasma, perlu penyesuaian. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan karakteristik pembentukan plasma. Untuk plasma yang menghasilkan *glow discharge* dengan karakteristik arus yang lemah dan tegangan yang tinggi, hal yang perlu diperhatikan adalah penggunaan sensor arus yang memiliki batasan nilai pengukuran arus yang dapat mengukur arus sekecil dan seakurat mungkin Selain penentuan sensor arus, perlu diperhatikan juga sensor tegangan yang digunakan. Karena tegangan yang dihasilkan saat terjadinya plasma dapat mencapai ribuan volt (kV), dan hal ini dapat merusak sistem akuisisi data yang digunakan. Berikut merupakan diagram blok dari rancangan sistem pengukuran elektrik yang dilakukan.



Gambar 3.4 Diagram Blok Pemasangan Sensor pada Sumber Plasma

3.3.1 Sensor Arus ACS712

Untuk pengukuran arus, sensor yang digunakan adalah sensor arus ACS712 5A. Sensor arus ACS712 yang digunakan adalah sensor arus yang dapat mengukur arus hingga orde milliampere, dan arus maksimal yang dapat diukur adalah 5A. Pemilihan sensor arus ACS712 5A adalah untuk menambah akurasi pengukuran, dikarenakan sensitivitas pengukuran sensor arus ACS712 5A lebih tinggi dibanding sensor arus ACS712 20A, dan ACS712 30A.

Untuk pengolahan data keluaran dari sensor arus ACS712 5A ini, perhitungan yang dilakukan menggunakan acuan pada saat nilai arus = 0 pada sensor. Hal ini terjadi pada saat besar tegangan pada sensor mencapai nilai 2,5 V. Acuan lainnya adalah nilai sensitivitas sensor. Nilai sensitivitas sensor arus ACS712 5A adalah sebesar 185 mV/A. Dikarenakan keluaran dari sensor arus ACS712 merupakan tegangan proporsional, perlu dilakukan perhitungan kembali. Berdasarkan kedua acuan tersebut, maka didapatkan rumus konversi nilai dari tegangan proporsional adalah sebagai berikut.

$$\text{Nilai Arus} = \frac{V_o - 2,5 \text{ V}}{0.185 \text{ mV/A}} \quad (3.1)$$

Dengan keterangan,

V_o = Tegangan output proporsional

$2,5\text{ V}$ = Tegangan tengah

$0,185\text{ mV/A}$ = Sensitivitas sensor

Kemudian *Nilai Arus* dibagi 1000 agar nilai yang ditampilkan menjadi orde milliampere (mA) sebagai kalibrasi nilai.

3.3.2 Sensor Tegangan

Untuk pengukuran tegangan, digunakan CT2700 *digital multimeter probe*. Hal ini digunakan untuk menghindari kerusakan yang terjadi pada Intrustar ISDS205 sebagai *PC-Oscilloscope*, karena maksimal tegangan yang dapat diukur pada Intrustar ISDS205 adalah sebesar 35 V. Penggunaan *probe* pada pengukuran tegangan juga dianjurkan terutama pada pengukuran plasma. Penggunaan *probe* pada saat pengukuran tegangan pada plasma dilakukan dengan cara menyambungkan langsung *probe* pada saat terjadinya plasma. *Digital Multimeter Probe* yang tersambung dikoneksikan langsung ke Intrustar ISDS205 untuk pengambilan datanya.

Untuk pengolahan data keluaran tegangan yang didapatkan, data cukup dikalikan 1000, karena rasio perbandingan pada *probe* adalah sebesar 1:1000. Dijelaskan sesuai dengan rumus berikut ini.

$$V_s = V_{\text{output}} \times 1000 \quad (3.2)$$

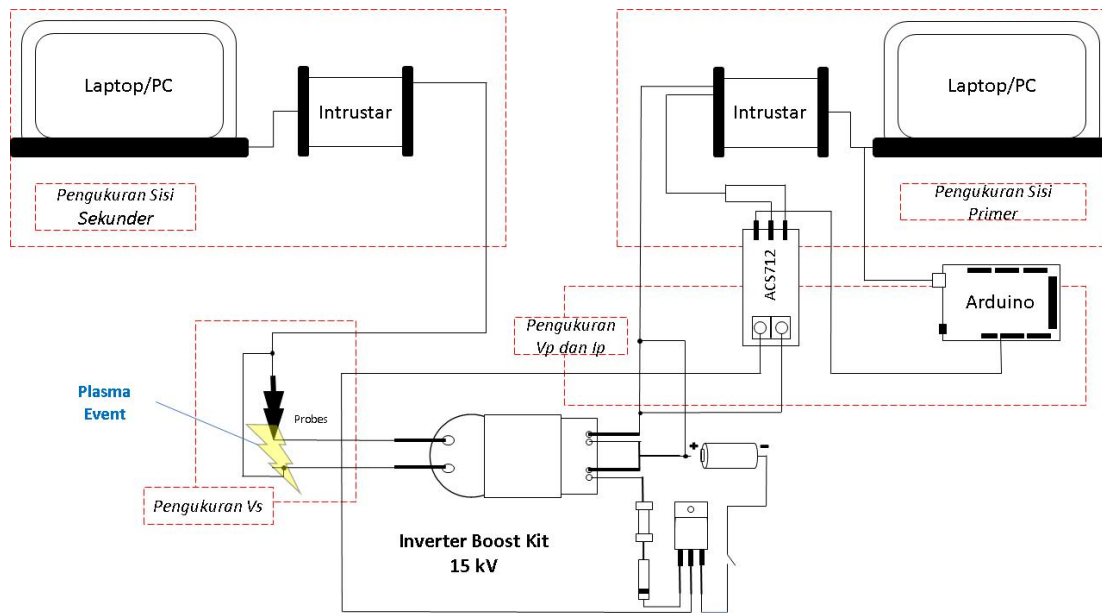
Dengan keterangan,

V_s = Tegangan pada sisi sekunder trafo

V_{output} = Tegangan yang diukur

3.3.3 Skematik Pemasangan Sistem Pengukuran

Berikut merupakan skematik rangkaian sistem pengukuran arus dan tegangan pada sumber plasma *Inverter Boost Kit 15 kV* berdasarkan penggunaan sensor arus dan tegangan yang digunakan.



Gambar 3.5 Skematik Sistem Pengukuran Arus dan Tegangan

Berdasarkan Gambar 3.5, digunakan dua buah laptop untuk melakukan pengukuran arus dan tegangan agar dapat dilakukan pengukuran secara simultan. Dikarenakan satu buah Intrustar, hanya memiliki dua buah input sehingga diperlukan dua buah Intrustar. Arduino digunakan sebagai VCC untuk *input* pada sensor arus ACS712, karena memerlukan *input* VCC sebesar 5V. Sumber tegangan yang digunakan adalah Baterai Lithium bertegangan masukkan sebesar 3,6 V.

3.4 Perhitungan Nilai Muatan Listrik dan Kapasitansi

Berdasarkan data arus dan tegangan yang diukur, dapat dilakukan perhitungan besarnya muatan listrik yang terjadi pada kedua elektroda pada saat terjadinya plasma. Besarnya nilai muatan listrik dapat dianalisis lebih lanjut untuk perkembangan penelitian selanjutnya mengenai plasma.

a). Perhitungan Nilai Muatan Listrik

Rumus perhitungan mengenai muatan listrik dapat didefinisikan menggunakan persamaan,

$$Q = CV \quad (3.3)$$

b). Perhitungan Nilai Kapasitansi

Besar nilai kapasitansi dapat didefinisikan dengan persamaan,

$$C = \frac{Q}{V} \quad (3.4)$$

Dengan keterangan :

Q = Muatan listrik (C)

C = Kapasitansi (F)

V = Tegangan (V)

Dalam melakukan perhitungan mengenai besar nilai muatan listrik pada saat terjadinya plasma, memerlukan nilai kapasitansi. Hal ini dikarenakan prinsip terjadinya plasma mirip dengan prinsip kerja kapasitansi. Kapasitansi adalah ukuran seberapa besar nilai muatan yang harus diberikan untuk menghasilkan perbedaan potensial tertentu. Dalam hal ini, proses pembentukan plasma menggunakan dua buah elektroda yang menggunakan medium udara sebagai isolator listrik, sehingga memiliki prinsip kerja yang hampir mirip dengan kapasitor.

3.5 Pengolahan dan Analisa Data

Pengolahan dan analisa data dilakukan berdasarkan nilai arus dan tegangan yang didapatkan. Pengolahan data dilakukan dengan cara memasukkan rumus – rumus perhitungan pada data arus dan tegangan. Kemudian analisa data dilakukan dengan menganalisis data berdasarkan grafik. Pada *Multi Virtual Analyzer*, data ditampilkan dalam bentuk grafik dan direkam sehingga dapat dikonversi kedalam format Microsoft Excel. Selanjutnya, data yang sudah diolah pada Microsoft Excel kemudian diubah menjadi grafik menggunakan *software* OriginLab. Dengan *software* OriginLab, didapatkan penggambaran grafik yang spesifik sehingga dapat dianalisis lebih detail.

