

**MONITORING ARUS DAN TEGANGAN PLASMA ARC  
DISCHARGE DI DALAM AIR UNTUK FABRIKASI  
PARTIKEL NANO**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat

untuk memperoleh gelar

Sarjana Teknik



Oleh:

LIA ANJARWATI

NIM. I0715020

**PRODI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
SURAKARTA  
2020**

**MONITORING ARUS DAN TEGANGAN PLASMA ARC  
DISCHARGE DI DALAM AIR UNTUK FABRIKASI  
PARTIKEL NANO**

**SKRIPSI**

Diajukan sebagai salah satu syarat

untuk memperoleh gelar

Sarjana Teknik



Oleh:

LIA ANJARWATI

NIM. I0715020

**PRODI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
SURAKARTA  
2020**



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
*Jalan. Ir. Sutami nomor 36 A Ketingan Surakarta 57126*  
*Telepon: 0271 647069 psw 438, faksimili: 0271 662118*

## **SURAT TUGAS**

**Nomor : 035/TA/TE/2019**

Kepala Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret memberikan tugas kepada :

Nama : **Lia Anjarwati**  
NIM : **10715020**  
Bidang peminatan : **Sistem Energi Listrik**  
Pembimbing Utama : **Dr. Miftahul Anwar, M.Eng.**  
NIP. 1983032420130201  
Pembimbing Pendamping : **Hari Maghfiroh, S.T., M.Eng.**  
NIP. 199104132018031001  
Mata kuliah pendukung : **1. Perlengkapan Sistem Tenaga**  
**2. Transmisi dan Distribusi**  
**3. Manajemen Energi**

untuk mengerjakan dan menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul :

**Sistem Monitoring Metode Submerge Arc Discharge Berbasis Arduino**

Surat tugas ini dibuat untuk dilaksanakan dengan sebaik-baiknya.

Surakarta, 29 May 2019  
Kepala Program Studi  
  
Irwan Iftadi, S.T., M.Eng  
NIP. 197004041996031002

Tembusan:

1. Mahasiswa ybs.
2. Dosen Pembimbing TA
3. Koordinator TA
4. Arsip

### PERNYATAAN INTEGRITAS PENULIS

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

Nama : Lia Anjarwati  
NIM : 10715020  
Judul tugas akhir : Monitoring Arus Dan Tegangan Plasma Arc  
*Discharge* Di Dalam Air Untuk Fabrikasi Partikel Nano

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir 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 dikemudian hari terbukti melakukan kebohongan maka saya sanggup menanggung segala konsekuensinya.

Surakarta, 30 Juli 2020



Lia Anjarwati  
NIM. 10715020

**HALAMAN PENGESAHAN TIM PEMBIMBING DAN TIM PENGUJI**

**MONITORING ARUS DAN TEGANGAN PLASMA ARC DISCHARGE DI  
DALAM AIR UNTUK FABRIKASI PARTIKEL NANO**

Disusun oleh  
**LIA ANJARWATI**  
NIM. I0715020

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

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

**Hari Maghfiroh, S.T., M.Eng., M.Sc.**  
**NIP. 199104132018031001**

Telah dipertahankan di hadapan Tim Dosen Penguji pada hari Jum'at tanggal 31  
Juli 2020

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

.....

2. **Hari Maghfiroh, ST, M.Eng, M.Sc.**  
NIP. 199104132018031001

.....

3. **Feri Adriyanto, Ph.D**  
NIP. 196801161999031001

.....

4. **M. Hamka Ibrahim, S.T., M.Eng**  
NIP. 198812292019031011

.....

Ketua Prodi Teknik Elektro

Mengetahui,

Koordinator Tugas Akhir

**Feri Adriyanto, Ph.D.**  
NIP. 196801161999031001

**M. Hamka Ibrahim, S.T., M.Eng**  
NIP. 198812292019031011

**MOTTO**

**IF YOU DIDN'T FIGHT FOR  
WHAT YOU WANT, DONT CRY  
FOR WHAT YOU'VE LOST**

## ABSTRAK

Metode untuk mensintesis nanomaterial semakin luas untuk dipelajari karena memiliki potensi yang sangat besar. Dibandingkan dengan metode lainnya, *arc discharge* menghasilkan karbon nanopartikel dengan kemurnian yang sangat tinggi. Penelitian ini menyajikan pengukuran listrik pada proses *arc discharge* menggunakan dua buah elektroda grafit murni (99% karbon) yang terendam didalam air. *Monitoring* arus dan tegangan diperlukan untuk mengetahui konsumsi daya selama proses *arc discharge*. Perangkat monitoring dibuat menggunakan sensor arus berbasis *Hall*, sedangkan tegangan diukur langsung diantara dua elektroda. Analisis arus dan tegangan diukur dengan memvariasikan arus dari sumber *arc* yaitu, 10A, 20A, 40A, 70A, dan 100 A. Peningkatan arus variasi yang diberikan memengaruhi konsumsi daya pada celah elektroda, dengan nilai masing-masing energi yaitu 92 watt, 76 watt, 148 watt, 453 watt dan 812 watt. Untuk terjadi *arc discharge* membutuhkan celah antara elektroda agar terjadi pelepasan energi. Besar jarak celah elektroda tergantung pada jumlah aliran muatan dari anoda ke katoda. Pada arus *input* 10A, jarak celah elektroda untuk memulai *arc* adalah 0,5mm, pada 20A adalah 0,3mm - 0,5mm, pada 40A adalah 0,15mm - 0,2mm, pada 70A adalah 0,2mm - 0,6mm dan pada 100A adalah 0,1mm - 0,4mm.

Kata kunci: *Monitoring, Arc Discharge, Sensor Hall Effect, Konsumsi Daya*

## ABSTRACT

*The method for synthesizing nanomaterials is increasing to study because it has enormous potential. Compared to other methods, arc discharge produces very high purity carbon nanoparticles. This research presents electrical measurements in the arc discharge process using two pure graphite electrodes (99% carbon) submerged in water. Monitoring the current and voltage required to determine power consumption during the arc discharge process. The monitoring device is made using a Hall-based current sensor, while the voltage is determined directly between the electrodes. Current and voltage analysis is performed by varying the current from the arc source, ie 10A, 20A, 40A, 70A, and 100 A. The increasing input current affects the power consumption during the arc discharge process, with respective values of 92 watts, 76 watts, 148 watts, 453 watts, and 812 watts. An arc can produce if there is a gap between the electrodes for energy release. The width of the electrode gap depends on the amount of charge flow from the anode to the cathode. The electrode gap for respective input current is 0.5mm, 0.3mm - 0.5mm, 0.15mm - 0.2mm, 0.2mm - 0.6mm and 0.1mm - 0.4mm.*

*Keywords: Monitoring, Arc Discharge, Hall Sensor, Power Consumption*



## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji dan syukur kepada Allah SWT atas berkah, rahmat dan limpahan nikmat Nya-lah penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Monitoring Arus Dan Tegangan Plasma *Arc Discharge* Di Dalam Air Untuk Fabrikasi Partikel Nano” dengan baik.

Penulisan skripsi ini dimaksudkan untuk memenuhi persyaratan dalam memperoleh gelar sarjana S1, Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret. Penulis menyadari dalam proses penelitian dan pengerjaan skripsi ini banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak, baik berupa bimbingan, arahan, saran, dorongan, doa, semangat maupun fasilitas. Oleh karena itu, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Miftahl Anwar, S.Si., M.Eng. selaku Pembimbing I yang telah membimbing, memberikan ide, saran, arahan dan motivasi dalam penyelesaian skripsi ini dengan penuh keuletan dan kesabaran.
2. Bapak Hari Maghfiroh, S.T., M.Eng., M.Sc. selaku Pembimbing II dan Pembimbing Akademis yang telah membimbing, memberikan ide, saran, arahan dan motivasi dalam penyelesaian skripsi ini dengan penuh keuletan dan kesabaran.
3. Bapak Feri Adriyanto Ph.D. selaku Kepala Prodi Teknik Elektro Universitas Sebelas Maret Surakarta.
4. Bapak Muhammad Hamka Ibrahim, S.T., M.Eng. selaku Pembimbing Pendamping Tugas Akhir.
5. Seluruh dosen dan karyawan Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik yang sudah membantu baik langsung maupun tak langsung.
6. Keluarga di rumah yang selalu memberikan support kepada saya untuk dapat menyelesaikan tugas akhir saya.
7. Teman-teman Teknik Elektro 2015 yang selalu memberi semangat, selalu kompak, selalu memberi dukungan.
8. Adik-adik tingkat Teknik Elektro yang telah memberikan semangat dan dukungan.
9. Semua pihak yang telah membantu penulis baik langsung maupun tidak langsung yang tidak atau belum disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat kekurangan dan ketidaksempurnaan. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat dibutuhkan oleh penulis untuk melakukan perbaikan kedepan. Penulis juga berharap skripsi ini dapat bermanfaat terutama bagi penulis dan bagi pembaca.

Surakarta, 30 Juli 2020

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Lia Anjarwati', with a large, stylized initial 'L'.

Lia Anjarwati

I0715020

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN SURAT PENUGASAN .....	ii
PERNYATAAN INTEGRITAS PENULIS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN TIM PEMBIMBING DAN TIM PENGUJI .....	iv
MOTTO .....	v
ABSTRAK .....	vi
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR .....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	7
1.3 Tujuan Penelitian.....	8
1.4 Manfaat Penelitian.....	8
1.5 Sistematika Penulisan.....	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	10
2.1 Penelitian Sebelumnya .....	10
2.2 Plasma Arc Discharge .....	14
2.3 Karakteristik Arc Discharge.....	17
2.3.1 Arc Column .....	19
2.3.2 Cathode Drop Zone .....	20
2.3.3 Anode Drop Zone.....	20
2.4 Muatan Listrik .....	21
2.5 Kapasitansi .....	22
2.6 Energi .....	23
2.7 Penyalaan Arc Discharge .....	24
2.8 Elektroda Karbon .....	25
2.9 Jarak Antara Elektroda .....	28
2.10 Proses Arc Discharge .....	30
2.11 Sensor Arus Hall Effect .....	31

2.11.1 Prinsip Kerja Sensor <i>Hall Effect</i> .....	33
2.11.2 Cara Kerja Sensor <i>Hall Effect</i> .....	34
2.11.3 Sensor WCS 1500 .....	35
2.12 Instrustar ISDS205 .....	38
2.13 Arduino UNO R3 .....	39
2.14 <i>Inverter Arc Welding</i> 160A DC KW14-942 .....	42
2.15 Multi Virtual Analyzer .....	44
2.16 Pembagi Tegangan .....	44
2.16.1 Jenis-Jenis Pembagi Tegangan .....	45
2.16.2 Pembagi Tegangan Resistif .....	45
BAB III Metodologi penelitian .....	47
3.1 Sumber Data .....	48
3.2 Alur Penelitian .....	49
3.3 Alat dan Bahan .....	51
3.3.1 Alat .....	51
3.3.2 Bahan .....	52
3.4 Prosedur Penelitian .....	52
BAB IV Hasil Dan Pembahasan .....	56
4.1 Percobaan <i>Arc Discharge</i> Pada 10A .....	56
4.2 Percobaan <i>Arc Discharge</i> Pada 20A .....	57
4.3 Percobaan <i>Arc Discharge</i> Pada 40A .....	58
4.4 Percobaan <i>Arc Discharge</i> Pada 70A .....	59
4.5 Percobaan <i>Arc Discharge</i> Pada 100A .....	60
4.6 Arus Maksimal Rata-rata .....	61
4.7 Jumlah Muatan Pada <i>Peak</i> Pertama .....	62
4.8 Jarak Antara Elektroda .....	64
4.9 Konsumsi Daya Saat <i>Arc Discharge</i> .....	65
4.10 Karakteristik Arus Terhadap Tegangan .....	66
4.11 Energi Ionisasi .....	67
BAB V kesimpulan dan saran .....	69
5.1 Kesimpulan .....	69
5.2 Saran .....	70
Daftar Pustaka .....	71

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Grafik Jumlah Produk Nanoteknologi di Indonesia [4] .....	3
Gambar 1. 2 Struktur Tiga Dimensi Carbon Nanotube [7].....	4
Gambar 1. 3 Skema Diagram Proses Arc Discharge di Dalam Air [12] .....	5
Gambar 2. 1 Skema Perubahan Wujud Zat [19] .....	14
Gambar 2. 2 Klasifikasi Plasma Berdasarkan Karakteristik Arus dan Tegangan [20] .....	15
Gambar 2. 3 Pembentukan Arc di Antara Elektroda Silinder yang Ditempatkan Secara Horizontal [23] .....	17
Gambar 2. 4 Karakteristik Arus-Tegangan Arc Discharge [1] .....	18
Gambar 2. 5 Wilayah Arc Discharge [24] .....	19
Gambar 2. 6 Prinsip kerja kapasitor [25] .....	22
Gambar 2. 7 Struktur Grafit [27].....	26
Gambar 2. 8 Rasio fluks atom yang menguap dengan fluks elektron termionik [28] .....	28
Gambar 2. 9 Model Rangkaian Impedansi pada Celah Elektroda .....	29
Gambar 2. 10 Konstruksi Sensor Hall Effect [34] .....	32
Gambar 2. 11 Efek Hall pada suatu pelat penghantar yang dialiri arus I [36] .....	33
Gambar 2. 12 Prinsip Kerja Hall Effect Sensor [34] .....	34
Gambar 2. 13 Modul Sensor WCS1500 [37] .....	35
Gambar 2. 14 Function Block [38] .....	36
Gambar 2. 15 Konfigurasi Pin Modul Sensor WCS1500 [37] .....	37
Gambar 2. 16 Digital Oscilloscope Instrustar [40] .....	38
Gambar 2. 17 Arduino UNO [41] .....	39
Gambar 2. 18 Tampilan Editor Arduino IDE [42] .....	42
Gambar 2. 19 Gambar Rangkaian pembagi tegangan.....	46
Gambar 3. 1 Skema Rangkaian Arc discharge.....	47
Gambar 3. 2 Flowchart Penelitian.....	50
Gambar 3. 3 Rangkaian Percobaan Plasma Arc Discharge .....	54
Gambar 3. 4 Keadaan saat Tidak Terjadi Plasma Arc Discharge .....	55
Gambar 3. 5 Keadaan saat Terjadi Plasma Arc Discharge .....	55
Gambar 4. 1 Grafik Arus dan Tegangan pada Arus 10A .....	57
Gambar 4. 2 Grafik Arus dan Tegangan pada Arus 20A.....	58
Gambar 4. 3 Grafik Arus dan Tegangan pada Arus 40A .....	59
Gambar 4. 4 Grafik Arus dan Tegangan pada Arus 40A.....	60
Gambar 4. 5 Grafik Arus dan Tegangan pada Arus 100A.....	61