3.5.1 Analisa Data Arus dan Tegangan

Pada data grafik arus dan tegangan yang diukur secara simultan, dapat disimpulkan dan dapat dilihat perbandingan saat terjadinya plasma dan saat plasma padam. Analisis data arus dan tegangan dilakukan pada rentang waktu tertentu pada saat terjadinya plasma dan pada saat plasma padam.

a). Perhitungan Nilai Arus pada Sisi Sekunder

Perhitungan nilai arus pada sisi sekunder dilakukan karena pada saat plasma terjadi, arus yang dihasilkan sangat kecil. Oleh karena itu dilakukan prediksi perhitungan untuk nilai arus pada sisi sekunder. Dengan menggunakan hukum konservasi energi, yaitu nilai *power* pada sisi sekunder sama dengan nilai *power* pada sisi primer ($P_s = P_p$), nilai arus pada sisi sekunder dapat dihitung menggunakan persamaan,

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p} \quad (3.5)$$

Dari persamaan diatas dapat juga ditulis menjadi

$$I_s = \frac{V_p \times I_p}{V_s} \quad (3.6)$$

b). Perhitungan Nilai Arus Sekunder Menggunakan Nilai Resistansi

Berdasarkan rumus 3.5 dapat dijabarkan kembali perhitungan untuk mendapatkan nilai arus sekunder, yaitu dengan menggunakan nilai resistansi konstan yang diukur pada rangkaian Inverter Boost Kit 15 kV. Dengan menggunakan rumus dasar hubungan antara arus, tegangan dan resistansi, maka didapatkan persamaan

$$V = I \times R \quad (3.7)$$

Dengan mengganti rumus V_p dan V_s dengan memasukkan nilai resistansi pada perhitungan, didapatkan persamaan sebagai berikut,

$$\frac{I_s^2}{I_p^2} = \frac{R_p}{R_s} \quad (3.8)$$

Maka, dapat juga disimpulkan menjadi

$$I_s = \sqrt{\frac{I_p^2}{1000}} \quad (3.9)$$

Dengan keterangan :

V_p = Tegangan Primer

V_s = Tegangan Sekunder

I_p = Arus Primer

I_s = Arus Sekunder

R_p = Resistansi Konstan pada Sisi Primer

R_s = Resistansi Konstan pada sisi Sekunder

c). Perhitungan Besar Nilai Muatan Listrik Berdasarkan Grafik

Pada kurva grafik nilai arus dan tegangan, dapat dilakukan perhitungan mengenai besarnya muatan listrik yang terjadi. Besar muatan listrik, tergantung terhadap besar kapasitansi pada saat terjadinya plasma. Semakin besar nilai kapasitansi, semakin besar muatan yang diperlukan[16]. Menggunakan kurva arus pada bagian sekunder, dengan mengambil data saat terjadinya plasma, dan dilakukan pada rentang waktu yang telah ditentukan. Perhitungan ini dapat didefinisikan dengan persamaan,

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad (3.10)$$

Berdasarkan rumus dasar nilai arus, besarnya nilai muatan listrik dapat didefinisikan sebagai,

$$Q = \int I \times dt \quad (3.11)$$

Apabila mencari nilai berdasarkan kurva, dapat didefinisikan juga menjadi,

$$Q = \frac{I \times \Delta t}{2} \quad (3.12)$$

Data untuk persamaan 3.11 didapat dari data grafik yang ditampilkan. Dari data grafik pada arus sekunder yang ditampilkan akan diambil besar selisih besar arus (ΔI) pada saat terjadinya lucutan. Pada grafik, diambil rentang waktu tertentu hanya pada saat terjadinya lucutan, sehingga didapatkan nilai selisih waktu pada kurva (Δt).

Kemudian dari hasil perhitungan besar nilai muatan listrik yang didapatkan, digunakan untuk menghitung besarnya energi yang digunakan untuk menghitung besarnya energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan plasma. Besar energi yang dibutuhkan dapat didefinisikan dengan rumus

$$U = \frac{1}{2} \times Q \times V \quad (3.13)$$

Dengan keterangan :

I = Arus (A)

Q = Besar muatan listrik (C)

ΔI = Selisih nilai arus pada kurva

Δt = Selisih nilai waktu pada kurva

U = Energi potensial (J)

V = Tegangan pada saat muatan listrik terjadi (V)

d). Perhitungan Besar Nilai Kapasitansi

Perhitungan besar nilai kapasitansi dilakukan berdasarkan nilai muatan listrik, menggunakan rumus 3.4. Nilai yang dihasilkan, kemudian digunakan untuk menghitung jarak antar elektroda sesuai dengan rumus

$$C = \frac{\varepsilon_0 A}{d} \quad (3.14)$$

Nilai permitivitas yang biasa digunakan pada umumnya adalah $8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$. Namun nilai tersebut hanya dipergunakan ketika didalam ruang hampa. Pada penelitian ini, diasumsikan menggunakan ruang udara, sehingga digunakan nilai konstanta dielektrik udara yaitu 1,00054. Rumus yang digunakan menjadi

$$C = \varepsilon_0 L \quad (3.15)$$

Dikarenakan nilai $L=A/d$ untuk kapasitor pelat paralel, apabila terdapat dielektrik diantara elektroda, maka persamaannya menjadi

$$C = k\varepsilon_0 L \quad (3.16)$$

Untuk mencari besar jarak antar elektroda pada saat terjadinya plasma, menggunakan persamaan

$$d = \frac{k\varepsilon_0 A}{C} \quad (3.17)$$

Dengan keterangan :

C = Kapasitansi (F)

ε_0 = Permittivitas (C^2/Nm^2)

A = Luas penampang (m^2)

d = Jarak antar elektroda (m)

k = Konstanta

L = Dimensi panjang

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

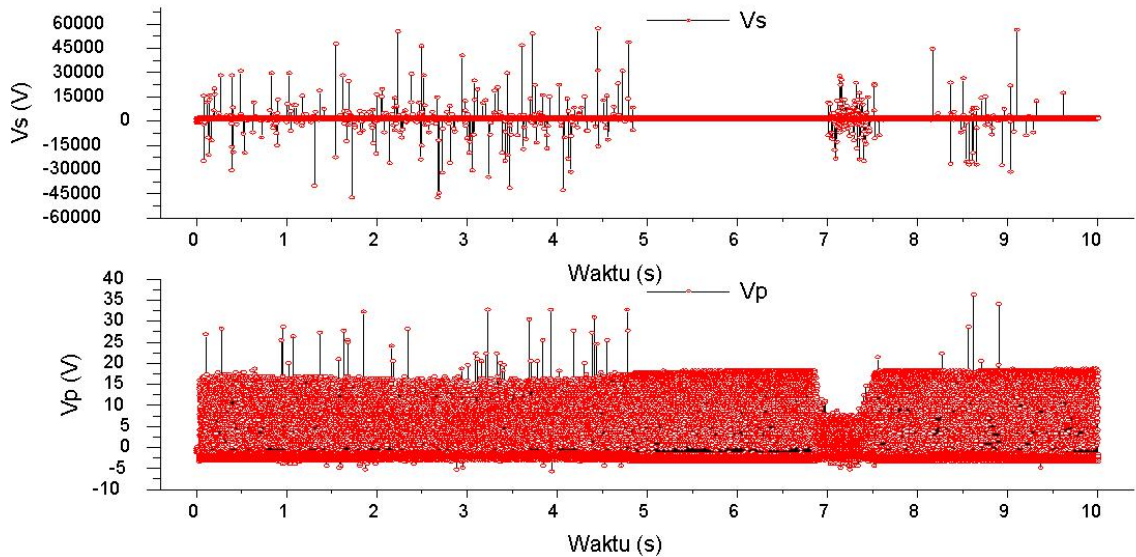
4.1 Hasil Pengukuran

Pengukuran dilakukan pada rangkaian sumber penghasil plasma, yaitu menggunakan modul *Inverter Boost Kit 15 kV*. Pada modul *Inverter Boost Kit 15 kV* terdapat komponen *step up transformer*. Oleh karena itu, pengukuran terbagi menjadi tiga pengukuran yang dilakukan secara bersamaan (simultan), yaitu pengukuran arus pada sisi primer trafo (I_p), pengukuran tegangan pada sisi primer trafo (V_p), dan pengukuran tegangan pada sisi sekunder trafo (V_s). Data hasil pengukuran arus yang dibaca oleh sensor ACS712 adalah data tegangan yang kemudian dikonversi menjadi data arus menggunakan rumus pada Microsoft Excel. Berikut juga dengan data tegangan pada sisi primer dan sisi sekunder trafo. Semua pengukuran yang dilakukan, secara langsung direkam oleh *data recorder* pada aplikasi *Multivirtual Analyzer* dengan menggunakan Intrustar yang disambung ke laptop sebagai hardwarenya. Pada sisi sekunder trafo, pengukuran tegangan menggunakan *Probe CT2700* yang merupakan salah satu instrumen dari *digital multimeter* yang digunakan untuk menurunkan tegangan dengan rasio 1:1000.

Pengukuran elektrik dilakukan selama sepuluh detik. Selama pengukuran, elektroda sengaja dijauhkan untuk membuat plasma padam selama dua sampai tiga detik, kemudian elektroda didekatkan kembali agar plasma dapat terjadi kembali. Hasil yang didapat dari pengukuran arus dan tegangan yang dilakukan, ditampilkan dalam bentuk grafik. Kemudian dari grafik yang didapatkan, hasilnya akan dianalisis, dilakukan perhitungan – perhitungan dari nilai hasil arus dan tegangan yang didapatkan dan juga akan dilakukan analisis lebih lanjut, mengenai plasma yang dihasilkan berdasarkan perhitungan – perhitungan dari hasil pengukuran arus-tegangan yang telah dilakukan.

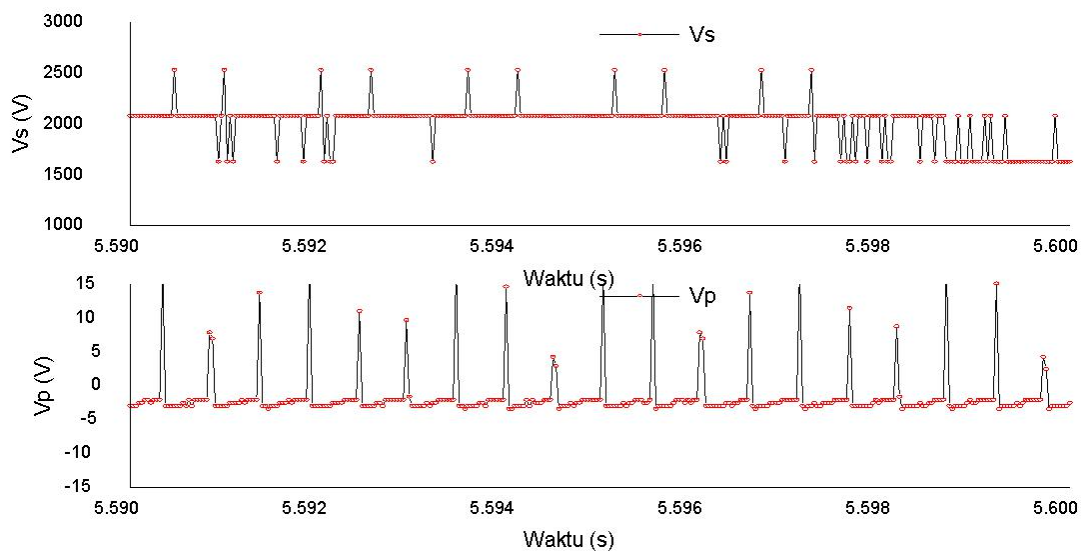
4.1.1 Hasil Pengukuran Tegangan

Berikut merupakan hasil pengukuran tegangan yang ditampilkan dalam bentuk grafik yang dilakukan.



Gambar 4.1 Grafik Hasil Pengukuran Tegangan

Berdasarkan grafik tersebut, titik-titik merah menandakan titik nilai dari tegangan yang terjadi pada saat pengukuran. Berdasarkan hasil pengukuran yang dilakukan pada tegangan, didapatkan hasil pengukuran tegangan sekunder yang terbesar adalah 57 kV dan yang terkecil adalah -47 kV dan pengukuran tegangan primer yang terbesar adalah 36,34 V dan yang terkecil adalah -5,71 V. Berdasarkan grafik tersebut, juga dapat disimpulkan pada saat terjadinya plasma, terdapat perubahan nilai tegangan pada sisi primer trafo (V_p), maupun pada sisi sekunder trafo (V_s). Hal ini disebabkan karena terdapat arus yang menginduksi tegangan pada transformator.



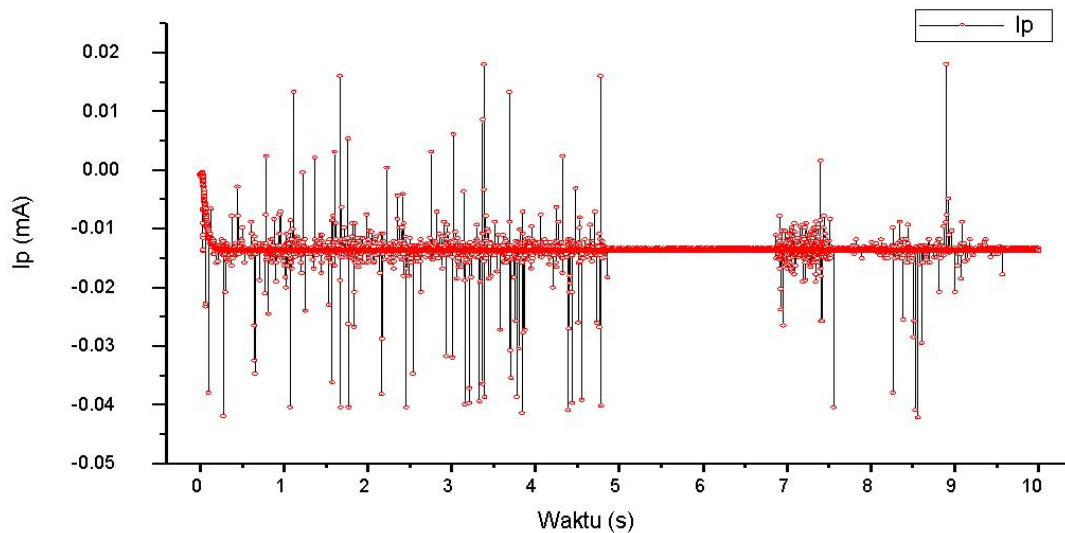
Gambar 4.2 Grafik Tegangan Diperbesar

Grafik data tersebut merupakan hasil pengukuran selama 10 ms pada detik 5,590 sampai detik ke 5.6 pada gambar 4.2. Grafik data hasil pengukuran tegangan primer dan tegangan sekunder tersebut merupakan waktu pengukuran pada saat plasma padam. Dapat dilihat bahwa ketika plasma padam, nilai tegangan pada sisi sekunder (V_s) memiliki nilai standar pada 2 kV, sedangkan nilai tegangan pada sisi primer trafo (V_p), tetap sesuai dengan polanya dengan nilai standar 15 V. Hasil pengukuran nilai tegangan pada sisi primer trafo (V_p) menghasilkan pola yang sama secara kontinu. Pola tersebut terbentuk akibat tegangan sumber dari baterai yang dilalui transistor, sehingga mempengaruhi nilai tegangan yang terjadi. Nilai positif dan nilai negatif pada hasil pengukuran tegangan terjadi karena polaritas yang berubah-ubah saat proses terjadinya plasma.

Pengambilan data tersebut, dilakukan sebanyak tiga kali. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan kesimpulan kesamaan grafik yang terjadi sebagai validasi. Selain itu, dilakukan validasi terhadap sensor dan alat pengukuran sebelum pengukuran dilakukan.

4.1.2 Hasil Pengukuran Arus

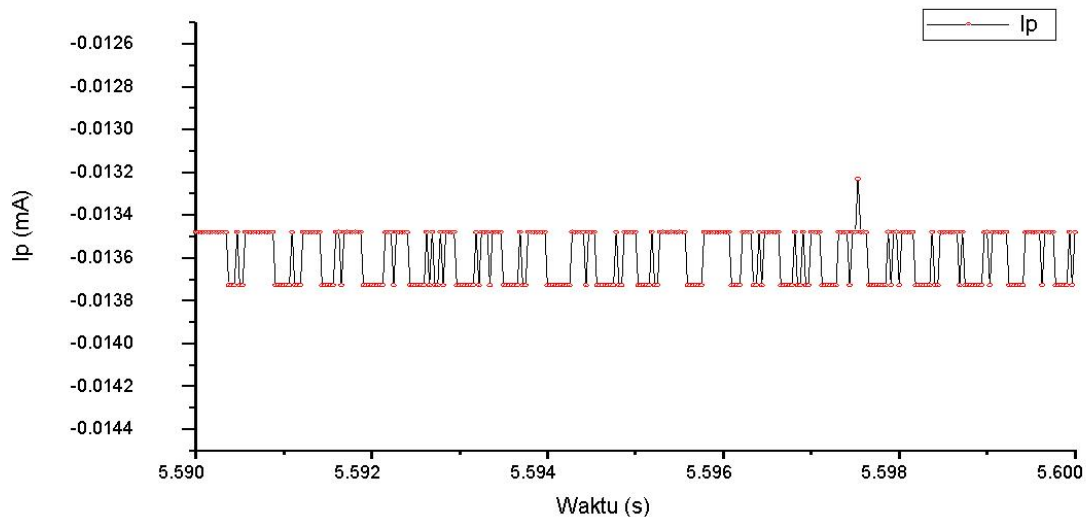
Pengukuran arus dilakukan pada sisi primer trafo menggunakan sensor arus ACS712 5A. Pengukuran arus hanya dilakukan pada sisi primer trafo dikarenakan tidak memungkinkannya dilakukan pengambilan data arus pada sisi sekunder trafo akibat kecilnya nilai arus yang diukur dengan tegangan yang cukup tinggi. Berikut ini merupakan hasil pengukuran arus pada sisi primer trafo (I_p) yang ditampilkan dalam bentuk grafik selama 10 detik.