Gambar 4. 6 Grafik Arus Arc Discharge Maksimal Rata-rata.....	62
Gambar 4. 7 Grafik Jumlah Muatan Pada First Peak.....	63
Gambar 4. 8 Grafik Jarak Celah Elektroda .....	64
Gambar 4. 9 Grafik Konsumsi Daya Rata-Rata.....	66
Gambar 4. 10 Karakteristik Arus Terhadap Tegangan .....	66
Gambar 4. 11 Grafik Energi Ionisasi a) 10A b) 20A c) 40A d) 70A e) 100A.....	68

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Jumlah Produk Nanoteknologi Pada Maret 2020 [4].....	2
Tabel 2. 1 Perbedaan dan Persamaan Penelitian.....	12
Tabel 2. 2 Spesifikasi Sensr WCS1500 [38].....	36
Tabel 2. 3 Konfigurasi Pin Modul Sensor Arus WCS1500 .....	37
Tabel 2. 4 Spesifikasi Aduino UNO R3 [41] .....	40
Tabel 2. 5 Konfigurasi Pin Ardino UNO R3 [41].....	40
Tabel 2. 6 Special Pin Arduino R3 [41].....	41

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Nanoteknologi adalah aplikasi teknologi untuk memanipulasi dan mengatur permasalahan pada skala nano (1-100 nm) yang menghasilkan ukuran dan struktur material berdasarkan sifatnya [1]. Istilah nanoteknologi pertama kali diresmikan oleh Norio Taniguchi, seorang ahli fisika dari Tokyo Science University pada tahun 1974 dalam makalahnya yang berjudul “On the basic concept of ‘nano-technology” [2]. Proses nanoteknologi meliputi karakterisasi, fabrikasi dan manipulasi struktur material yang memiliki komponen satu dimensi. Melalui nanoteknologi sifat dari suatu material dapat ditingkatkan untuk memperbaiki daya guna dari produk yang sudah ada atau menciptakan produk baru. Salah satu contoh penerapan nanoteknologi adalah carbon nanotube (CNT) yang sangat ringan dan memiliki kekuatan 100 kali lebih kuat dari baja. Organisasi internasional untuk standarisasi dalam ISO/TS 80004-1 mendefinisikan nanoteknologi sebagai penerapan pengetahuan ilmiah untuk memanipulasi dan mengendalikan material, terutama pada skala nano untuk memanfaatkan sifat dan fenomena yang berbeda bergantung pada ukuran dan struktur dari material yang terkait dengan atom atau molekul individu atau ekstrapolasi dari ukuran yang lebih besar pada material yang sama [3]. Penerapan nanoteknologi menggunakan material berskala nano dapat menghasilkan efek baru yang memiliki sifat sangat berbeda dibandingkan dengan material sejenis pada skala makroskopisnya (bulk).

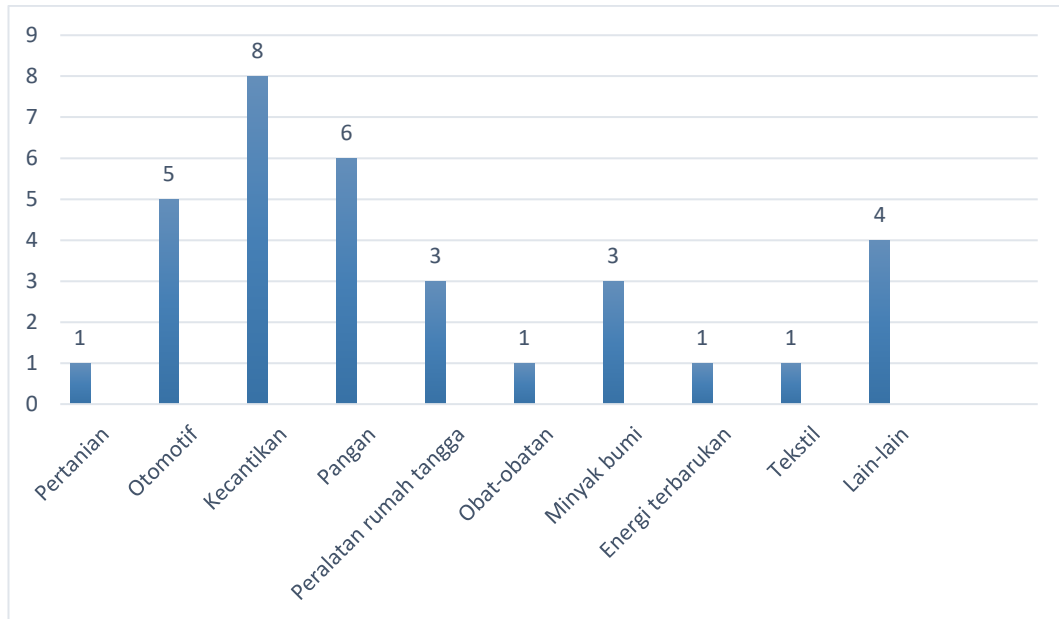
Penerapan nanoteknologi memiliki dampak yang sangat besar pada kehidupan, diantaranya untuk pengobatan tumor menggunakan terapi fotodinamik, meningkatkan antimikroba pada bahan pangan, pembuatan pupuk dan pestisida organik, pembuatan tinta percetakan transistor, elemen pembuatan panel surya (Si, Ag, Al), pembuatan antena dan perangkat lainnya. Data terbaru yang dirilis Nanotechnology Products Database menunjukkan bahwa pada bulan Maret 2020 jumlah produk nano di pasar dunia mencapai 8.964 produk yang dihasilkan oleh 2.406 perusahaan dari 61 negara.



Tabel 1. 1 Jumlah Produk Nanoteknologi Pada Maret 2020 [4]

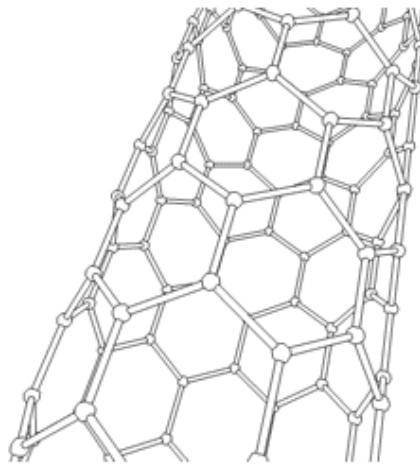
No	Bidang	Jumlah		
		Produk	Perusahaan	Negara
1	Pertanian	226	71	26
2	Otomotif	621	179	35
3	Konstruksi	841	364	40
4	Kosmetik	834	229	29
5	Elektronik	1.925	97	17
6	Lingkungan	539	227	33
7	Pangan	341	133	23
8	Peralatan rumah tangga	319	120	23
9	Obat-obatan	1017	319	38
10	Minyak bumi	284	115	26
11	Kebugaran	141	35	19
12	Tekstil	762	465	41
13	Percetakan	152	65	19
14	Energi terbarukan	467	152	28
15	Lain-lain	495	234	34

Pada tabel 1.1 menunjukkan bahwa perkembangan nanoteknologi cukup pesat dengan implementasi produk paling banyak dalam bidang elektronik dan obat-obatan. Produsen produk nanoteknologi didominasi oleh perusahaan Amerika Serikat dengan perbandingan jumlah produk yang jauh melampaui negara lainnya. Di sisi lain perkembangan nanoteknologi di Indonesia masih berjalan prematur. Di Indonesia, nanoteknologi bisa dikatakan masih dalam tahap pengembangan dan aplikasinya masih belum sebanyak negara-negara maju lainnya. Produk nanoteknologi di Indonesia berdasarkan data *Nanotechnology Products Database* pada Maret 2020 berjumlah 33 produk yang berasal dari 14 perusahaan.



Gambar 1. 1 Grafik Jumlah Produk Nanoteknologi di Indonesia [4]

Penemuan struktur nano karbon memberikan dampak yang sangat besar terhadap kehidupan. Material nano karbon telah mendorong perkembangan ilmu pengetahuan dalam bidang fisika, elektronik, kimia, medis dan lainnya. Sejauh ini telah ditemukan bentuk alotrop karbon yang mencakup karbon nano struktur 0-D yaitu *fullerenes*, karbon nano struktur 1- D yaitu *carbon nanotube*, karbon nano struktur 2-D yaitu *graphene* dan karbon nano struktur 3-D yaitu grafit. Sejak material *buckminsterfullerene* ( $C_{60}$ ) ditemukan pada tahun 1985 oleh H. W. Kroto dan *carbon nanotube* ditemukan oleh Sumio Ijima pada tahun 1991, semakin banyak material nano karbon yang telah ditemukan [5][6]. *Carbon nanotube* (CNT) merupakan satu rantai atom karbon yang berikatan satu sama lain secara heksagonal berbentuk silinder tabung yang memiliki diameter dalam orde nanometer, sedangkan panjang silindernya dapat mencapai ukuran dalam rentang mikrometer hingga sentimeter tergantung pada metode pembuatannya.



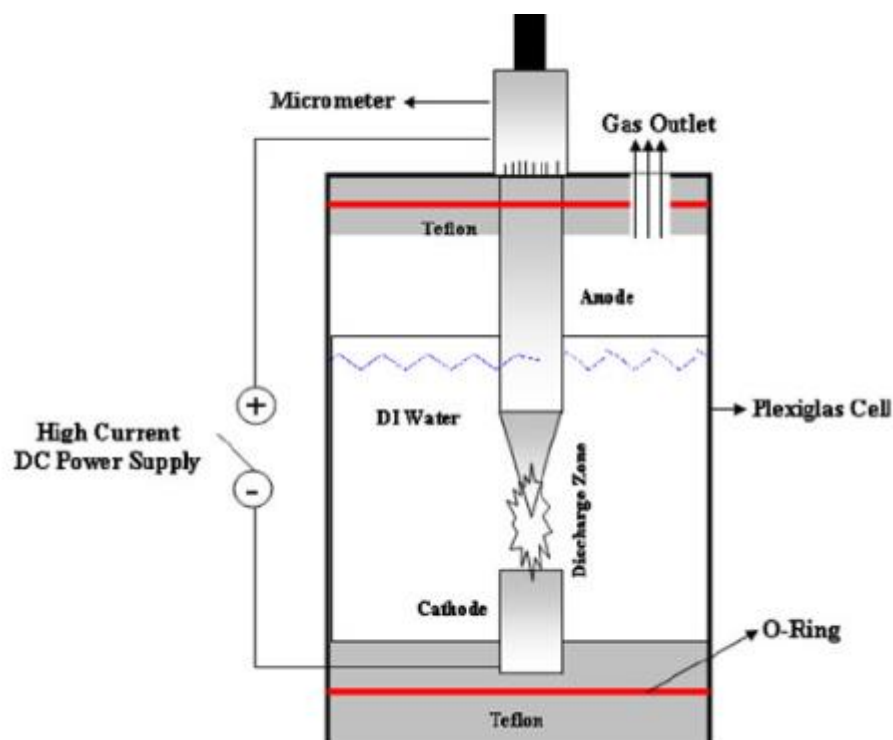
Gambar 1. 2 Struktur Tiga Dimensi *Carbon Nanotube* [7]

Secara umum *carbon nanotube* dapat dikelompokkan berdasarkan jumlah dindingnya, yaitu *multi walled carbon nanotubes* (MWCNTs), *single walled carbon nanotubes* (SWCNTs), *carbon onions* dan *single walled carbon nanohorns* (SWCNHs). Karena memiliki potensi yang cukup besar, metode untuk memproduksi material nano karbon berkembang semakin luas. Saat ini ada tiga metode umum yang digunakan untuk mensintesis *carbon nanotube*, yaitu menggunakan laser (*laser ablation*), menggunakan endapan uap senyawa kimia (*chemical vapor deposition*) dan menggunakan pancaran elektroda (*arc discharge*) [8]. Terdapat berbagai macam proses manufaktur untuk menciptakan rangkaian produk nano material. Proses manufaktur tersebut dapat diklasifikasikan berdasarkan media pengembangannya, yaitu media uap {*vapor/aerosol*}, media cair (*liquid*) dan media padat (*solid*). Metode sintesis partikel nano dengan *Arc discharge* di dalam air memiliki keuntungan karena menghasilkan nanopartikel yang mengkristal dengan sendirinya karena suhu tinggi yang disebabkan oleh pemanasan joule [9]. Dibandingkan dengan teknik lain, *arc discharge* di dalam air tidak membutuhkan peralatan yang rumit dan sederhana dalam proses produksi. *Arc discharge* adalah metode termurah dan paling sederhana yang mampu menghasilkan nanotube dengan cacat topologi yang lebih sedikit.

Upaya untuk menghasilkan *carbon nanotube* menggunakan metode plasma *arc discharge* pertama kali dikembangkan oleh Y. Ando pada tahun 1982. Secara historis, metode sintesis *carbon nanotube* secara listrik merupakan metode

pertama yang menghasilkan produk nano partikel sebanyak ratusan gram per jam. Terdapat dua kondisi yang harus dipenuhi oleh bahan kerja untuk *arc discharge* yaitu, tidak memiliki nilai tahanan listrik yang terlalu tinggi dan memiliki kemampuan untuk memproduksi nanopartikel dari bahan yang akan digunakan sebagai elektroda. Pada saat yang sama, metode ini membutuhkan banyak *input* energi sekitar 1600 kWh/kg.

*Arc discharge* dihasilkan diantara dua buah batang elektroda grafit murni (99,99% karbon) yang terendam di dalam air yang terdeionisasi. Bagian ujung katoda memiliki diameter yang lebih besar dibandingkan diameter pada bagian ujung anoda. Elektroda terhubung ke sumber daya DC eksternal dan ketika kesenjangan antara elektroda cukup, *arc* akan dihasilkan. *Arc* memanaskan dan akhirnya menyublimkan bahan anoda. Suhu di wilayah *arc* cukup tinggi untuk mengionisasi hasil evaporasi, kombinasi atom karbon, katalis dan ion di dalamnya membentuk partikel nano [10][11]. Material karbon nanopartikel yang dihasilkan berupa endapan silinder *solid* yang terapung dan terkumpul di atas permukaan air.



Gambar 1. 3 Skema Diagram Proses *Arc Discharge* di Dalam Air [12]

Proses *arc discharge* terjadi pada celah diantara katoda dan anoda, yang merupakan celah pelepasan energi. Pelepasan energi dari busur listrik terjadi dalam tiga bentuk yaitu, emisi cahaya, gas panas, dan energi mekanis untuk mengikis permukaan elektroda sehingga menghasilkan endapan nanopartikel. Pembentukan nano partikel terjadi karena suhu panas yang sangat tinggi di sekitar elektroda yang menyebabkan penguapan zat pada elektroda dan diikuti dengan proses kondensasi, sehingga terbentuk produk nano partikel. Energi panas pada elektroda ditimbulkan oleh arus listrik dan energi konvektif. Sumber arus tinggi yang dihubungkan pada dua buah elektroda akan membuat udara diantara celah elektroda bersifat konduktor. Hal ini menunjukkan adanya proses ionisasi pada celah elektroda yang mengakibatkan terbentuknya saluran plasma dengan suhu yang sangat tinggi.

Penelitian mengenai arus dan tegangan *arc discharge* dapat digunakan untuk analisis jarak celah antara elektroda, jumlah muatan yang mengalir dari katoda ke anoda dan konsumsi daya yang dibutuhkan selama proses *arc discharge*. Oleh karena itu, pada saat proses *arc discharge* akan dilakukan pengukuran secara *realtime* dan simultan sehingga mempermudah dalam menganalisis data keluaran dan meminimalkan kesalahan dalam pembacaan nilai hasil pengukuran. Pengukuran arus dan tegangan *arc discharge* secara manual menggunakan alat ukur multimeter dapat menyebabkan kerusakan pada perangkat multimeter yang digunakan dikarenakan aliran arus yang terlalu tinggi.

*Monitoring* adalah mekanisme yang sudah menyatu untuk memeriksa sebuah sistem apakah sistem sudah berjalan sesuai rencana dan penyesuaian dapat dilakukan secara metodologis. *Monitoring* merupakan aktivitas yang ditunjukan untuk memberikan informasi yang ditangkap oleh sistem, seperti pada tugas akhir ini *monitoring* akan memberikan informasi tentang nilai arus dan tegangan yang terbaca pada saat proses *arc discharge*. Tujuan *monitoring* pada sistem ini untuk mendapatkan akurasi jumlah arus dan tegangan yang timbul akibat adanya proses *arc discharge*. Pada penelitian ini dirancang sistem *monitoring* arus dan tegangan plasma *arc discharge* berbasis mikrokontroler Arduino UNO. Arus *arc* diukur menggunakan sensor arus *hall effect* WCS1500, sedangkan tegangannya diukur secara langsung pada kedua elektroda secara paralel menggunakan *differential probes* 1:10. Sistem *monitoring* tersebut dihubungkan dengan *digital oscilloscope*

Instrustar. Data hasil pembacaan arus dan tegangan diakusisi dan disimpan ke dalam komputer. Data ini dapat diakses menggunakan perangkat lunak pengolah angka dalam bentuk *file comma separated data* (.csv) dan diolah menggunakan perangkat lunak Origin. Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi arus masukan sebesar 10A, 20A, 40A, 70A dan 100A secara bertahap. Data hasil monitoring dapat dilihat dalam bentuk grafik maupun tabel yang menunjukkan besarnya fluktuasi arus dan tegangan plasma *arc discharge*.

Data arus dan tegangan yang telah didapat kemudian diolah untuk mengetahui jarak antara celah elektroda dan jumlah konsumsi daya dengan menghitung nilai kapasitansi dan jumlah muatan pada saat *arc discharge*. Pada lima kali percobaan menggunakan arus yang berbeda, masing-masing data dibandingkan satu sama lain sehingga dapat diketahui bagaimana pengaruh peningkatan nilai arus *input* terhadap konsumsi daya selama proses *arc discharge* berlangsung.

Penelitian ini diharapkan dapat mendukung pengembangan nanoteknologi khususnya di Indonesia. Dengan mengetahui karakteristik arus dan tegangan pada *arc discharge*, hasilnya dapat digunakan untuk mengontrol proses sintesis partikel nano. Metode *arc discharge* di dalam air merupakan metode fabrikasi partikel nano yang sangat sederhana, sehingga dengan mengontrol proses pembuatan partikel nano diharapkan dapat meningkatkan kuantitas dan kualitas produksi secara ekonomis.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disebutkan di atas, maka perumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana merancang sistem *monitoring* arus dan tegangan plasma *arc discharge* secara *realtime* dan simultan ?
2. Bagaimana karakteristik arus dan tegangan, jumlah muatan, jarak celah elektroda dan konsumsi daya pada *arc discharge* ?
3. Bagaimana pengaruh variasi arus masukan yang berbeda-beda terhadap jumlah konsumsi daya pada *arc discharge* ?
4. Apakah jenis plasma *arc discharge* yang muncul pada saat proses eksperimen ?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilaksanakannya penelitian ini adalah:

1. Merancang sistem *monitoring* arus dan tegangan plasma *arc discharge* berbasis mikrokontroler Arduino UNO.
2. Menganalisis karakteristik arus dan tegangan, jumlah muatan, jarak celah antara elektroda.
3. Membandingkan hasil percobaan dengan memberikan variasi arus masukan 10A, 20A, 40A, 70A dan 100A untuk mengetahui pengaruh peningkatan *input* arus terhadap konsumsi daya saat *arc discharge*.
4. Mengidentifikasi jenis *arc discharge* berdasarkan nilai arus dan tegangan yang didapat.

### 1.4 Manfaat Penelitian

Dengan hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan untuk meningkatkan pemanfaatan penggunaan energi selama proses *arc discharge* dan dapat juga digunakan sebagai pengembangan riset yang akan datang.

1. Tercipta sistem *monitoring* arus dan tegangan pada sistem *arc discharge* di dalam air untuk fabrikasi partikel nano.
2. Mengetahui kinerja pengukuran arus dan tegangan pada sistem *arc discharge* di dalam air.
3. Sebagai bentuk perkembangan dalam penelitian mengenai metode *arc discharge* secara lebih lanjut terutama untuk pembuatan partikel nano.

### 1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan laporan penelitian ini akan dilakukan dalam lima bab yaitu:

#### BAB I            PENDAHULUAN

Bab ini berisi penjelasan mengenai latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, dan sistematika penulisan.

## BAB II        TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi penelitian sebelumnya, pengenalan metode *arc discharge*, teori-teori mengenai efek hall, elektoda, dan air terdeionisasi.

## BAB III        METODELOGI PENELITIAN

Bab ini berisi mengenai bahan dan alat penelitian dan prosedur penelitian beserta penjelasan mengenai metode simulasi yang dilakukan, termasuk didalamnya cara menggunakan alat bantu VirAnalyzer.

## BAB IV        HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi mengenai hasil simulasi dan analisis yang membahas mengenai pengaruh variasi arus yang diberikan terhadap konsumsi daya selama proses *arc discharge*.

## BAB V        KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian dan saran untuk penelitian selanjutnya.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Metode *arc discharge* telah lama digunakan dalam penelitian untuk mengembangkan produk partikel. Proses pembuatan partikel nano menggunakan metode *arc discharge* sangat dipengaruhi oleh karakteristik arus dan tegangan yang digunakan. Pada tahun 2010 M. Keidar, dkk [13] melakukan penelitian tentang mekanisme sintesis karbon menggunakan plasma. Penelitian tersebut berjudul “*Mechanism of Carbon Nanostructure Synthesis in Arc Plasma*”. Dalam penelitian ini dilakukan eksperimen sintesis struktur karbon untuk menghasilkan *single-wall carbon nanotube* (SWNT) menggunakan metode plasma. Proses sintesis dilakukan dengan memvariasikan parameter plasma, yaitu medan listrik dan medan magnetnya. Hasilnya proses sintesis yang dikontrol menggunakan medan listrik dan medan magnet dapat mengubah karakteristik SWNT meliputi panjang, diameter dan molekul dari SWNT yang dihasilkan.

Penelitian sebelumnya tentang karakteristik arus dan tegangan *arc discharge* pernah dilakukan pada tahun 2013 dengan penelitian berjudul “*Volt-Ampere Characteristics of A Nitrogen DC Plasma Arc With Anode Melting*” yang dilakukan oleh Zhao Peng, dkk [14]. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tegangan *arc* meningkat secara non-linier terhadap panjang plasma pada kondisi yang arus konstan. Tegangan yang didapat merupakan perbedaan energi potensial listrik per unit muatan diantara dua titik, yaitu anoda dan katoda. Penelitian ini menggunakan arus sebesar 100A dan 700A dengan variasi celah antara elektroda sebesar 80 mm, 120 mm, 240 mm dan 240 mm sehingga didapatkan nilai tegangan di antara katoda dan anoda.

Satu tahun selanjutnya, pada tahun 2014 Dr. Mohammed. K. Khalaf, dkk melakukan penelitian berjudul “*Discharge Characteristics on the Synthesis of Carbon Nanostructures through Arc-Plasma in Water*” [15], yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh nilai arus dan tegangan pada proses pembuatan partikel nano. Arus dan tegangan untuk menginisiasi *arc discharge* pada saat percobaan dipertahankan pada nilai tegangan 5V-25V dan nilai arus 50A-100A. Hasil

penelitian ini menunjukkan bahwa laju sintesis partikel nano lebih stabil pada saat mencapai nilai arus yang lebih tinggi dari arus yang telah ditetapkan selama proses *arc discharge*.

Penelitian mengenai karakteristik arus dan tegangan pada *arc discharge* juga dapat digunakan untuk mengetahui bagaimana pengaruhnya terhadap energi yang dilepaskan pada saat proses *arc discharge*. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh D. A. Mylnikov, dkk pada tahun 2016 dengan judul penelitian “*Investigation of the Energy Balance in the Spark Discharge Generator for Nanoparticles Synthesis*” [16], hasil penelitian ini menyatakan bahwa energi yang dilepaskan pada saat proses *arc discharge* dapat dikendalikan dengan mengubah beberapa parameter pada rangkaian listrik, yaitu arus dan resistansinya. Pengendalian energi pada saat proses *arc discharge* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap mengoptimalkan desain perangkat untuk sintesis partikel nano, sehingga dapat meningkatkan produksi partikel nano secara massal.

Kemajuan teknologi digital telah meningkatkan kemampuan alat ukur, sehingga penelitian dalam bidang elektro baik tenaga listrik maupun elektronika menjadi lebih baik, efektif, efisien serta dapat meminimalkan kesalahan. Perkembangan teknologi digital telah mendorong sistem alat ukur ke arah perubahan yang lebih baik dari sisi konsumsi daya, harga dan bentuk bahkan kompatibilitasnya. Konsep sistem *monitoring* memungkinkan pengguna untuk mengetahui setiap parameter yang diukur secara *real time* dan otomatis dalam rentang waktu tertentu.

Penelitian mengenai sistem monitoring arus dan tegangan sudah banyak dilakukan. Pada penelitian sebelumnya telah dirancang pada tahun 2016 yang dilakukan oleh Pande Putu Teguh Winata, dkk Fakultas Teknik Elektro Universitas Udayana [17], mengenai “Rancang Bangun Sistem *Monitoring Output* dan Pencatatan Data pada Panel Surya Berbasis Mikrokontroler Arduino”. Tujuan penelitian ini adalah membuat sistem untuk melakukan *monitoring* dan pencatatan data *output* dari panel surya secara otomatis. Penelitian ini menggunakan sensor tegangan, sensor arus *hall effect* dan *data logger shield* untuk menyimpan data hasil *monitoring*. Hasil dari penelitian ini adalah sistem dapat mencatat hasil pengukuran data *output* panel surya setiap 15 menit. Data *output* meliputi data waktu, nilai

tegangan, nilai arus dan data daya yang dihasilkan panel surya dalam bentuk *file* dengan format csv.

Pada tahun 2017 penelitian mengenai *monitoring* arus dan tegangan juga dilakukan oleh Zainul As'adi, dkk dengan judul penelitian "Sistem *Monitoring* Arus dan Tegangan pada Baterai Kendaraan Bermotor (*Accu*) Berbasis Arduino Uno"[18]. Tujuan penelitian ini adalah untuk mencegah kerusakan pada aki kendaraan akibat level tegangan di bawah rata-rata. Hasil perancangan sistem *monitoring* bekerja dengan baik. Nilai arus dan tegangan hasil *monitoring* dibandingkan dengan nilai arus dan tegangan yang diukur menggunakan alat ukur multimeter memiliki kesamaan tidak kurang dari 85%, sedangkan kondisi daya aki dengan durasi pemakaian yang berbeda-beda tidak mengalami perubahan yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa aki dalam keadaan normal dan layak pakai.

Penelitian yang telah dilakukan dalam bidang dalam bidang pembacaan arus dan tegangan listrik pada sebuah penghantar masih dilakukan secara manual, yaitu dengan melihat hasil pengukuran melalui layar pada multimeter. Sebagai pengembangan penelitian yang sudah ada, sistem *monitoring* arus dan tegangan plasma *arc discharge* di dalam air memberikan solusi tambahan dengan menampilkan hasil pengukuran arus dan tegangan berupa data yang dapat diakses dan diolah secara langsung menggunakan perangkat lunak pengolah data. Sistem *monitoring* yang dirancang mampu melakukan pembacaan hasil pengukuran arus dan tegangan secara cepat, efektif dan minimal *error*.

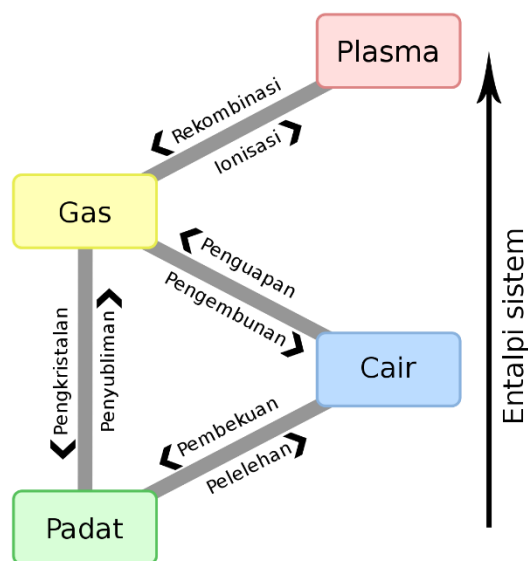
Tabel 2. 1 Perbedaan dan Persamaan Penelitian

No	Nama / Sumber	Judul Penelitian	Perbedaan	Persamaan
1	Zhao Peng, dkk [13]	<i>Volt - Ampere Characteristics of A Nitrogen DC Plasma Arc With Anode Melting</i>	Mengukur tegangan di antara celah elektroda	Menggunakan metode <i>arc discharge</i>

2	Dr. Mohammed. K. Khalaf, dkk [14]	<i>Discharge Characteristics on the Synthesis of Carbon Nanostructures through Arc-Plasma in Water</i>	Mengukur arus <i>arc discharge</i>	Menggunakan metode <i>arc discharge</i>
3	D. A. Mylnikov, dkk [15]	<i>Investigation of the Energy Balance in the Spark Discharge Generator for Nanoparticles Synthesis</i>	Menghitung pelepasan energi pada saat <i>arc discharge</i>	Menggunakan metode <i>arc discharge</i>
4	M. Keidar, dkk [16]	<i>Mechanism of Carbon Nanostructure Synthesis in Arc Plasma</i>	Mengubah karakteristik SWNT dengan memvariasikan medan listrik dan medan magnet	Menggunakan metode plasma <i>arc discharge</i>
5	Pande Putu Teguh Winata, dkk [17]	Rancang Bangun Sistem <i>Monitoring Output</i> dan Pencatatan Data pada Panel Surya Berbasis Mikrokontroler Arduino	<i>Monitoring</i> dan pencatatan data setiap 15 menit	<i>Monitoring</i> arus dan tegangan DC
6	Zainul As'adi, Alex Harijanto, Bambang Supriadi [18]	Sistem <i>Monitoring</i> Arus dan Tegangan pada Baterai Kendaraan Bermotor ( <i>Accu</i> ) Berbasis Arduino Uno	<i>Monitoring</i> dan pencatatan data dilakukan saat aki digunakan	Monitoring arus dan tegangan DC

## 2.2 Plasma Arc Discharge

Plasma adalah keadaan materi fundamental keempat setelah padat, cair dan gas yang merupakan media penghantar listrik terdiri dari ion positif maupun negatif dan memiliki medan listrik yang kuat. Plasma terbentuk dengan menggunakan zat padat yang ditambahkan energi dalam bentuk panas atau tekanan. Padatan akan bertransisi menjadi cair, gas, dan akhirnya menjadi plasma. Transisi dari gas ke plasma diidentifikasi oleh pemisahan atom menjadi elektron dan ion bermuatan positif.