Gambar 4.3 Grafik Hasil Pengukuran Arus Pada Sisi Primer

Pada grafik tersebut, hasil pengukuran nilai arus primer (I_p) yang didapatkan memiliki nilai negatif (-). Hal ini dapat disebabkan karena pada saat pengukuran pemasangan modul sensor arus ACS712 yang terbalik, sehingga aliran arus memiliki nilai negatif. Hal ini hanya menyebabkan hasil pengukuran memiliki nilai negatif, karena ACS712 mengeluarkan sinyal analog, yang bervariasi secara linier dengan AC atau DC satu arah atau dua arah arus sampel primer. Jadi, tidak mempengaruhi besaran nilai yang terukur. Berdasarkan grafik, besar nilai arus primer yang terbesar adalah 0,018 mA, sedangkan nilai arus terkecil adalah -0,042 mA. Selain itu juga dapat dilihat bahwa terdapat pengaruh yang terjadi terhadap nilai arus pada sisi primer ketika sedang terjadinya plasma dan pada saat plasma padam. Contohnya pada

saat transisi dari detik ke-5 sampai detik ke-6. Pada saat percobaan, plasma sengaja dipadamkan dengan cara menjauhkan kedua elektroda, dan elektroda kembali didekatkan sehingga plasma kembali terjadi pada awal detik ke-7. Selama plasma padam, nilai arus primer memiliki nilai yang stabil dengan nilai 0,0135 mA. Terlihat adanya perubahan nilai arus pada saat terjadinya plasma dan pada saat plasma padam. Bahwa saat terjadinya plasma juga terjadi perubahan nilai arus, hal ini dapat disebabkan karena adanya induksi dari arus pada sisi sekunder transformator (I_s) yang memengaruhi nilai arus pada sisi primer trafo (I_p). Berdasarkan grafik yang diperbesar pada gambar 4.4 dapat dilihat bahwa rata-rata nilai arus pada sisi primer memiliki *trend* yang sama dengan rata – rata nilai -0,0136 mA.



Gambar 4.4 Grafik Arus Diperbesar

Pengukuran arus pada sisi sekunder trafo (I_s), tidak dapat dilakukan pengukuran secara langsung dikarenakan tidak ditemukan sensor yang cukup akurat untuk mendeteksi arus dalam satuan orde ampere yang sangat kecil dengan tegangan yang tinggi, maka dilakukan prediksi dengan menggunakan rumus perhitungan. Dengan menggunakan hukum konservasi energi sesuai rumus 3.6, yang kemudian akan didapatkan nilai arus sekunder (I_s).

4.1.3 Hasil Pengukuran Resistansi Konstan

Dalam melakukan analisa selanjutnya mengenai arus dan tegangan pada rangkaian *Inverter Boost Kit 15 kV*, diperlukan data resistansi konstan sebagai validasi untuk perbandingan nilai tegangan yang dihasilkan. Berikut merupakan data hasil pengukuran nilai resistansi konstan pada sisi primer (R_p) dan nilai resistansi konstan pada sisi sekunder (R_s), yang dilakukan sebanyak 5 kali.

Tabel 4.1 Tabel Hasil Pengukuran Resistansi Konstan

Pengukuran	$R_p(\Omega)$	$R_s(K\Omega)$	$R_s(\Omega)$
Pengukuran 1	0.8	0.811	811
Pengukuran 2	0.7	0.81	810
Pengukuran 3	0.9	0.81	810
Pengukuran 4	0.8	0.809	809
Pengukuran 5	0.6	0.81	810
Nilai rata-rata	0.76	0.81	810

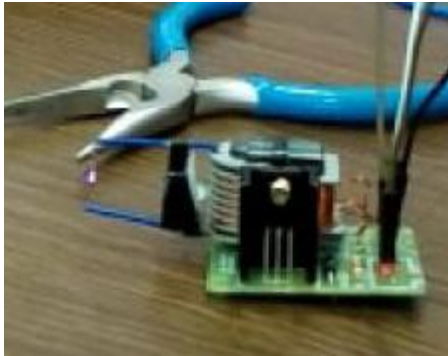
Berdasarkan data hasil pengukuran tersebut, dapat dilihat perbandingan antara nilai resistansi pada sisi primer dan resistansi pada sisi sekunder ($R_p:R_s$) adalah kurang lebih sebesar 1:1000, sehingga diasumsikan bahwa perbandingannya adalah 1:1000.

4.2 Analisa Hasil Pengukuran Arus-Tegangan

Berdasarkan grafik dari hasil pengukuran, terdapat keterkaitan antara arus dengan tegangan yang terjadi, dikarenakan pengukuran dilakukan secara simultan. Oleh karena itu dilakukan analisis dengan membandingkan grafik arus dan tegangan yang terjadi pada waktu yang sama. Pengaruh yang terjadi terhadap kurva grafik arus-tegangan dapat disebabkan karena adanya induksi, gerak gaya listrik (GGL), terjadinya lucutan pada kedua ujung elektroda, tipe plasma yang terjadi, dsb.

Analisis dilakukan terhadap plasma yang dihasilkan oleh modul *Inverter Boost kit 15 kV*. Terdapat dua kondisi yang terjadi selama pengukuran arus-tegangan

pada modul, yaitu pada saat terjadinya plasma dan juga pada saat plasma sengaja dipadamkan. Plasma dipadamkan dengan cara menjauhkan jarak antar elektroda.



(a)

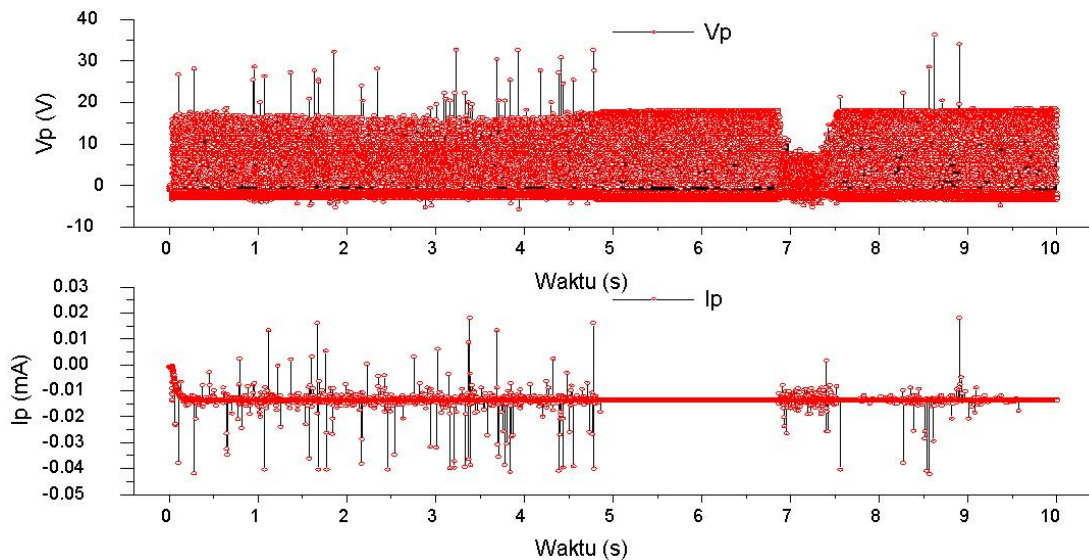


(b)

Gambar 4.5 Elektroda pada saat (a) terjadinya plasma (b) plasma padam

4.2.1 Analisis Arus-Tegangan pada Sisi Primer

Analisa arus-tegangan dilakukan dengan membandingkan grafik antara arus dan tegangan yang terjadi. Berikut merupakan perbandingan data grafik hasil pengukuran tegangan pada sisi primer (V_p) trafo dengan data grafik hasil pengukuran arus pada sisi primer trafo (I_p).

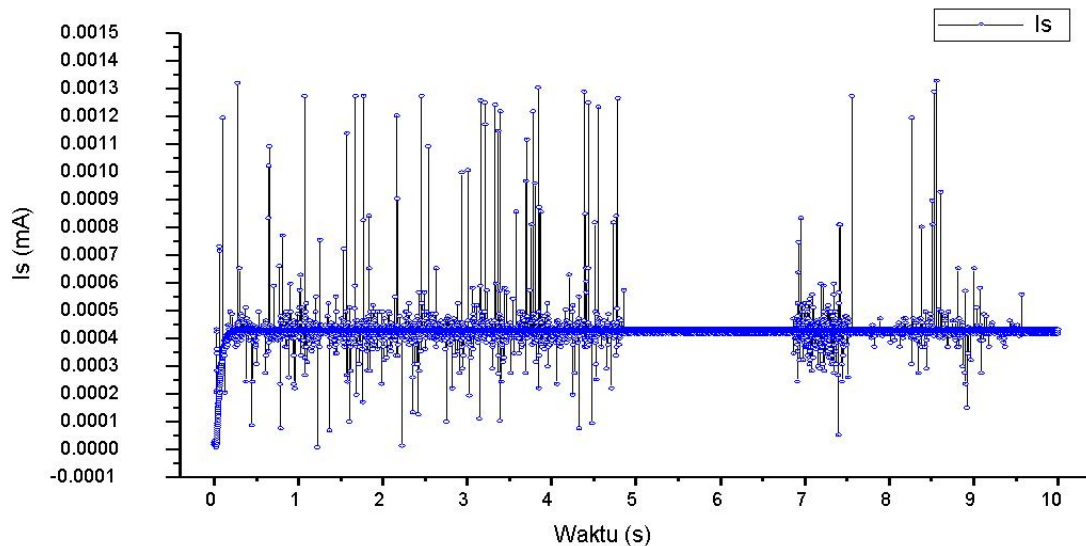


Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Arus dan Tegangan pada Sisi Primer

Grafik tersebut merupakan grafik yang terjadi pada sisi primer. Pada sisi primer, tegangan dan arus yang terjadi dipengaruhi oleh adanya gerak gaya listrik (ggl) yang terjadi pada trafo. Tegangan masukkan pada sisi primer, dipengaruhi oleh beberapa komponen yang ada pada modul *Inverter Boost Kit 15 kV*, yaitu terdapat komponen dioda, resistor, dan juga transistor. Dengan masukkan tegangan dari Baterai Lithium yang digunakan sebesar 3,7 V, sesuai data grafik V_p pada gambar 4.6, bahwa tegangan terbesar yang masuk ke sisi primer trafo dapat mencapai sebesar 36 V. Besar perubahan nilai tegangan dipengaruhi oleh induksi arus yang terjadi pada sisi sekunder.

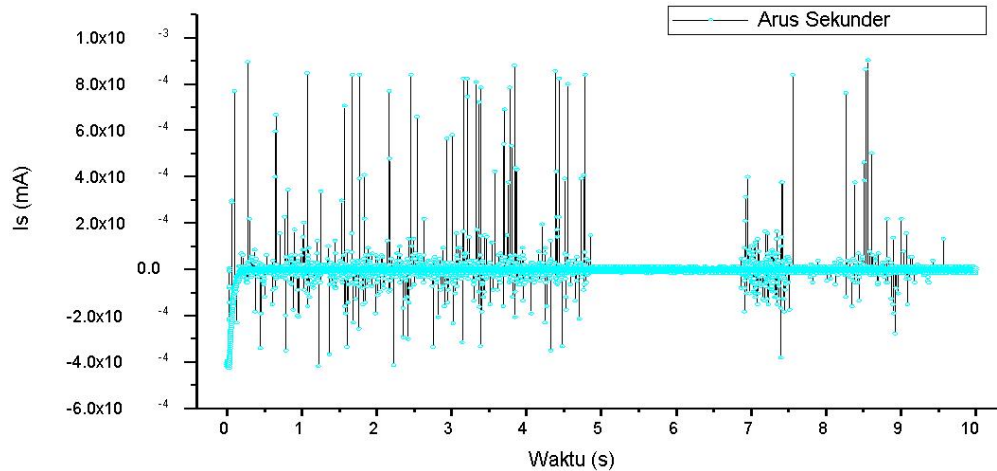
4.2.2 Perhitungan Besar Nilai Arus pada Sisi Sekunder

Perhitungan nilai arus pada sisi sekunder trafo dilakukan untuk mendapatkan nilai prediksi besar nilai arus pada sisi sekunder. Hal ini dilakukan karena tidak memungkinkannya pengukuran pada sisi sekunder, karena nilai satuannya yang sangat kecil. Perhitungan besar nilai arus pada sisi sekunder (I_s), dilakukan menggunakan rumus 3.6. Hasil dari olahan data menggunakan rumus tersebut ditampilkan dalam grafik berikut ini.



Gambar 4.7 Grafik Arus Sekunder (I_s) Hasil Prediksi

Pada gambar 4.7, masih terdapat nilai arus pada saat plasma padam. Seharusnya nilai arus pada saat tidak terjadinya plasma memiliki nilai nol. Hal ini terjadi dikarenakan data dalam bentuk grafik yang dibuat menggunakan data perhitungan dari nilai hasil pengukuran V_p , V_s , dan I_p , sehingga data yang dihasilkan pada saat tidak terjadinya plasma akan tetap memiliki nilai. Oleh karena itu, dilakukan perhitungan selanjutnya dengan menggunakan nilai pada detik ke-5 sampai ke-6. Dilakukan perhitungan menggunakan metode substrak, yaitu mengambil nilai data pada saat plasma padam, lalu dikurangi keseluruhan data pada grafik Gambar 4.7, sehingga didapatkan grafik sebagai berikut



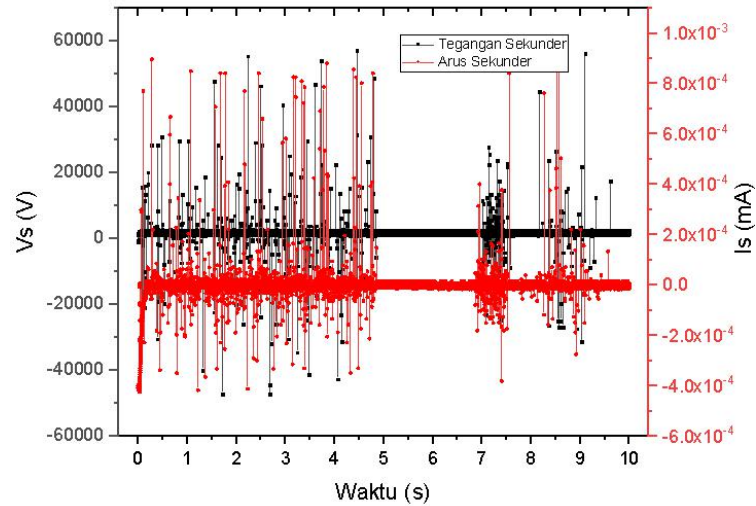
Gambar 4.8 Grafik Arus Sekunder Hasil Substraksi

Berdasarkan besar nilai arus pada sisi sekunder (I_s), sesuai dengan gambar mengenai data grafik lucutan, dapat disimpulkan bahwa tipe lucutan yang terjadi merupakan lucutan plasma tipe lucutan korona (*Corona Discharge*). Hal ini disimpulkan berdasarkan grafik masa hidup plasma sesuai pada gambar 2.2 dan juga berdasarkan warna plasma yang terjadi, yaitu violet keputihan sesuai gambar 3.3.

4.2.3 Analisis Arus-Tegangan pada Sisi Sekunder

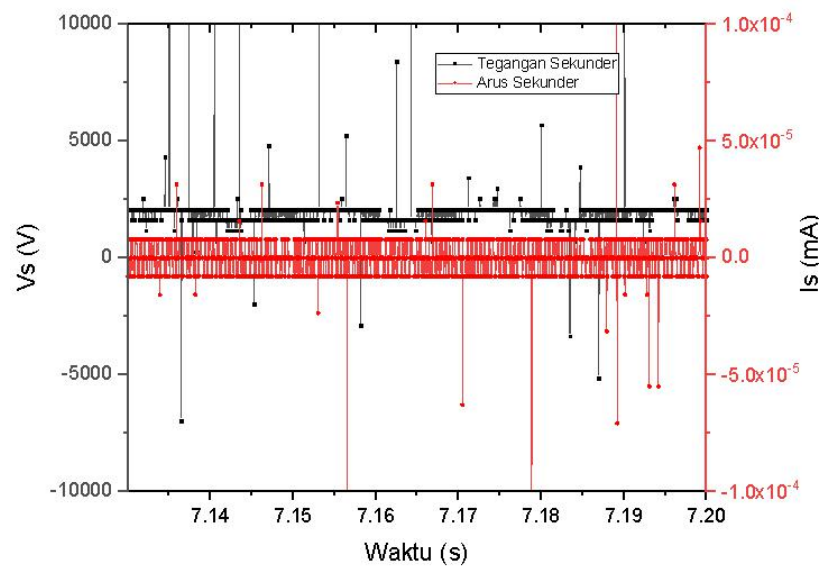
Analisis arus-tegangan pada sisi sekunder, dilakukan dengan membandingkan grafik arus-tegangan yang terjadi pada sisi sekunder. Nilai arus pada sisi sekunder didapatkan dari hasil perhitungan sebelumnya, sedangkan nilai tegangan

menggunakan nilai hasil pengukuran. Berikut merupakan analisis terhadap arus-tegangan pada sisi sekunder.



Gambar 4.9 Grafik Arus-Tegangan pada Sisi Sekunder

Berdasarkan grafik tersebut, dapat dilihat perbandingan antara arus pada sisi sekunder (I_s) dengan tegangan pada sisi sekunder (V_s). Untuk melihat lebih jelas bentuk gelombang, maka grafik perlu diperbesar. Berikut gambar grafik yang diperbesar.



Gambar 4.10 Graik Arus-Tegangan Sisi Sekunder (Diperbesar)

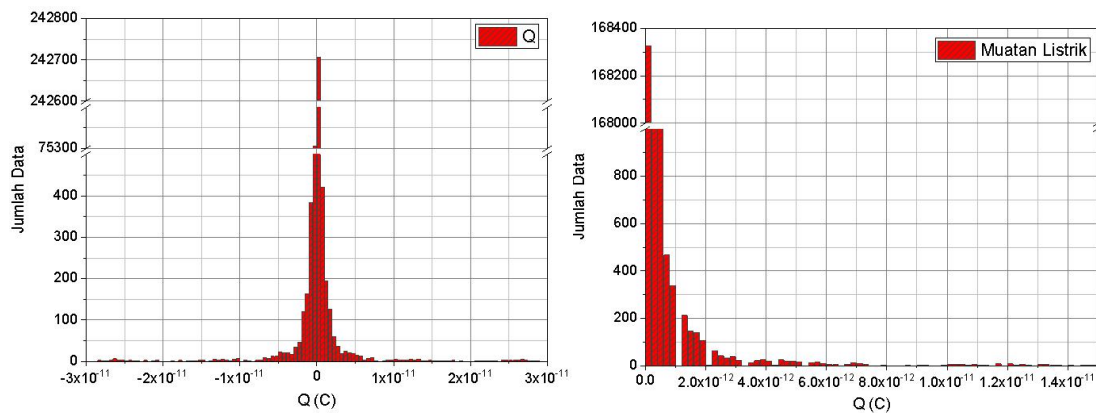
Grafik diperbesar hingga memiliki rentang waktu ± 65 ms. Berdasarkan grafik, dapat dilihat pola yang terjadi pada grafik arus-tegangan. Pola yang terjadi menunjukkan hubungan antara kedua grafik arus-tegangan yang terjadi diwaktu yang bersamaan. Nilai yang terjadi pada grafik arus sekunder menunjukkan bahwa pada saat nilai arus sekunder berubah, maka pada saat itu juga terbentuknya plasma pada elektroda. Pola yang terjadi pada kedua grafik menunjukkan keterkaitan. Plasma yang dihasilkan dapat diasumsikan merupakan tipe plasma lucutan korona dan juga peralihan dari plasma korona menuju plasma *normal glow*. Sesuai dengan karakteristiknya pada grafik masa hidup plasma pada Gambar 2.2, bahwa pada plasma lucutan korona, apabila nilai tegangan naik, maka nilai arus juga akan ikut naik sesuai dengan nilai tegangan yang terjadi. Namun, karena nilai yang terjadi memiliki nilai 10^{-4} , juga dapat disebut bahwa plasma yang terjadi memiliki tipe lucutan *normal glow*. Perbedaan waktu yang terjadi pada pola grafik, dapat disebabkan adanya perbedaan nilai frekuensi pada saat pengambilan data.