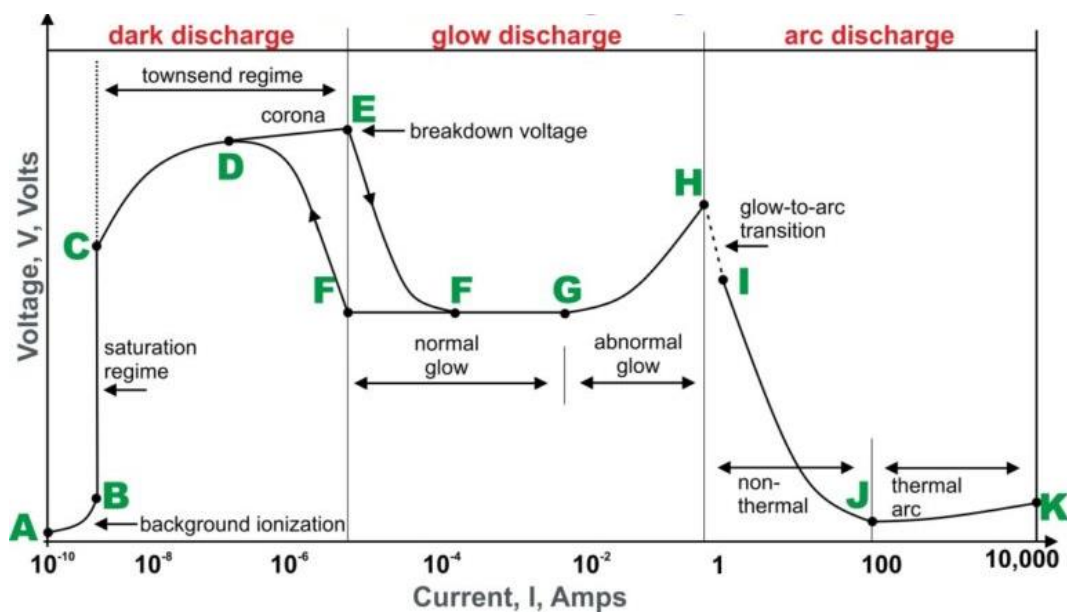


Gambar 2. 1 Skema Perubahan Wujud Zat [19]

Istilah plasma pertama kali diciptakan pada tahun 1928 oleh ilmuwan Amerika Irving Langmuir dan Lewi Tonks dalam eksperimennya yaitu *tungsten fillamen* dan dijelaskan sebagai kondisi dimana terdapat kumpulan elektron, ion dan partikel netral yang bergerak secara acak bereaksi terhadap medan elektromagnetik, kemudian mereka mendefinisikan plasma sebagai gas yang terionisasi.

Plasma merupakan perkembangan teknologi yang sangat penting dan telah diaplikasikan pada berbagai bidang penelitian. Teknologi plasma memiliki beberapa keunggulan dibandingkan metode kimia lainnya yaitu, dapat mengubah permukaan dari suatu material serta memungkinkan untuk pembentukan reaksi kimia yang meliputi pembentukan elektron, ion, partikel bebas dan atom-atom reaktif.

Dalam kondisi normal, gas adalah konduktor listrik yang buruk. Hal ini dikarenakan gas tidak mengandung partikel bermuatan (elektron atau ion) yang diperlukan untuk mengalirkan arus listrik. Namun ketika gas diberikan energi yang cukup, maka atom atau molekul di dalam gas akan berionisasi sehingga menghasilkan elektron dan ion yang memungkinkan terjadinya konduksi. Berbagai jenis pelepasan gas dapat dibedakan berdasarkan karakteristik tegangan-arusnya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Klasifikasi Plasma Berdasarkan Karakteristik Arus dan Tegangan  
[20]

Fase di antara titik A hingga titik E pada plot karakteristik tegangan dan arus pada tahapan *electric discharge* yang disebut dengan *dark discharge*. Hal ini dikarenakan fakta bahwa dalam wilayah *dark discharge* tidak ada panjang gelombang dalam spektrum cahaya tampak selain korona [20]. Apabila dua buah elektroda yang berupa pelat sejajar diletakkan di dalam tabung yang berisi gas dengan tekanan tertentu dan kedua elektroda dihubungkan dengan sumber tegangan tinggi DC, maka akan terjadi lucutan listrik (*electric discharge*) diantara elektrodanya [21]. Elektron dari katoda akan bergerak menuju anoda dan selama perjalanannya elektron-elektron tersebut akan menumbuk molekul dan atom gas diantara kedua elektroda. Untuk terjadinya ionisasi berantai, tahapan pertama yang

harus dilalui adalah terjadinya ionisasi yang menghasilkan elektron. Elektron pertama berasal dari ionisasi gas oleh radiasi sinar kosmis, hal ini ditunjukkan oleh titik A-B. Elektron pertama ini dipercepat oleh beda potensial antara dua elektroda. Dalam perjalanannya elektron ini akan menumbuk dan mengionisasi atom atau molekul gas lain, demikian seterusnya. Proses tumbukan beruntun tersebut akan menghasilkan guguran elektronik dan dapat mengakibatkan terjadinya ionisasi berantai.

Pada tegangan rendah elektron tidak banyak berpengaruh pada atom-atom gas, karena hanya sedikit terjadi ionisasi dan elektron-elektron yang dihasilkan tidak banyak menambah arus yang disebut dengan *saturation current*, hal ini ditunjukkan oleh titik B-C. Dengan menaikkan tegangan maka partikel gas, elektron dan ion yang telah mendapat tambahan energi dan melipat gandakan peristiwa ionisasi, sehingga arus listrik naik terhadap tegangan, daerah ini disebut dengan *Townsend discharge* yang ditunjukkan oleh titik C-F. *Townsend discharge* ditandai dengan tegangan tinggi (kilovolt) dan arus yang sangat rendah (mikro-ampere).

Dengan menaikkan tegangan secara terus-menerus, elektron-elektron yang bergerak menuju anoda memiliki energi yang cukup untuk mengionisasi partikel gas yang ditumbuknya. Proses ionisasi semakin sering dan banyak terjadi, sehingga terjadi pelipatan elektronik. Ion-ion yang dihasilkan akan dipercepat oleh medan listrik dan pada akhirnya akan menumbuk katoda melalui efek fotolistrik, elektron hasil tumbukan itu disebut elektron sekunder. Penyebab munculnya elektron berbeda dari elektron hasil ionisasi yang disebut elektron primer.

Pada suatu nilai tegangan tertentu akan terlihat adanya pancaran (emisi) cahaya pada katoda. Pancaran yang terjadi pada katoda akibat rekombinasi antara ion gas dan elektron sekunder dan akibat panas *bramstrahlung* ion pada katoda. Dalam gas terjadi perubahan yang menyebabkan gas berangsur-angsur menjadi penghantar, keadaan ini disebut *breakdown* yang ditunjukkan oleh titik E. Setelah keadaan *breakdown* pijaran katoda yang disebabkan oleh tumbukan-tumbukan ion dan emisi elektron sekunder akan menimbulkan kenaikan arus, kondisi ini disebut *normal discharge* yang ditunjukkan oleh titik F-G. Pada keadaan ini proses ionisasi akan terjadi secara berantai dan tidak lagi memerlukan penambahan energi tegangan dari

luar untuk terjadinya ionisasi. Setelah permukaan katoda seluruhnya berpijar, tegangan dan arus listrik akan naik secara simultan dan keadaan ini disebut *abnormal discharge* yang ditunjukkan oleh titik G-H. Fase *glow discharge* yang ditandai oleh tegangan yang lebih rendah dari (ratusan volt) dan arus yang lebih tinggi (mili-ampere). Apabila tegangan terus dinaikkan maka katoda akan menjadi semakin panas yang disebabkan oleh tumbukan ion berenergi tinggi dan proses ini menjadi dominan untuk memproduksi elektron. Dalam hal ini tegangan menjadi turun dan arus listrik meningkat, kondisi ini disebut dengan *arc discharge* yang ditunjukkan oleh titik I-K. *Arc discharge* tidak memerlukan penambahan tegangan untuk mendukung *discharge*, karena pada katoda akan terpecah elektron-elektron sekunder terus menerus yang disebabkan proses termionik. *Arc discharge* ditandai dengan tegangan yang rendah (10-50V) namun memiliki arus yang tinggi (1-100A) [22].

### 2.3 Karakteristik *Arc Discharge*

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, *arc discharge* ditandai dengan tegangan yang relatif rendah dan arus yang relatif tinggi. Arus yang tinggi akan memanaskan elektroda yang ditempatkan secara horizontal satu sama lain. Akibat panas yang sangat tinggi, terjadi penguapan pada elektroda yang digunakan sehingga menghasilkan gas panas. Karena memiliki kepadatan yang lebih rendah, gas panas akan cenderung naik yang hasilnya membentuk seperti busur (*arc*). Busur tersebut merupakan sebuah jembatan konduksi sehingga arus dapat mengalir melewati celah diantara elektroda yang terbuka.

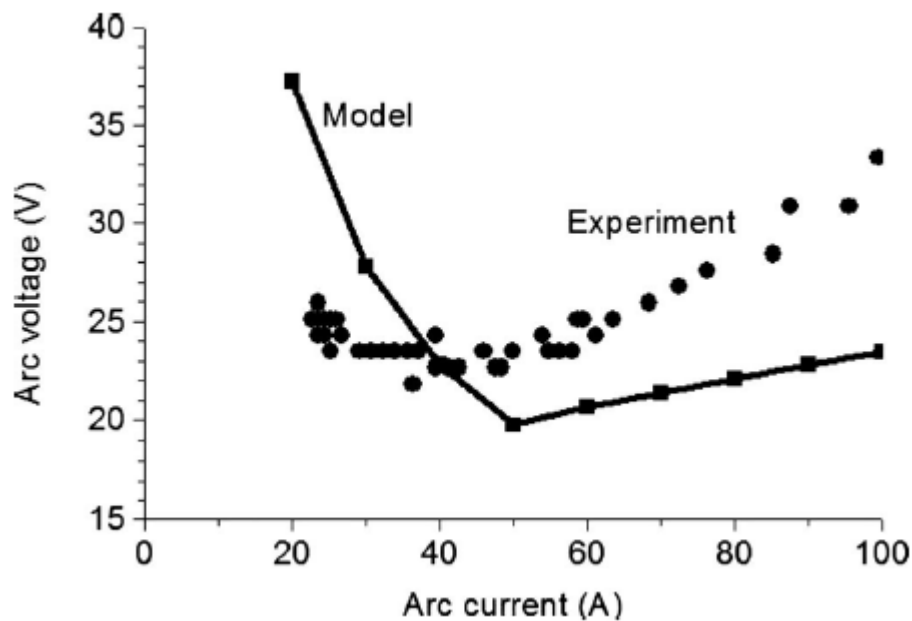


Gambar 2. 3 Pembentukan Arc di Antara Elektroda Silinder yang Ditempatkan Secara Horizontal [23]

Karakteristik tegangan dan arus *arc discharge* ditunjukkan pada Gambar 2.3 yang menunjukkan bahwa pada awal penyalaan *arc discharge* tegangan turun

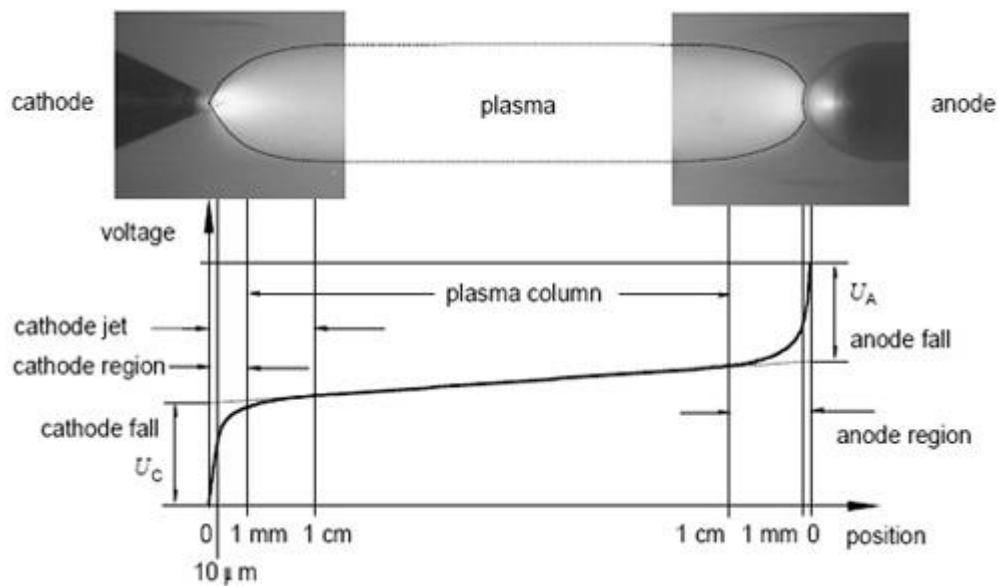


secara signifikan dan mulai naik sedikit ketika arus semakin meningkat. Dengan demikian *arc discharge* tidak mengikuti hukum Ohm dan mewakili elemen non-linear dari rangkaian listrik. Secara umum arus busur yang lebih tinggi menghasilkan penurunan tegangan busur yang lebih rendah karena karakteristik hambatan diferensial negatif yang statis.



Gambar 2. 4 Karakteristik Arus-Tegangan Arc Discharge [1]

Secara umum *arc discharge* terdiri dari mekanisme untuk memancarkan elektron dari katoda melewati gas panas yang terionisasi menuju anoda. *Arc discharge* biasanya dibagi menjadi tiga wilayah yang terpisah dan masing-masing memiliki karakteristik tersendiri yaitu, zona penurunan katoda (*cathode drop zone*), kolom busur (*arc column*) dan zona penurunan anoda (*anode drop zone*). Ketika *arc* dimulai, tegangan di antara elektroda tidak terdistribusi secara sama yang mengakibatkan terjadi penurunan tegangan pada wilayah yang berdekatan dengan kedua elektroda. Penurunan tegangan pada *cathode drop zone* dan *anode drop zone* cukup curam sedangkan penurunan tegangan pada *arc column* lebih bertahap, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5.



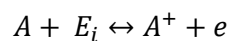
Gambar 2. 5 Wilayah Arc Discharge [24]

Tegangan jatuh di dalam kolom *arc* bervariasi dan meningkat hampir secara linier terhadap panjang kolom *arc*. Tegangan busur (V) adalah jumlah dari penurunan katoda ( $V_c$ ), penurunan kolom ( $V_p$ ) dan penurunan anoda ( $V_a$ ).

$$V = V_c + V_p + V_a \quad (2.1)$$

### 2.3.1 Arc Column

*Arc column* adalah bagian yang terlihat terang selama proses *arc discharge* dan memiliki suhu yang sangat tinggi dengan gradien tegangan yang rendah. Pada *arc column* terjadi proses ionisasi gas yang menyebabkan daerah ini terdiri dari partikel netral (atom dan molekul) maupun partikel bermuatan listrik (elektron dan ion). Ionisasi adalah proses di mana satu atau lebih elektron dikeluarkan dari atom, menghasilkan ion positif ( $A^+$ ) dan elektron ( $e$ ).



Pada suhu yang sangat tinggi, semua molekul gas di dalam *arc column* dipecah menjadi bentuk atom dan atom-atom itu sendiri selanjutnya terdisosiasi menjadi elektron dan ion. Karena ion memiliki sekitar seribu kali lebih berat dari sebuah elektron, maka pergerakan elektron jauh lebih gesit karenanya membawa sebagian

besar arus untuk melintasi *arc column* sehingga memiliki sifat konduktivitas yang sangat baik.

Kontinuitas arus listrik dalam kolom busur terdiri dari arus elektron dan ion. Sehingga arus arc total dianggap sebagai jumlah arus elektron (dari katoda ke anoda) dan arus ion (dari anoda ke katoda).

$$I_{arc} = I_{ion} + I_e \quad (2.2)$$

### 2.3.2 Cathode Drop Zone

*Cathode zone drop* adalah daerah yang berbatasan langsung dengan katoda dimana terjadi penurunan tegangan yang sangat tajam. Penurunan tegangan pada daerah ini berada antara 10V-20V. Pada katoda terdapat *cathode spot* yang merupakan tempat dari elektron dipancarkan atau emisi elektron. Emisi elektron dari katoda karbon diyakini bersifat termionik yaitu, pelepasan elektron dari elektroda yang dipanaskan. Ketika suhu elektroda dinaikkan, energi kinetik dari elektron bebas meningkat ke titik dimana elektron terlepas dari permukaan katoda dan terjadi gaya tarik-menarik dengan ion positif yang berada di katoda. Elektron yang dipancarkan akan bergerak menuju anoda di bawah pengaruh medan listrik. Elektron dapat dipancarkan dari katoda dengan memanaskan katoda ke suhu yang cukup tinggi. Di sekitar katoda, arus seluruhnya dibawa oleh elektron sedangkan di kolom busur arus mendapat kontribusi dari ion positif.

### 2.3.3 Anode Drop Zone

Nilai penurunan tegangan pada anode drop zone terletak antara 1V hingga 10V. Ukuran dari cathode drop zone dan anode drop zone adalah 102 mm yang hampir sama dengan mean free path electron. Pada arus busur rendah (<40 A), kontraksi busur dapat terjadi di depan anoda yang menghasilkan anode spot yang dapat menyebabkan perilaku busur yang tidak stabil. Sementara arus dalam kolom busur sebagian besar terdiri dari elektron dan sebagian kecil terdiri dari ion positif, maka arus yang sampai di anoda adalah arus elektron murni karena anoda tidak dapat menghasilkan ion positif. Untuk mengatasi hal ini, ionisasi diskontinuitas arus terjadi di anode drop zone. Ion yang dihasilkan bergerak ke kolom busur, sedangkan elektron yang dihasilkan bergerak ke anoda. Saat mencapai anoda, elektron

kehilangan panas kondensasi. Dalam arc discharge DC dengan elektroda karbon, panas anoda lebih besar daripada panas yang dilepaskan pada katoda.

## 2.4 Muatan Listrik

Berpindahnya elektron (muatan negatif) ke pelat positif dan proton (muatan positif) ke pelat negatif seperti yang terlihat pada gambar merupakan suatu peristiwa perpindahan muatan listrik, tempat berlangsungnya peristiwa tersebut dinyatakan sebagai medan elektrostatis (*electrostatic field*).

Muatan-muatan listrik yang berpindah pada medan elektrostatis (*electrostatic*) akan menyebabkan timbulnya beda potensial antara pelat positif dan pelat negatif. Muatan-muatan listrik yang berpindah tersebut dinyatakan sebagai  $Q$  dan memiliki satuan coulomb, sedangkan beda potensial antara kedua plat tersebut dinyatakan sebagai  $V$  dan memiliki satuan volt. Hubungan antara kapasitansi ( $C$ ), muatan listrik ( $Q$ ) dan tegangan ( $V$ ) dapat dinyatakan secara matematis sebagai :

$$C = \frac{q}{V} \quad (2.3)$$

Dimana

$C$	= Kapasitansi (F)
$Q$	= Muatan dalam Kapasitor (C)
$V$	= Beda Potensial (V)

Sedangkan rumus umum muatan listrik adalah sebagai berikut :

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad (2.4)$$

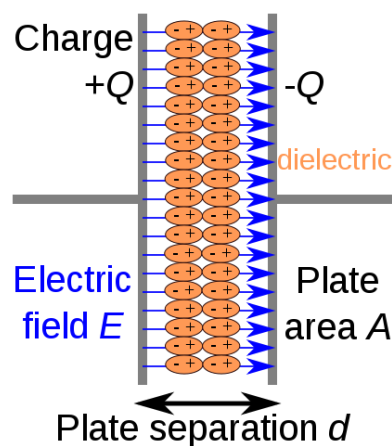
Dimana:

$I$	= Kuat Arus Listrik (A)
$Q$	= Banyaknya Muatan Listrik (C)
$t$	= Waktu (s)

## 2.5 Kapasitansi

Kemampuan kapasitor untuk memperoleh dan menyimpan muatan listrik disebut kapasitas kapasitor atau kapasitansi. Satuan kapasitansi adalah farad (F). Pada kenyataannya, kapasitansi bernilai 1F terlalu besar bagi kapasitor-kapasitor pada umumnya sehingga digunakan beberapa faktor pengali dengan nilai yang kecil seperti millifarad (mF), mikro farad ( $\mu\text{F}$ ), nano farad (nF), dan piko farad (pF). Kapasitansi didefinisikan sebagai kemampuan dari suatu kapasitor untuk dapat menampung muatan elektron. Coulombs pada abad 18 menghitung bahwa 1 coulomb =  $6.25 \times 10^{18}$  elektron. Kemudian Michael Faraday membuat postulat bahwa sebuah kapasitor akan memiliki kapasitansi sebesar 1 farad jika dengan tegangan 1 volt dapat dapat memuat muatan elektron sebanyak 1 coulombs.

Dua keping konduktor diletakkan diantar dielektrik yang serba sama, maka medan eksternal yang diberikan kepada kedua konduktor tersebut akan menyebabkan satu konduktor bermuatan positif dan satunya lagi bermuatan negatif.



Gambar 2. 6 Prinsip kerja kapasitor [25]

Muatan akan tersebar pada permukaan dan memiliki nilai kerapatan muatan permukaan ( $+q$  dan  $-q$ ). Medan listrik ( $E$ ) yang diberikan akan tegak lurus terhadap permukaan konduktor tersebut. Untuk memindahkan muatan positif terhadap muatan negatif memiliki nilai kerja atau beda potensial ( $V_0$ ). Pada aplikasinya kapasitansi didefinisikan sebagai perbandingan tetap antara muatan yang tersimpan

dalam kapasitor  $Q$  dan beda potensial antara kedua pelat konduktornya  $V$ . Secara matematis persamaannya dapat dinyatakan dengan

$$C = \frac{q}{V} \quad (2.5)$$

Dimana  $C$  = Kapasitansi (F)

$Q$  = Muatan dalam Kapasitor (Coulomb)

$V$  = Beda Potensial (V)

## 2.6 Energi

Daya listrik adalah energi yang dibawa oleh elektron yang bergerak setiap satuan waktu. Karena ada arus yang mengalir maka akan ada konversi energi listrik menjadi energi bentuk lain. Pada plasma dalam kondisi stasioner, energi listrik yang dihasilkan per satuan waktu ( $U_{el}$ ) sama dengan energi yang berubah menjadi energi konduksi ( $U_{cond}$ ), energi radiasi ( $U_{rad}$ ) dan energi konveksi ( $U_{conv}$ ).

$$U_{el} = U_{cond} + U_{rad} + U_{conv} \quad (2.6)$$

Energi pada *arc discharge* dapat ditentukan dengan menggunakan rumus untuk menghitung daya listrik. Energi ini merupakan energi yang digunakan untuk mengikis bagian anoda. Energi yang dihasilkan oleh *arc discharge* per satuan waktu adalah sebagai berikut :

$$P = V \times (I_e + I_i) \quad (2.7)$$

Dimana  $P$  = Daya / energi listrik (Watt)

$V$  = Tegangan *arc* (V)

$I_e I_i$  = Arus *arc* yang dialirkan melalui elektron dan ion (A)

Pada plasma *arc discharge* energi yang dihasilkan melalui proses ionisasi nilainya tidak konstan karena pada saat proses ionisasi keadaan muatannya tidak stabil. Energi ionisasi merupakan energi yang dibutuhkan agar terjadi proses ionisasi yaitu keadaan pada saat elektron terlepas dari atomnya sehingga

menghasilkan ion positif dan negatif. Energi ionisasi yang dihasilkan pada plasma arc discharge adalah sebagai berikut:

$$W = \Delta P \cdot \Delta t \quad (2.8)$$

## 2.7 Penyalaan Arc Discharge

Terdapat berbagai metode untuk menyalakan busur. Langkah penting dalam semua metode ini adalah untuk menciptakan kondisi, yang memungkinkan katoda memancarkan elektron. Tiga metode penting untuk penyalaan *arc discharge* yaitu, *electric breakdown*, pemanasan langsung pada katoda dan menggunakan frekuensi tinggi. Pada *electrical breakdown* sepasang elektroda ditempatkan pada jarak sejauh  $d$  dari satu sama lain dalam gas pada tekanan  $p$ , dengan tegangan antara elektroda sebesar  $V$ . Elektron yang ada di antara elektroda akan bergerak menuju anoda karena pengaruh medan listrik sebesar

$$E = \frac{V}{d} \quad (2.9)$$

Saat bergerak, elektron bertabrakan dengan atom gas netral dan molekul. Di antara dua tumbukan yang beruntun, elektron akan menyerap energi rata-rata  $eEl$ , dimana  $e$  adalah muatan listrik dari elektron dan  $l$  adalah panjang jalur bebas elektron. Jika energi ini sama atau lebih besar dari energi ionisasi  $E_i$ , elektron dapat mengionisasi atom gas, menghasilkan elektron ekstra dan ion positif. Proses ini berlangsung sebagai reaksi berantai dan menyebabkan longsoran elektron dan ion. Ion-ion ini bergerak menuju katoda dan melepaskan elektron sekunder dari katoda yang pada gilirannya dapat memulai longsoran baru.

Cara lain untuk menyalakan busur adalah dengan melakukan pemanasan lokal. Dalam hal ini, elektron yang diperlukan untuk tahap awal arc discharge dihasilkan oleh emisi termionik dari katoda. Elektron yang dipancarkan akan dipercepat di bawah pengaruh medan listrik dan menghasilkan ionisasi molekul dan atom netral sehingga menciptakan busur yang stabil. Cara praktik untuk melakukan pemanasan lokal pada katoda dengan membawa katoda bersentuhan dengan anoda selama periode yang singkat. Setelah kontak elektroda terputus akan menghasilkan katoda dan anoda dengan suhu yang sangat tinggi.

Metode menggunakan tegangan berfrekuensi tinggi (beberapa MHz, beberapa kV) pada tegangan busur akan menyebabkan elektron yang ada di antara elektroda bersilasi tanpa mencapai katoda yang diakibatkan oleh adanya medan frekuensi tinggi. Hal ini akan menghasilkan elektron dan ion positif dalam jumlah besar. Di bawah pengaruh medan listrik, elektron akan bergerak ke anoda sedangkan ion positif bergerak ke katoda. Karena dampak ion positif, katoda akan dipanaskan sehingga menghasilkan emisi termionik dan membentuk busur yang stasioner.

## 2.8 Elektroda Karbon

Karbon memiliki kemampuan yang unik untuk membentuk berbagai struktur. Struktur nano karbon seperti *carbon nano tube* dan *graphene* terus menjadi daya tarik karena memiliki potensi yang besar dan dapat diaplikasikan dalam banyak bidang. Karbon atau zat arang merupakan unsur kimia yang memiliki simbol C dengan nomor atom 6 pada tabel periodik. Karbon memiliki empat elektron valensi yang dapat digunakan untuk membentuk ikatan kovalen. Istilah karbon berasal dari Bahasa latin *carbo*, yang berarti batu bara.

Karbon memiliki beberapa jenis alotrop, salah satu alotrop yang paling terkenal adalah grafit. Sifat-sifat fisika karbon bervariasi tergantung pada jenis alotroponya, sebagai contoh grafit memiliki struktur yang cukup lunak namun memiliki konduktivitas listrik yang sangat baik. Karbon dapat membentuk lebih banyak senyawa daripada unsur-unsur lainnya, dengan hampir 10 juta senyawa organik murni yang telah dideskripsikan sampai sekarang.

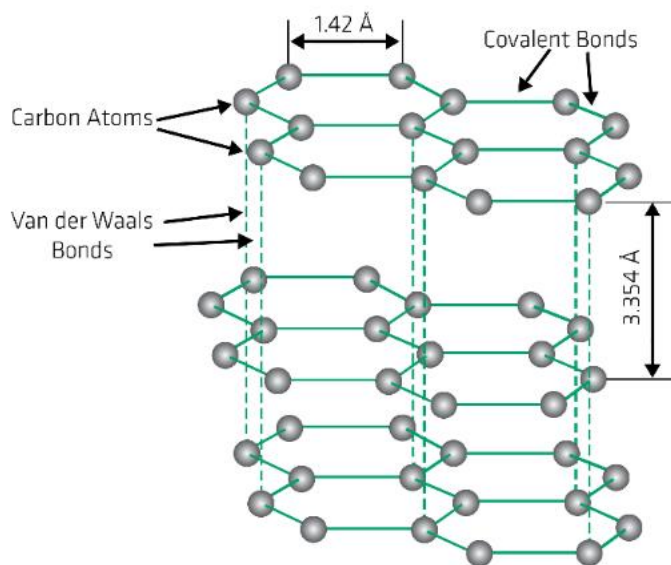
Faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan ketika memilih bahan elektroda adalah stabilitas fisik dan kimiawi yang meliputi ketahanan terhadap korosi, pembentukan oksida dan hidrida tertentu, laju dan selektivitas produk yang akan terbentuk, konduktivitas listrik, ketahanan dan harga, serta kesesuaian dengan desain sel atau sistem.