4.3 Analisis Besar Muatan Listrik

Berdasarkan grafik nilai arus pada sisi sekunder (I_s) pada grafik, dapat dilakukan perhitungan besar nilai muatan listrik. Perhitungan dilakukan dengan rumus 3.10, dengan menggunakan nilai arus sekunder sesuai pada grafik pada Gambar 4.8. Data muatan listrik, ditampilkan dalam grafik histogram.

4.3.1 Hasil Perhitungan Muatan Listrik

Berikut merupakan data nilai muatan listrik (Q) yang dilakukan sesuai dengan rumus 3.11. Data yang ditampilkan menggunakan hasil perhitungan arus sekunder dengan menggunakan nilai arus primer sebagai acuan, sesuai Gambar 4.7. Data grafik histogram yang dihasilkan mengenai besar muatan listrik adalah sebagai berikut.



Gambar 4.11 Grafik Histogram Data Besar Muatan Listrik

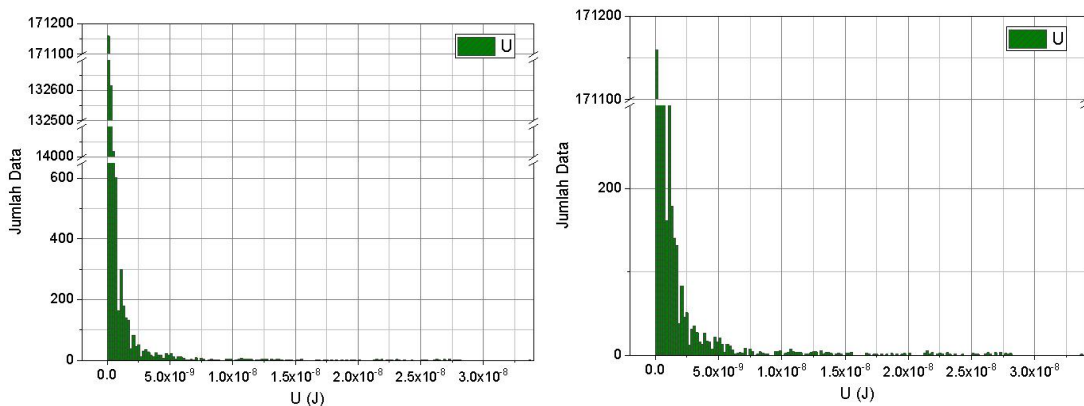
Data grafik histogram besar muatan listrik memiliki ukuran tiap batangnya sebesar 5×10^{-13} C. Pada grafik, dua data terbanyak memiliki nilai kurang dari 5×10^{-13} C, oleh karena itu, data tersebut dapat diabaikan karena dianggap data yang terjadi pada saat plasma padam. Data terbanyak yang dihasilkan ketika terjadinya plasma adalah sebesar $7,5 \times 10^{-13}$ C, dengan jumlah data sebanyak 421 data. Proses ionisasi adalah fenomena yang terkait dengan *striping* elektron dari atom sehingga menciptakan pasangan partikel bermuatan negatif dan positif [19], oleh karena itu terdapat nilai positif dan negatif pada hasil perhitungan muatan listrik. Berdasarkan

data grafik diatas, nilai besar muatan listrik yang paling besar dihasilkan adalah sebesar $2,85 \times 10^{-11}$ C pada polaritas positif $2,83 \times 10^{-11}$ C pada polaritas negatif.

Agar dapat melihat besar muatan listrik yang terjadi secara lebih jelas, maka dibuat grafik histogram dengan nilai muatan listrik yang diabsolutkan. Sesuai dengan nilai muatan listrik yang diabsolutkan, dapat diasumsikan bahwa tiap-tiap kumpulan rentang nilai muatan listrik tersebut, merupakan nilai muatan listrik yang terjadi pada saat proses terjadinya plasma.

4.3.2 Energi yang Dibutuhkan untuk Menghasilkan Plasma

Berdasarkan nilai hasil dari perhitungan besarnya muatan listrik pada saat terjadinya plasma, data tersebut digunakan untuk menghitung besarnya energi yang diperlukan untuk menghasilkan plasma. Berdasarkan rumus 3.12, hasil dari perhitungan yang dilakukan, didapatkan hasil sebagai berikut



Gambar 4.12 Grafik Histogram Energi Potensial

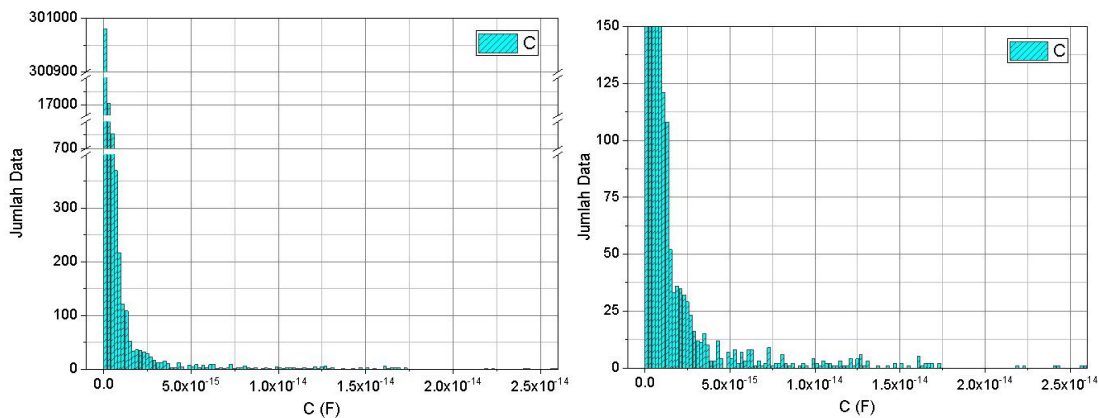
Grafik histogram data energi diatas, menggunakan rentang data tiap batangnya adalah sebesar 2×10^{-10} J. Berdasarkan grafik tersebut, didapatkan besarnya energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan plasma, memiliki rentang nilai s. Data terbanyak yang dihasilkan adalah sebesar 7×10^{-10} J dengan 610 jumlah data. Terdapat satu data nilai terbesar, bernilai $3,37 \times 10^{-8}$ J.

4.4 Analisis Nilai Kapasitansi

Berdasarkan nilai besar muatan listrik yang didapatkan, selanjutnya dilakukan perhitungan besar nilai kapasitansi (C) menggunakan rumus 3.4. Analisis besar nilai kapasitansi bertujuan untuk mencari besar jarak antar elektroda pada saat terjadinya plasma.

4.4.1 Hasil Perhitungan Kapasitansi

Berikut merupakan data grafik histogram hasil perhitungan besar nilai kapasitansi menggunakan rumus 3.4. Kemudian nilai diabsolutkan, sehingga grafik histogram yang dihasilkan adalah sebagai berikut



Gambar 4.13 Grafik Histogram Data Kapasitansi

Berdasarkan grafik histogram tersebut, data nilai kapasitansi tertinggi adalah sebesar 0,0259 pF. Data nilai kapasitansi, memiliki rentang nilai dari 5×10^{-16} – $2,5 \times 10^{-14}$. Pada nilai kapasitansi sesuai dengan grafik histogram tersebut, dapat dilihat rentang nilai kapasitansi yang terjadi memiliki data yang semakin sedikit apabila nilainya semakin besar, hal ini sesuai dengan nilai *peak* arus sekunder (I_s) yang terjadi, karena hanya sedikit nilai *peak* arus sekunder yang terjadi. Berdasarkan nilai kapasitansi ini, akan dianalisis berapa besar nilai jarak yang terjadi pada kedua elektroda.

4.4.2 Besar Jarak Elektroda saat Terjadinya Plasma

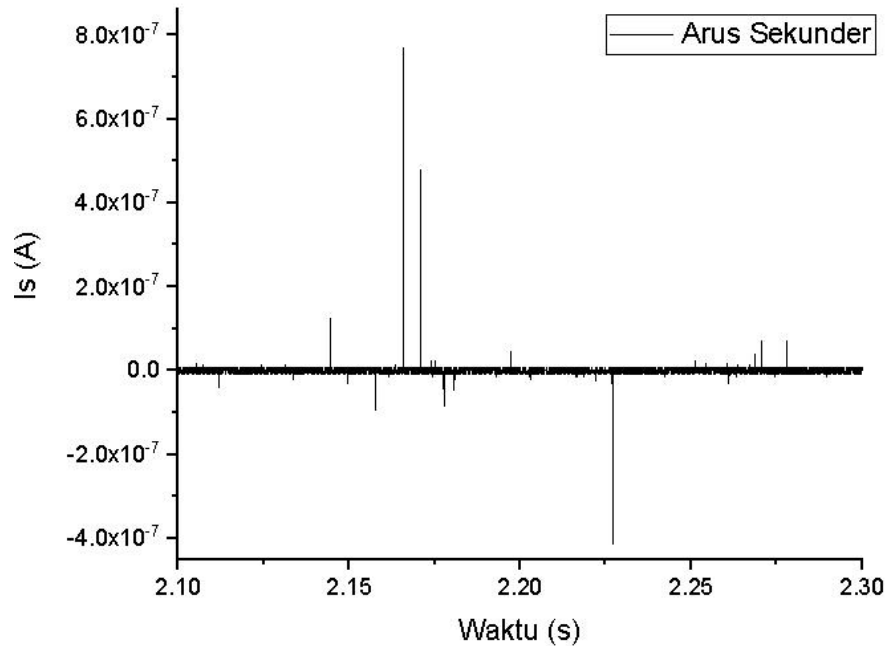
Besar jarak antar elektroda (d), dihitung menggunakan persamaan 3.17. Dengan menggunakan hasil perhitungan nilai kapasitansi (C), dan mengasumsikan besar luas penampang (A) pada kawat tembaga sebesar 1 mm^2 , sehingga dapat dihitung besar jarak antara elektroda pada saat terjadinya plasma. Namun, apabila dihitung secara keseluruhan, nilai yang didapatkan menjadi tidak beraturan. Oleh karena itu, karena yang diperlukan adalah nilai jarak antar elektroda (d) yang terjadi ketika proses terjadinya plasma, maka diambil *sample* data dengan rentang waktu selama 0,2s pada grafik nilai arus sekunder (I_s). Berdasarkan dengan rumus perhitungan tersebut, dan menggunakan data nilai arus sekunder (I_s) pada saat terjadinya plasma, maka data besar jarak antar elektroda (d) dapat dilihat dalam bentuk tabel berikut.

Tabel 4.2 Tabel Perbandingan Nilai pada Rentang Waktu Tertentu

No	Time (s)	Data I_s (A)	Data Q (C)	Data C (F)	Data d (m)
1	2.165906	7.71×10^{-7}	-2.41×10^{-11}	1.48×10^{-14}	5.98×10^{-4}
2	2.170969	4.80×10^{-7}	-1.50×10^{-11}	7.21×10^{-15}	1.23×10^{-3}
3	2.177688	-8.65×10^{-8}	2.95×10^{-12}	1.81×10^{-15}	4.89×10^{-3}
4	2.18075	-4.72×10^{-8}	1.47×10^{-12}	7.09×10^{-16}	1.25×10^{-2}
5	2.197344	4.72×10^{-8}	1.47×10^{-12}	9.06×10^{-16}	9.77×10^{-3}
6	2.227125	-4.12×10^{-7}	1.31×10^{-11}	8.06×10^{-15}	1.10×10^{-3}
7	2.268531	3.93×10^{-8}	-2.46×10^{-12}	7.09×10^{-16}	1.49×10^{-3}
8	2.270719	7.08×10^{-8}	-2.46×10^{-12}	1.18×10^{-15}	7.49×10^{-3}
9	2.278031	7.08×10^{-8}	-2.46×10^{-12}	1.51×10^{-15}	5.86×10^{-3}
10	2.30625	3.93×10^{-8}	-1.23×10^{-12}	7.55×10^{-16}	1.17×10^{-2}
Average d					0.005665

Tabel tersebut, diambil dari besar nilai arus sekunder yang terjadi, sesuai dengan gambar 4.13. Berdasarkan tabel tersebut, nilai yang ditunjukkan pada tabel memiliki rata-rata nilai d adalah 0,005665 m. Pada tabel tersebut, semakin besar nilai kapasitansi (C), maka nilai jarak antar elektroda (d), akan semakin mengecil.

Berbanding terbalik dengan nilai arus sekunder, apabila nilai i_s semakin besar, maka nilai jarak antar elektroda (d) akan semakin mengecil.



Gambar 4.14 Grafik Arus Sekunder selama 0,2 s

Grafik tersebut, merupakan grafik arus sekunder yang diperbesar hingga mendapatkan rentang waktu dari detik ke 2,1 sampai detik ke 2,3. Berdasarkan grafik tersebut, data nilai arus sekunder yang terdapat pada tabel didapatkan. Berdasarkan dari hasil perhitungan, dapat disimpulkan bahwa semakin besarnya jarak antar elektroda yang terjadi, maka nilai kapasitansi yang terjadi semakin kecil, dan begitu juga sebaliknya. Jarak yang terjadi antara kedua elektroda memiliki nilai yang sangat kecil. Hal ini dapat disebabkan oleh alat-alat pengukuran yang dipasang. Karena pada saat pengukuran, akan lebih mudah terjadi lucutan ketika tidak dipasang sistem pengukuran dibandingkan ketika dipasangkan sistem pengukuran.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan dari hasil dan pembahasan sebagai berikut

1. Telah berhasil, merancang sistem pengukuran arus dan tegangan pada rangkaian sumber pembangkit plasma *Inverter Boost Kit 15 kV*. Hasil pengukuran yang dapat dilakukan hanya pengukuran nilai arus pada sisi primer (I_p), nilai tegangan pada sisi primer (V_p), dan nilai tegangan pada sisi sekunder (V_s), sehingga dilakukan perhitungan lebih lanjut untuk mendapatkan nilai arus pada sisi sekunder (I_s).
2. Telah berhasil, mendapatkan nilai keluaran arus dan tegangan pada sumber plasma di kedua sisi. Hasil pengukuran nilai arus sisi primer (I_p) yang terbesar adalah 0,018 mA, dan nilai terkecilnya -0,042 mA. Hasil pengukuran nilai tegangan terbesar pada sisi primer (V_p) adalah sebesar 36,34 V pada nilai positif, dan -5,71 V pada nilai negatif. Hasil pengukuran nilai tegangan terbesar pada sisi sekunder (V_s) adalah sebesar 57 kV pada polaritas positif, dan - 47 kV pada polaritas negatif. Untuk prediksi besar nilai arus pada sisi sekunder (I_s), nilai terbesar hasil prediksi adalah sebesar 0,905 μ A dan terkecil memiliki nilai -4,25 μ A.
3. Berdasarkan hubungan arus dan tegangan pada sisi sekunder yang dihasilkan, dapat didefinisikan tipe plasma yang dihasilkan, yaitu tipe lucutan korona (*corona discharge*). Hal ini didapatkan dikarenakan karakteristik nilai arus yang terjadi pada sisi sekunder memiliki nilai yang sangat kecil mencapai orde *microampere* (10^{-6}) dengan nilai tegangan tinggi yang besarnya mencapai 57 kV dan - 47 kV.
4. Berdasarkan nilai arus yang dihasilkan, besar nilai arus yang terjadi memiliki pengaruh terhadap nilai muatan listrik yang dihasilkan. Data grafik histogram memiliki ukuran tiap batangnya sebesar 5×10^{-13} C. Data terbanyak yang

dihasilkan ketika terjadinya plasma adalah sebesar $7,5 \times 10^{-13}$ C, dengan jumlah data sebanyak 421 data, nilai besar muatan listrik yang paling besar dihasilkan adalah sebesar $2,85 \times 10^{-11}$ C pada polaritas positif $2,83 \times 10^{-11}$ C pada polaritas negatif. Dengan besar energi yang diperlukan untuk menghasilkan plasma sesuai hasil perhitungan memiliki nilai 7×10^{-10} J sampai $2,81 \times 10^{-8}$ J.

5. Telah didapatkan nilai kapasitansi untuk menghitung jarak antar elektroda yang terjadi pada saat *plasma event*. Jarak antar kedua elektroda, memiliki rata-rata nilai 5mm. Dapat disimpulkan bahwa semakin besar jarak antar elektroda, maka akan semakin kecil nilai kapasitansi.

5.2 Saran

1. Menambah pengukuran arus-tegangan agar dapat mengurangi *error* yang terjadi selama pengukuran.
2. Melakukan pengujian terhadap sensor yang digunakan untuk pengukuran, untuk meminimalisir hasil pengukuran.
3. Menambahkan variabel parameter plasma untuk memvalidasi tipe plasma yang dihasilkan.
4. Melakukan pengujian terhadap plasma, tanpa menggunakan pengukuran arus dan tegangan pada sisi primer.