Pada penelitian ini digunakan dua buah batang elektroda grafit dengan kemurnian yang sangat tinggi sebagai bahan untuk membuat partikel nano. Penggunaan elektroda karbon dapat dilakukan karena sifat fisik grafit yang khusus yaitu, memiliki konduktivitas listrik yang tinggi yang diperlukan untuk menghasilkan *arc discharge* tetapi disisi lain konduktivitas panasnya yang buruk



dapat membatasi daerah yang dipanaskan plasma dari anoda ke volume kecil di ujungnya [26]. Keuntungan menggunakan elektroda grafit lainnya adalah harganya relatif murah dibandingkan elektroda logam karena pemurnian grafit untuk elektroda lebih sederhana bila dibandingkan dengan pemurnian logam untuk dijadikan elektroda.

Dalam struktur grafit setiap atom karbon membentuk ikatan kovalen dengan tiga atom karbon lainnya membentuk susunan heksagonal dengan struktur berlapis seperti tumpukan kartu. Atom karbon dalam bentuk grafit lebih reaktif dibandingkan dengan atom karbon dalam bentuk senyawa, hal ini disebabkan reaktan dari grafit dapat menembasi diantara lapisan heksagonal. Sifat daya hantar listrik yang dimiliki oleh grafit dipengaruhi oleh elektron-elektron yang tidak digunakan untuk membentuk ikatan kovalen. Elektron-elektron ini tersebar merata pada setiap atom C karena terjadi tumpang tindih orbital. Oleh karena itu ketika diberi beda potensial, elektron-elektron yang terdelokalisasi sebagian besar akan mengalir menuju anoda (kutub positif) aliran inilah yang menyebabkan arus listrik dapat mengalir.



Gambar 2. 7 Struktur Grafit [27]

Grafit memiliki struktur berupa jaringan dimana kristal C<sub>60</sub> sebagai molekul padat dimana setiap molekulnya terikat dengan ikatan van der Waals. Pada grafit, *anisotropic* terjadi terhadap nilai Modulus Youngnya dimana komponen yang tegak

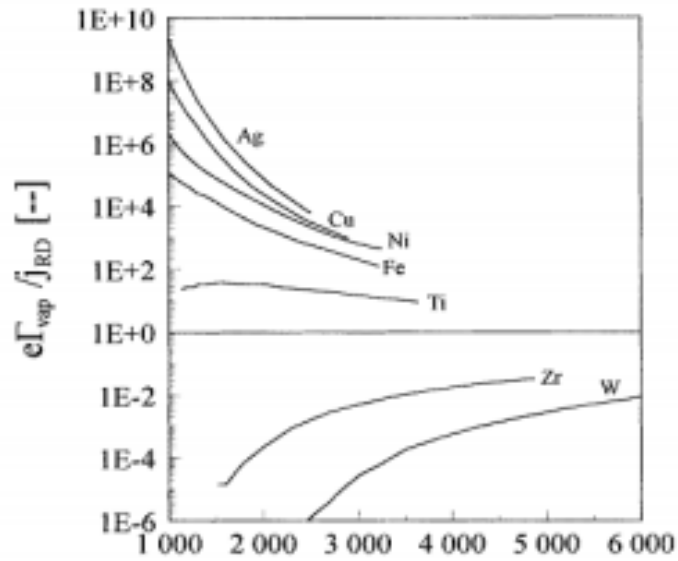
lurus dengan bidang dasar akan memiliki nilai lebih rendah dibandingkan yang paralel dengan bidang dasar. Hal ini juga menyebabkan adanya sifat anisotropik pada konduktivitas termal. Hal tersebut dikarenakan ikatan bidang yang saling paralel hanya terhubung dengan gaya ikatan van der Waals yang relatif lemah. Karakteristik termodinamik dari grafit pada tekanan rendah lebih stabil dibandingkan intan.

Sifat dan kegunaan grafit adalah sebagai berikut :

1. Memiliki titik leleh tinggi, hal ini disebabkan ikatan kovalen yang terbentuk sangat kuat sehingga diperlukan energi yang besar untuk memutuskan.
2. Memiliki sifat lunak, terasa licin dan digunakan pada pensil setelah dicampur tanah liat
3. Tidak larut dalam air dan pelarut organik, karena tidak mampu melarutkan molekul grafit yang besar
4. Grafit memiliki massa jenis yang lebih kecil, karena pada strukturnya terdapat ruang-ruang kosong antar lipatnya.

Ada dua tipe elektroda

1. Sebuah elektroda refraktori, juga disebut elektroda panas memiliki kemampuan untuk mempertahankan emisi termionik yang kuat yang merupakan emisi elektron ketika bahan dipanaskan, tanpa leleh atau penguapan yang kuat (contoh tungsten). Pelepasan katoda panas adalah pelepasan di mana emisi termionik adalah yang utama.
2. Elektroda non-tahan api, juga disebut katoda dingin dan sangat sedikit emisi termionik dalam elektroda dingin ketika dipanaskan. Ketika mereka dipanaskan pada suhu yang menyebabkan ionisasi termionik, mereka mulai menguap (contoh tembaga dan perak). Pelepasan katoda dingin adalah pelepasan yang dibantu oleh ionisasi sekunder. Emisi termionik dalam katoda dingin bukan nol tetapi terbatas. Ini ditunjukkan pada gambar di bawah ini



Gambar 2. 8 Rasio fluks atom yang menguap dengan fluks elektron termionik [28]

Dari tersebut kita dapat melihat bahwa ketika suhu meningkat, rasio atom yang menguap dengan elektron termionik dari elektroda dingin berkurang, sementara itu meningkat untuk elektroda panas. Elektroda non-refraktori menunjukkan pemulihan dielektrik sangat cepat (dalam mikro detik) pada nol saat ini, tetapi hanya ke tingkat beberapa ratus volt. Pemulihan kekuatan listrik disebabkan oleh permukaan elektroda yang relatif dingin, mendinginkan lapisan plasma yang sangat tipis yang bersebelahan dengannya, suhu ribuan derajat, di mana plasma merupakan konduktor yang baik, hingga beberapa ribu derajat dimana ia membentuk lapisan isolasi.

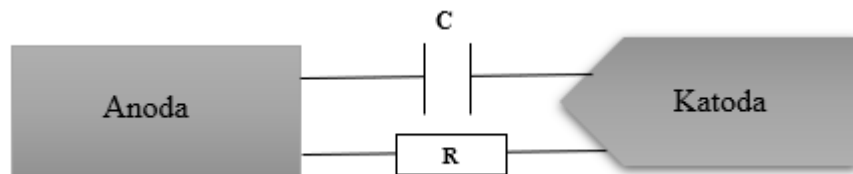
## 2.9 Jarak Antara Elektroda

Jarak celah yang tepat diperlukan untuk menghasilkan *arc discharge* di antara elektroda. Dalam kondisi *arc discharge* yang ideal, hubungan antara tegangan *arc discharge* terhadap panjang *arc column* dapat dinyatakan dengan persamaan berikut

$$U_{arc} = V_A + V_C + \int_0^d E(z) dz \quad (2.10)$$

Di mana  $U_{arc}$  = tegangan *arc discharge* (V)  
 $V_A$  = *anode drop zone* (V)  
 $V_C$  = *cathode drop zone* (V)  
 $d$  = panjang busur (m)  
 $E$  = medan listrik di *arc column* ( $V\ m^{-1}$ )

Jarak antara katoda dan anoda cukup kecil hanya beberapa *electron free path*, sehingga panjang wilayah plasma hampir sama dengan celah antara elektroda karena permukaan antara elektroda yang sejajar. Hal ini menyebabkan media isolasi fluida diantara elektroda terisi sehingga terdapat kapasitansi pelat antara elektroda. Ketika isolasi fluida pada celah elektroda rusak, plasma terhambat selama pergerakan yang sangat cepat antara elektroda, sehingga ada resistansi antara elektroda dan arus di seluruh rangkaian *arc discharge* meningkat secara instan. Menurut hukum induksi elektromagnetik, ada sedikit induktansi di antara elektroda, namun induktansi pada celah elektroda setara dengan kawat yang dapat dianggap tidak ada. Arus pada kapasitor ditentukan oleh tingkat perubahan tegangan antara elektroda, kapasitor menjembatani antara dua elektroda. Dengan demikian celah elektroda dapat setara dengan model rangkaian impedansi pada Gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Model Rangkaian Impedansi pada Celah Elektroda

Menurut model impedansi interelektroda yang ditunjukkan pada Gambar 2.9, impedansi interelektroda  $z$  dari *arc discharge* dapat di representasikan sebagai

$$(\omega) = \frac{R}{1 + (R\omega C)^2} - j \frac{R^2 \omega C}{1 + (R\omega C)^2} \quad (2.11)$$

$C$  adalah kapasitansi setara antar elektroda. Sebelum *breakdown* dielektrik fluida, permukaan ujung elektroda dan dielektrik fluida di bagian tengah yang merupakan pelat kapasitor, persamaan kapasitansi kapasitor adalah sebagai berikut

$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d} \quad (2.12)$$

Pada persamaan tersebut,  $\epsilon$  adalah konstanta dielektrik fluida, fluida yang digunakan dalam *arc discharge* adalah air.  $\epsilon_0$  adalah konstanta dielektrik dalam ruang vakum,  $S$  adalah area elektroda, dan  $d$  adalah jarak celah elektroda.

Dengan parameter di atas maka dapat menentukan nilai jarak celah antara elektroda dengan persamaan berikut

$$d = \epsilon_0 \epsilon_{air} \frac{S}{C} \quad (2.13)$$

## 2.10 Proses *Arc Discharge*

*Arc discharge* merupakan metode pertama yang tersedia untuk membuat struktur *carbon nanotube* [12]. Fenomena *arc discharge* pertama kali diamati oleh Sir Humphry Davy (1810) menggunakan baterai elemen galvanik di antara dua elektroda karbon. *Arc discharge* sebenarnya adalah salah satu jenis gangguan listrik dari gas yang menghasilkan pelepasan plasma dan bentuknya sangat mirip dengan percikan. Hal yang membedakan antara busur listrik (*arc*) dan percikan (*spark*) yaitu, *arc* merupakan pelepasan listrik yang berlangsung kontinu sedangkan *spark* merupakan jenis pelepasan yang hanya bersifat sesaat dengan durasi maksimumnya sekitar  $10^{-2}$ s.

Metode untuk menghasilkan plasma *arc discharge* adalah melalui penguapan dari dua batang elektroda karbon. Kedua ujung elektroda dipisahkan dengan jarak beberapa milimeter di dalam wadah yang berisi air suling (*deionized water*). Kemudian arus listrik sebesar 10-70A dan tegangan 50V diberikan untuk menciptakan perubahan suhu yang sangat tinggi di antara ujung elektroda, sehingga akan terjadi penguapan di ujung batang elektroda tersebut. Dua buah batang elektroda yang dihubungkan dengan *inverter* DC didekatkan sehingga terjadi pelepasan listrik dengan kerapatan arus yang sangat tinggi di antara kedua elektrodanya. Aliran arus ini menunjukkan adanya ionisasi yang mengakibatkan terbentuknya ion dan elektron di antara kedua elektroda tersebut. Karena pengaruh

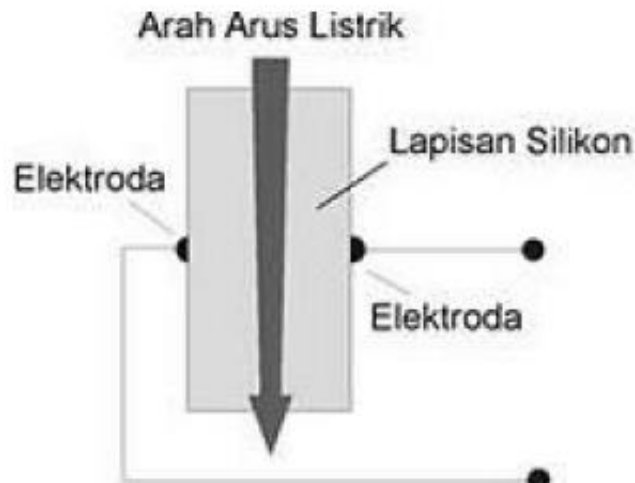
tegangan yang tinggi antara elektroda (anoda dan katoda) maka akan terjadi eksitasi gas pengisi. Ion-ion akan memiliki energi kinetik yang tinggi sehingga sebagian dari ion negatif akan menuju katoda dengan energi kinetik yang besar. Hal ini menyebabkan atom-atom pada permukaan katoda terlepas [29].

### 2.11 Sensor Arus *Hall Effect*

Pada dasarnya ada dua tipe sensor *hall effect*, yaitu tipe linear dan tipe *on-off*. Tipe Linear digunakan untuk mengukur medan magnet secara linear, mengukur arus DC dan AC pada konduktor. Sedangkan tipe *on-off* digunakan sebagai limit switch dan sensor keberadaan [30][31]. Penggunaan sensor magnetik memiliki kelebihan yaitu tingkat linieritas dan kestabilannya tinggi, tidak bersifat merusak, sensitif terhadap arah yang tinggi, handal, relatif sederhana dengan biaya operasi yang murah [32][33].

Dalam melakukan *monitoring* arus pada *arc discharge*, diperlukan komponen elektronika yang dapat digunakan untuk mengukur nilai arus yang keluar pada saat pembentukan plasma *arc discharge*. Pembentukan plasma *arc discharge* membutuhkan arus yang cukup tinggi, sehingga diperlukan komponen sensor arus yang memiliki karakteristik untuk tahan terhadap arus dan suhu yang tinggi. Menurut Ramsden [33], sensor *hall effect* terdiri dari lapisan silikon dan dua buah elektroda pada masing-masing sisi silikon yang berfungsi untuk mengalirkan arus listrik. Hal ini akan menghasilkan perbedaan tegangan pada *outputnya* ketika lapisan silikon ini dialiri oleh arus listrik. Tanpa adanya pengaruh dari medan magnet maka arus yang mengalir pada silikon tersebut akan tepat di tengah-tengah silikon dan menghasilkan tegangan yang sama antara elektroda sebelah kiri dan elektroda sebelah kanan, sehingga menghasilkan beda tegangan 0V pada *outputnya*. Ketika terdapat medan magnet yang mempengaruhi sensor ini, maka arus yang mengalir akan berbelok mendekati/menjauhi sisi yang dipengaruhi oleh medan magnet. Ketika arus yang melalui lapisan silikon tersebut mendekati sisi silikon sebelah kiri maka terjadi ketidak seimbangan tegangan *output* dan hal ini menghasilkan sebuah beda tegangan di *outputnya*. Semakin besar kekuatan medan magnet yang mempengaruhi sensor ini akan menyebabkan pembelokan arus di dalam lapisan silikon ini akan semakin besar dan semakin besar pula ketidakseimbangan tegangan antara kedua sisi lapisan silikon pada sensor. Semakin

besar ketidakseimbangan tegangan ini akan menghasilkan beda tegangan yang semakin besar pada *output* sensor ini. Sensor efek hall ini dapat bekerja jika hanya salah satu sisi yang dipengaruhi oleh medan magnet. Jika kedua sisi silikon dipengaruhi oleh medan magnet maka tegangan *output*nya tidak akan berubah.



Gambar 2. 10 Konstruksi Sensor Hall Effect [34]

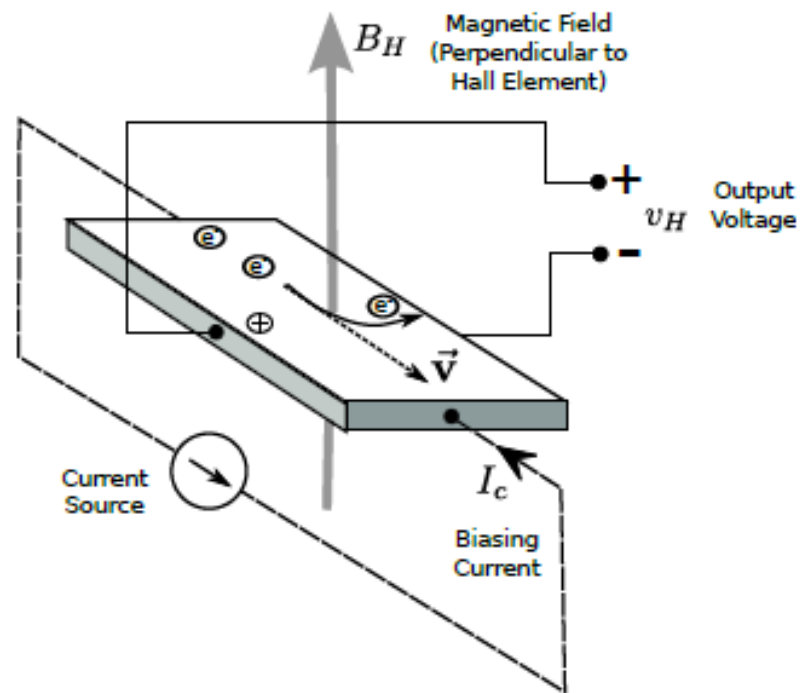
Elemen *hall effect* terbuat dari lembaran berbahan konduktif dengan koneksi *output* yang tegak lurus terhadap arah aliran arus. Saat sensor *hall effect* mendeteksi medan magnet, *hall effect* akan merespon dengan tegangan *output* sebanding dengan kekuatan medan magnet. Pada prinsipnya sensor *hall effect* terdiri dari dua elektroda dan terdapat lapisan silikon di mana akan menghasilkan perbedaan tegangan saat lapisan silikon dialiri oleh arus. Jika tidak diindikasikan adanya medan magnet yang terdeteksi maka arah arus listrik yang mengalir akan berada di tengah-tengah dan akan dihasilkan tegangan 0V dikarenakan tidak terdapat beda potensial antara elektroda kiri dan kanan [35].

Untuk mendapatkan hasil data arus keluaran dari plasma *arc discharge* membutuhkan sebuah sensor arus. Dengan difungsikannya sensor ini maka sensor dapat digunakan untuk membaca hasil data dari plasma sehingga mendapatkan hasil data arus keluaran dari plasma *arc discharge* tersebut. Oleh sebab itu penulis menggunakan sensor arus WCS1500 sebagai alat ukur yang digunakan. Prinsip kerja dari sensor arus ini, yaitu mendeteksi medan magnetik kemudian akan diterjemahkan berupa tegangan. Tegangan yang telah didapatkan akan dikonversi

menjadi nilai arus yang dihasilkan oleh plasma *arc discharge*. Sensor arus ini dipasang pada salah satu penghantar plasma.

### 2.11.1 Prinsip Kerja Sensor *Hall Effect*

Cara kerja sensor ini adalah arus yang dibaca mengalir melalui kabel tembaga yang terdapat di dalamnya yang menghasilkan medan magnet yang ditangkap oleh *integrated Hall IC* dan diubah menjadi tegangan proporsional. Prinsip kerja efek *Hall* adalah gaya *Lorentz*. Sebuah penghantar berbentuk pelat dialiri arus  $I$ . Pada gambar terlihat bahwa muatan positif bergerak lurus menuju arah sumbu  $x$  positif, sedangkan muatan negatif bergerak lurus berlawanan arah dengan muatan positif atau menuju sumbu  $x$  negatif. Sehingga tidak ada beda potensial  $V$  pada ujung-ujung pelat konduktor pada sumbu  $y$ .



Gambar 2. 11 Efek Hall pada suatu pelat penghantar yang dialiri arus  $I$  [36]

Bila pelat penghantar diberi medan magnet  $B$  pada arah sumbu  $z$  positif, maka muatan pada pelat penghantar akan mengalami gaya *Lorentz* sebesar  $q\vec{v} \times \vec{B}$ . Muatan positif akan mengalami gaya *Lorentz* ke arah sumbu  $y$  negatif, sebaliknya muatan negatif mengalami gaya *Lorentz* ke arah sumbu  $y$  positif. Muatan-muatan yang berlawanan akan terdistribusi pada sisi yang berlawanan, sehingga timbul medan



listrik dan beda potensial pada penghantar. Besarnya beda potensial ini merupakan tegangan *Hall* ( $V_H$ ). Nilai  $V_H$  ini dapat dinyatakan dengan

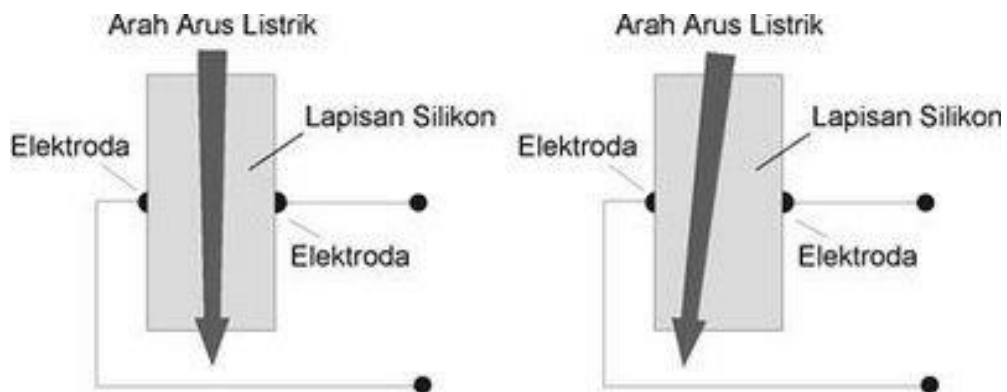
$$V_H = \frac{IB}{nqd} \quad (2.14)$$

Dimana:

- I = arus listrik (A)
- B = besarnya medan magnet (Tesla)
- n = kepadatan muatan
- q = besarnya muatan (C)
- d = tebal pelat penghantar (m)

### 2.11.2 Cara Kerja Sensor *Hall Effect*

Sensor *hall effect* terdiri dari sebuah lapisan silikon dan dua buah elektroda pada masing-masing sisi silikon. Hal ini akan menghasilkan perbedaan tegangan pada *outputnya* ketika lapisan ini dialiri oleh arus listrik. Tanpa adanya pengaruh dari medan magnet maka arus yang mengalir pada lapisan silikon tersebut akan tepat berada di tengah-tengah silikon dan menghasilkan tegangan yang sama antara elektroda sebelah kiri dan elektroda sebelah kanan, sehingga menghasilkan tegangan 0V pada *outputnya*. Ketika terdapat medan magnet yang mempengaruhi sensor, maka arus yang mengalir akan berbelok mendekati atau menjauhi sisi yang dipengaruhi oleh medan magnet.

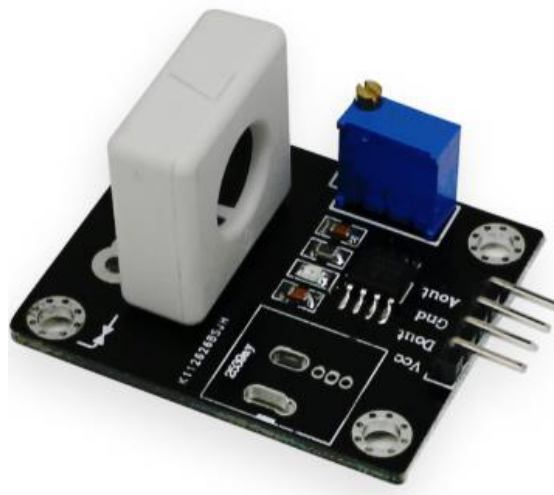


Gambar 2. 12 Prinsip Kerja *Hall Effect* Sensor [34]

Ketika arus yang dilalui lapisan silikon tersebut mendekati sisi silikon sebelah kiri maka terjadi ketidakseimbangan tegangan pada *output* dan hal ini akan menghasilkan sebuah beda potensial di *output*nya. Semakin besar kekuatan medan magnet yang mempengaruhi sensor ini akan menyebabkan pembelokan arus di dalam lapisan silikon ini akan semakin besar dan semakin besar pula ketidakseimbangan tegangan diantara kedua sisi lapisan silikon pada sensor. Semakin besar ketidakseimbangan tegangan ini akan menghasilkan beda potensial yang semakin besar pada *output* sensor. Arah pembelokan arus pada lapisan silikon ini dapat digunakan untuk mengetahui polaritas kutub medan listrik sensor *hall effect*. Sensor *hall effect* dapat bekerja apabila hanya salah satu sisi yang dipengaruhi oleh medan magnet. Jika kedua sisi silikon dipengaruhi oleh medan magnet maka arah arus tidak akan dipengaruhi oleh medan magnet itu sendiri. Oleh sebab itu, jika kedua sisi silikon dipengaruhi oleh medan magnet yang mempengaruhi magnet maka tegangan *output*nya tidak akan berubah.

### 2.11.3 Sensor WCS 1500

Sensor yang digunakan dalam penelitian ini adalah sensor *hall effect* WCS1500. Sensor ini digunakan karena murah, mudah untuk digunakan dan memiliki performa yang cukup baik.



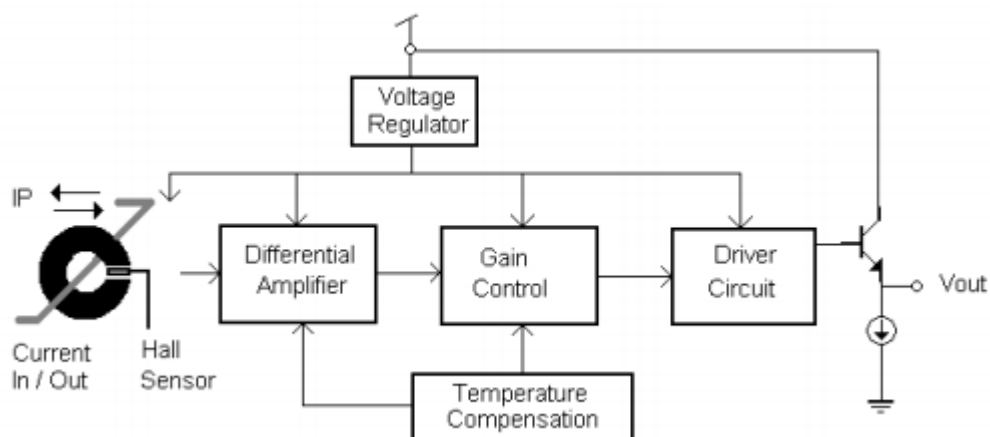
Gambar 2. 13 Modul Sensor WCS1500 [37]

Sensor WCS1500 terdiri dari IC sensor *drift linear hall* yang presisi dengan rangkaian pengkompensasi suhu dan memiliki diameter lubang 9mm. Pengguna dapat menggunakan kabel listrik dengan melewatkannya melalui lubang ini untuk mengukur arus yang lewat. Desain ini memungkinkan perancangan sistem *monitoring* tanpa merusak atau mengubah tata letak sistem kelistrikan sama sekali. Setiap arus yang mengalir melalui lubang ini akan menghasilkan medan magnet yang dideteksi oleh IC *hall* dan dikonversi menjadi tegangan proporsional.

Secara umum spesifikasi sensor WCS1500 adalah sebagai berikut

Tabel 2. 2 Spesifikasi Sensr WCS1500 [38]

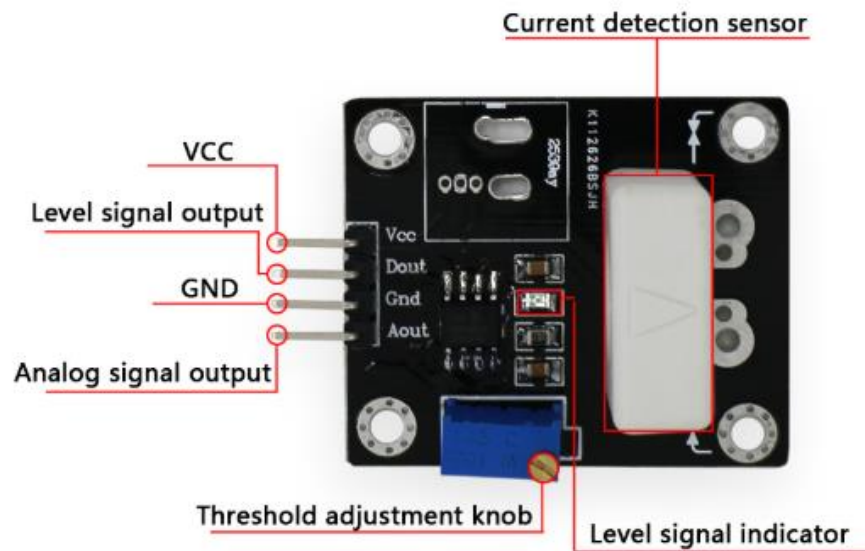
Karakteristik	Symbol	Test Condition	Min	Typ	Max	Units
Supply Voltage	Vdd	-	3,0	-	12	V
Supply Current	I <sub>supply</sub>	I <sub>P</sub> = 0A	-	3,5	6,0	mA
Zero Current Vout	V <sub>0G</sub>	I <sub>P</sub> = 0A	2,4	2,5	2,6	V
Conductor Through Hole			-	9,0	-	mm
Sensitivity	WCS1500	I <sub>P</sub> = +- 10A	10	11	12	mV/A
Bandwidth	BW		-	23		kHz
Measurable Current Range	WCS1500	Vdd = 5V (DC) Vdd = 5V (AC RMS)	-	± 200 150	-	A
Temperature Drift	Δ Vout	I <sub>p</sub> = 0A	-	±0,2	-	mV/°C



Gambar 2. 14 Function Block [38]

*Hall* elemen atau *hall magnetic* sensor adalah transduser yang menghasilkan output tegangan untuk merespon medan magnet yang diberikan. *Element Hall* terbuat dari material semikonduktor atau logam *alloy* yang berfungsi untuk mendeteksi medan magnet yang melaluinya. Regulasi tegangan diperlukan saat beroperasi dari pasokan yang tidak diatur. Penguat diferensial digunakan untuk memperkuat perbedaan potensial - tegangan *Hall*.