DAFTAR PUSTAKA

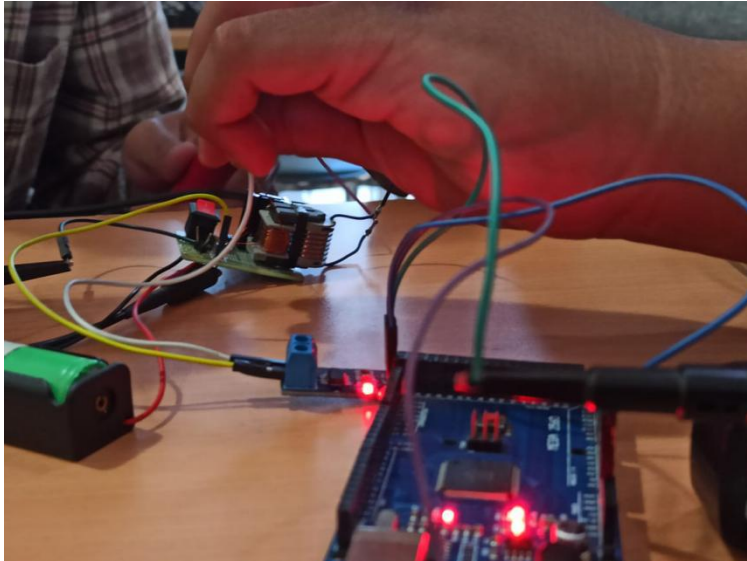
- [1] Admin, “*Teknologi Plasma untuk Mengolah Sampah*”, 16 Mei 2009. [Online]. Tersedia: <http://lipi.go.id/berita/teknologi-plasma-untuk-mengolah-sampah/3761> [Diakses 7 Mei 2020].
- [2] M.Nur, *Fisika Plasma dan Aplikasinya*, Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro Semarang, 2011.
- [3] Admin, “*Teknologi Plasma Dapat Atasi Pencemaran Lingkungan*”, 16 Mei 2009. [Online]. Tersedia: <http://lipi.go.id/berita/teknologi-plasma-dapat-atasi-pencemaran-lingkungan-/3919> [Diakses 7 Mei 2020].
- [4] T.P. Kasih and J. Nasution, “*Pengembangan Teknologi Plasma Dingin untuk Modifikasi Karakteristik Permukaan Material tanpa Mengubah Sifat Dasar Material*”, Jurnal PASTI, vol X, no.33, pp 373-379.
- [5] J. Zhu et. al, “*Spatiotemporally resolved characteristics of a gliding arc discharge in a turbulent air flow at atmospheric pressure*”, Physics of Plasmas, vol 24, no 013514, 2017.
- [6] M. Keidar and I. I. Beilis, *Plasma Engineering (Second Edition)*, Washington DC: Academic Press, 2018.
- [7] G. J. Baker, “*Arc Flash Detection Through Voltage/Current Signatures*”, M. S. Thesis, Department of Electrical and Computer Engineering, University of Saskatchewan, Canada, 2012.
- [8] J. Zhu et al, “*Sustained diffusive alternating current gliding arc discharge in atmospheric pressure air*”, Applied Physics Letters, vol 105, no. 234102, 2014.
- [9] P. Lu, P. J. Cullen, K. Ostrikov, “*Atmospheric Pressure Nonthermal Plasma Sources*”, in *Cold Plasma in Food Agriculture: Fundamental and Applications*, 1st edition, pp. 83-116, United Kingdom: Academic Press, 2016.

- [10] D. Kho, *Pengertian Inverter dan Prinsip Kerjanya*. [Online] . Tersedia: <https://teknikelektronika.com/pengertian-inverter-prinsip-kerja-power-inverter/> [Diakses 11 Mei 2020].
- [11] Admin, “15KV High Frequency DC High Voltage Arc Ignition Generator Inverter Step Up Boost Module 18650 DIY Kit U Core Transformer Suite 3.7V.” [Online]. Tersedia: <http://www.icstation.com/15kv-high-frequency-high-voltage-ignition-generatorinverter-step-boost-module-18650-core-transformer-suite-p-12099.html>, [Diakses May 2, 2020].
- [12] *Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*, Allegro MicroSystems Inc., Massachusetts, USA, 2011.
- [13] *CT2700 User Manual*, Cal Test Electronics, Yorba Linda, CA 2016.
- [14] *ISDS205 User Guide*, Intrustar Electronic Technology, 2019.
- [15] Admin, “Pengertian Muatan Listrik, Jenis, Sifat, Rumus dan Contoh Soal Muatan Listrik Lengkap” 21 April 2018. [Online]. Tersedia: <https://www.pelajaran.co.id/2018/21/pengertian-jenis-sifat-rumus-dan-contoh-soal-muatan-listrik.html>. [Diakses 13 Mei 2020].
- [16] D. Halliday, R. Resnick, and J. Walker, *Fundamentals of Physics*, 9th Edition. United States of America: John Wiley & Sons, Inc., 2011.
- [17] P. Yan et al. “Characteristics of negative DC corona discharge in a wire-plate configuration at high temperatures” *Separation and Purification Technology*, no 139, pp 5-13, 2014.
- [18] C. Kong et al. “Characterization of an AC glow-type gliding arc discharge in atmospheric air with a current-voltage lumped model” *Physics of Plasmas*, vol 24, no 093515, 2017.

[19] T. Wildi. Electrical Machines, Drives and Power System Fifth Edition. Sperika Enterprises Ltd published Pearson Education Inc, 2002.

LAMPIRAN

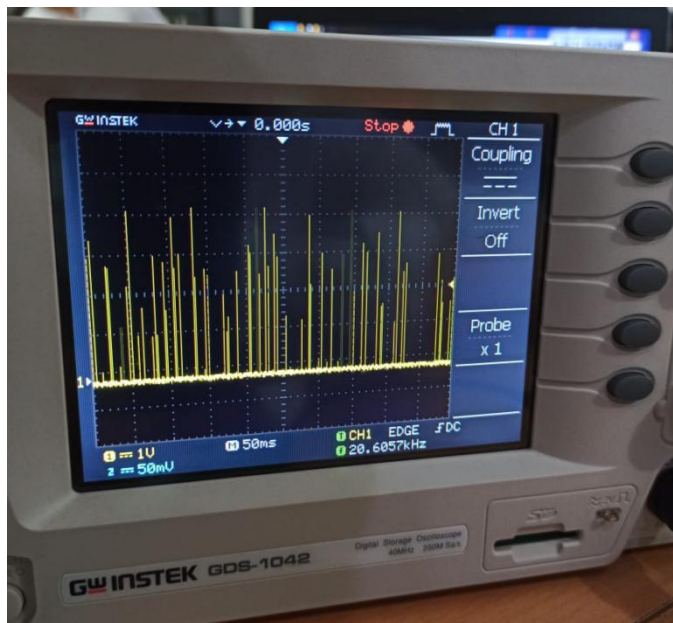
Lampiran 1 Dokumentasi Penelitian



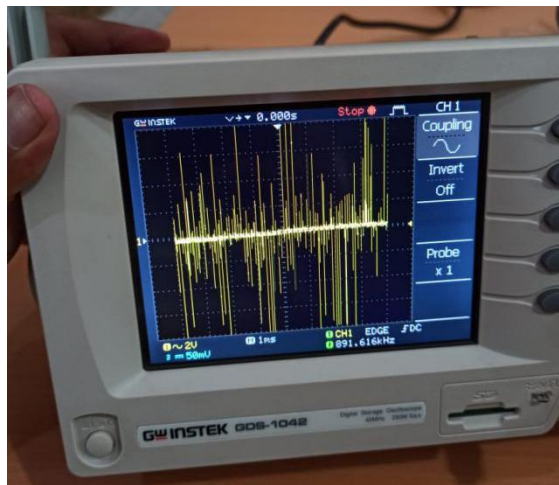
Rangkaian sensor dan probe pada *Inverter Boost* 15 kV.



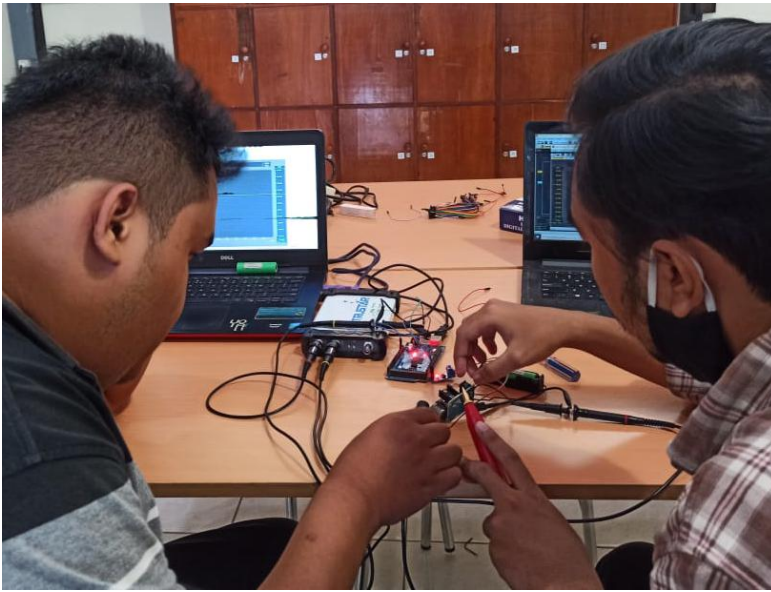
Validasi fungsi *Probe* CT2700 DMM menggunakan Oscilloscope Digital.



Validasi bentuk grafik Tegangan Primer menggunakan Oscilloscope Digital.



Validasi bentuk grafik Arus Primer menggunakan Oscilloscope Digital.



Proses pengambilan data arus-tegangan secara simultan.



Pengambilan data menggunakan PC-Oscilloscope Intrustar ISDS205 pada mode *Data Recorder*.