Sensor WCS 1500 memiliki 11 Pin *Input/Output*. Untuk detail spesifikasi pin yang ada, dapat dibawah dilihat di tabel berikut



Gambar 2. 15 Konfigurasi Pin Modul Sensor WCS1500 [37]

Tabel 2. 3 Konfigurasi Pin Modul Sensor Arus WCS1500

Konfigurasi Pin	Fungsi
<i>Current detection sensor</i>	Tempat untuk meletakkan kabel yang akan dilakukan pengukuran arus
VCC	Pin untuk sumber tegangan 5V
GND	Pin untuk <i>ground</i>
<i>Level signal output</i>	Pin untuk sinyal output digital
<i>Analog signal output</i>	Pin untuk sinyal output analog

<i>Threshold adjustment knob</i>	Kenob untuk menyesuaikan ammbang batas sinyal
<i>Level signal indicator</i>	Indikator sinyal

## 2.12 Instrustar ISDS205

*Data logger* merupakan suatu alat yang berfungsi untuk melakukan perekaman data, yaitu perangkat elektronika yang digunakan untuk mencatat data dari rentang waktu tertentu. Biasanya alat ini bekerja bersama dengan sensor tertentu sesuai dengan kebutuhan. Proses pengumpulan dan perekaman data yang berjalan secara otomatis disebut dengan *data logging*. *Data logger* dapat disimpan secara otomatis dengan format penyimpanan yang berbeda-beda [39].

Osiloskop adalah alat ukur elektronik yang dapat memetakan atau memproyeksikan sinyal listrik dan frekuensi menjadi gambar grafik agar dapat dibaca dan mudah dipelajari. Dengan menggunakan osiloskop, kita dapat mengamati dan menganalisa bentuk gelombang dari sinyal listrik atau frekuensi dalam suatu rangkaian elektronika. Pada umumnya osiloskop dapat menampilkan grafik dua dimensi (2D) dengan waktu pada sumbu X dan tegangan pada sumbu Y.



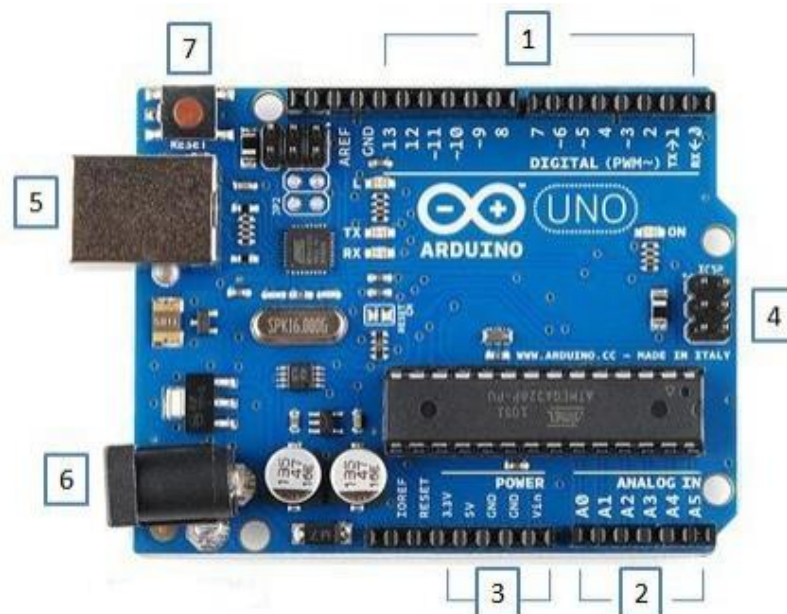
Gambar 2. 16 Digital Osilloscope Instrustar [40]

Intrustar ISDS205 merupakan osiloskop saluran ganda, dengan tujuan desain biaya murah, dengan kinerja terbaik. *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 Virtual Analyzer* yang akan digunakan untuk membaca data keluaran pada personal komputer. Data yang didapat, kemudian diolah menggunakan *Microsoft excel*.

### 2.13 Arduino UNO R3

Arduino UNO R3 adalah *board* mikrokontroler *open source* dengan rangkaian sistem minimum mikrokontroler didalamnya. Mikrokontroler yang digunakan adalah AVR produk dari Intel. Beberapa mikrokontroler yang sering digunakan adalah Atmega168, Atmega328, dan Atmega2560 [41]. Pada penelitian ini menggunakan Arduino Uno yang memakai mikrokontroller ATmega 328.



Gambar 2. 17 Arduino UNO [41]

Bagian-bagian dari Arduino UNO sebagai berikut :

1. 14 buah pin digital *input/output* (5V, 40mA)
2. 6 buah pin analog *input* (0-5V, 10 bit ADC)
3. 3 *power* (5V, 3.3V, *Ground*, *Vin* baterai 9V,  $V_{REF}$  / tegangan referensi)
4. Port ICSP
5. Port USB (5V)

6. *Socket DC power jack (adaptor AC ke DC 7-12V)*
7. Tombol *reset*

Secara umum spesifikasi Arduino UNO R3 adalah sebagai berikut

Tabel 2. 4 Spesifikasi Aduino UNO R3 [41]

Mikrokontroler	<u>Microchip ATmega328P</u>
Tegangan Operasi	5v
Tegangan <i>Input</i>	7-20v
Digital I/O Pins	14 ( 6 diantaranya adalah PWM output)
Analog <i>Input</i> Pins	6
DC <i>Current</i> per I/O Pin	20 mA
DC <i>Current</i> untuk 3.3v Pin	50 mA
<i>Flash Memory</i>	32 KB
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
<i>Clock Speed</i>	16 MHz
Panjang	68.6 mm
Lebar	53.4 mm
Massa	25 g

Arduino UNO R3 memiliki 16 Pin *Input/Output*. Untuk detail spesifikasi pin yang ada, dapat di bawah dilihat di tabel berikut

Tabel 2. 5 Konfigurasi Pin Ardino UNO R3 [41]

LED	Terdapat built in LED pada Arduino yaitu pada digital pin 13. Saat pin bernilai <i>high</i> maka led akan menyala sementara saat <i>low</i> maka led akan mati
-----	--

VIN	Merupakan <i>input</i> voltage saat menggunakan sumber daya eksternal (koneksi USB dengan PC)
5V	Pin untuk tegangan regulasi 5v
3V3	Pin untuk tegangan regulasi 3v3
GND	Pin untuk <i>ground</i>
IOREF	Digunakan sebagai tegangan referensi untuk mikrokontroler
<i>Reset</i>	Untuk mereset program yang ada pada mikrokontroler

Masing-masing dari 14 pin digital dan 6 pin analog pada Arduino Uno dapat digunakan sebagai *input* atau *output*, menggunakan fungsi *pinMode*, *digitalWrite*, dan *digitalRead*. Pin-pin tersebut beroperasi pada tegangan 5 volt. Setiap pin dapat menyediakan atau menerima 20 mA (sebagai kondisi operasi yang disarankan) dan memiliki resistor *pull-up* internal (terputus secara *default*) sebesar 20K-50K Ohm. Arduino Uno memiliki 6 *input* analog, dengan label A0 hingga A5, yang masing-masing memberikan 10 bit resolusi (yaitu 1024 nilai yang berbeda).

Untuk daftar *special* pin yang ada pada Arduino Uno R3 ini dapat dilihat pada tabel di bawah

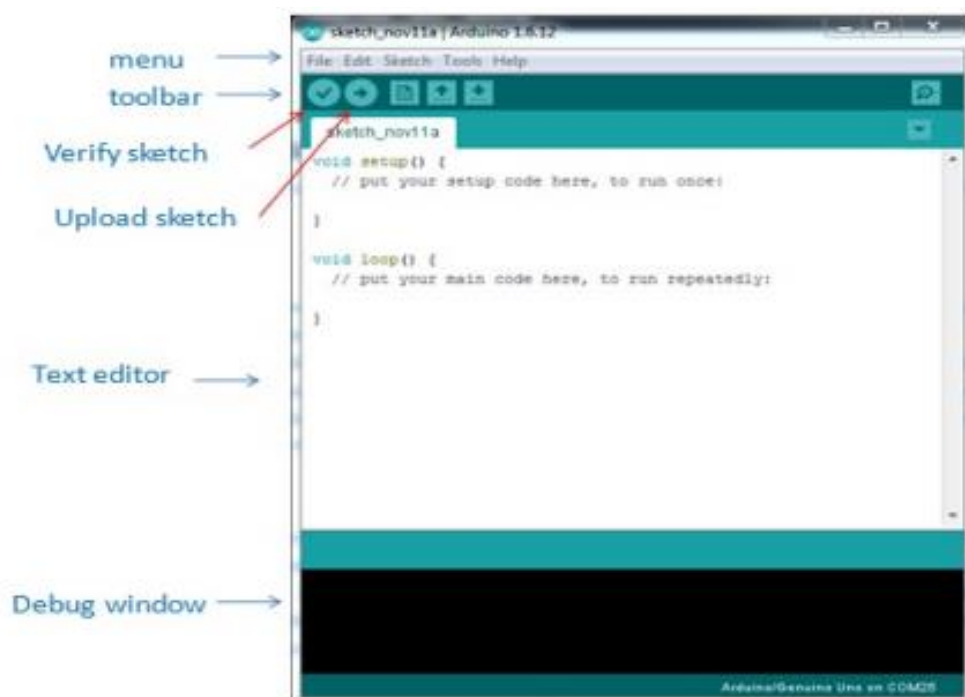
Tabel 2. 6 Special Pin Arduino R3 [41]

Serial / <u>UART</u>	Pin 0 sebagai <i>receiver</i> (RX) sementara pin 1 sebagai <i>transmitter</i> (TX)
<i>External Interrupts</i>	Pin 2 dan 3 yang mana kedua pin ini dapat digunakan untuk melakukan <i>interrupt</i> pada saat <i>rising</i> dan <i>falling edge</i>
<u>PWM</u> ( <i>Pulse Width Modulation</i> )	3, 5, 6, 9, 10 dan 11. Dapat melakukan 8 bit PWM dengan fungsi <i>analogWrite()</i>
<u>SPI</u> ( <i>Serial Peripheral Interface</i> )	10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK)
TWI ( <i>Two Wire Interface</i> ) / <u>I<sup>2</sup>C</u>	A4 atau pin SDA dan A5 atau pin SCL



AREF ( <i>Analog REference</i> )	Digunakan sebagai tegangan referensi untuk analog <i>input</i>
----------------------------------	--

Dalam mengoperasikan Arduino harus menggunakan *software* untuk memasukkan program ke dalam *board* Arduino menggunakan Arduino IDE (*Integrated Development Enviroment*). Berikut fungsi dan penampakan *software* Arduino IDE:



Gambar 2. 18 Tampilan Editor Arduino IDE [42]

Arduino IDE digunakan untuk mengkonfigurasi mikrokontroler dan sensor yang digunakan. Arduino IDE menggunakan bahasa pemrograman sendiri yang memiliki kemiripan *syntax* dengan bahasa C.

## 2.14 Inverter Arc Welding 160A DC KW14-942

Mesin las *inverter* merupakan pengembangan dari generasi mesin las konvensional, dimana pada mesin las konvensional menggunakan transformator dengan frekuensi kerja yang rendah yaitu 50-60 Hz. Sehingga untuk mendapatkan arus yang tinggi perlu memperbesar ukuran transformator, sehingga semakin besar

pula ukuran transformator maka membutuhkan daya listrik yang besar pula. Pada mesin las *inverter* daya yang dihasilkan melalui proses *switching* transformator inti ferit dimana frekuensi kerja *switching* yang sangat tinggi diantara 18kHz sampai 100kHz sehingga ukuran transformator sangat kecil dan daya yang dihasilkan pun besar.

Pada awalnya tegangan listrik AC disearahkan melalui dioda *bridge* lalu tegangan DC difilter oleh rangkaian filter kapasitor, tegangan DC yang sudah bersih akan dibagi untuk menjalankan *power supply control* dan sebagian akan digunakan untuk keperluan *switching* transformator utama. Hasil *switching* trafo utama merupakan tegangan AC yang akan disearahkan kembali oleh rangkaian dioda sehingga tegangan akhir dari mesin las merupakan tegangan DC.

Secara sederhana sebuah *inverter* adalah sebuah sistem elektronik untuk meregulasi tegangan. Dalam hal ini sebuah mesin las *inverter* mengubah *power supply* AC menjadi tegangan keluaran yang lebih rendah, senagai contohnya dari tegangan 220V AC menjadi tegangan 20V DC. Sebuah *inverter* bekerja dengan menaikkan frekuensi *power supply* dari 50 Hz sampai dengan 20kHz-100kHz. Hal ini dilakukan dengan menggunakan *switching* elektronik yang mengubah *power on* dan *off* secara sangat cepat (sampai dengan satu per satu juta detik). Dengan mengendalikan *power supply* seperti ini, ukuran transformator dapat dikurangi secara signifikan.

Semenjak munculnya semikonduktor daya tinggi seperti *insulated gate bipolar transistor* (IGBT), sekarang memungkinkan untuk membangun sebuah *switching power supply* yang mampu mengatasi *arc welding* yang tinggi. Desain ini dikenal dengan unit *inverter welding*. Secara umum daya AC disearahkan menjadi DC, kemudian mengembalikan DC *power* ke *stepdown* transformator untuk menghasilkan tegangan atau arus pengelasan yang diinginkan. Frekuensi *switching* biasanya 10kHz atau lebih tinggi. Meskipun membutuhkan komponen dengan frekuensi *switching* yang sangat tinggi, hal ini dapat mengurangi sebagian besar transformator stepdown. Rangkaian juga bisa menyediakan fitur seperti *control power* dan *overload protection*. Mesin las *inverter* berbasis frekuensi tinggi bisa

menjadi lebih efisien dan memiliki kontrol lebih baik daripada mesin las non-*inverter*.

IGBT di dalam sebuah mesin *inverter* dikontrol oleh mikrokontroler, jadi karakteristik elektrik dari *welding power* dapat diubah dengan *software* yang selalu *updates* secara *realtime*. *Software* pengontrol akan mengimplementasikan beberapa fitur seperti *pulsing the welding current*, *rasio variable* dan densitas arus melalui *welding cycle*, variabel frekuensi dan *spot welding* otomatis. Semua hal tersebut terhalang biaya yang mahal pada mesin berbasis transformator tapi hanya membutuhkan pemrograman di *software* mesin *inverter*.

### 2.15 Multi Virtual Analyzer

Multi Virtual Analyzer adalah *software* untuk menampilkan hasil pengambilan nilai yang masuk ke intrustar. Terdapat beberapa pilihan mode pada software ini, yaitu:

a. *Oscilloscope / Spectrum analyzer*

Osiloskop yang ditampilkan berupa program osiloskop digital yang muncul dilayar komputer dan memiliki fungsi seperti osiloskop pada umumnya.

b. *Data Recorder*

*Data recorder* adalah salah satu mode untuk menyimpan hasil pembacaan pada intrustar dalam bentuk gambar maupun format *Microsoft Excel* untuk kemudian diolah lebih lanjut.

### 2.16 Pembagi Tegangan

Dalam rangkaian elektronik mengembangkan lebih dari satu level tegangan dari sumber tegangan tunggal sangat dibutuhkan, rangkaian ini dikenal sebagai rangkaian pembagi tegangan. Pembagi tegangan atau disebut juga pembagi potensial merupakan rangkaian elektronika linear yang menghasilkan nilai tegangan *output* lebih kecil dari tegangan *inputnya*.

Sensor tegangan berfungsi untuk mendeteksi tegangan yang dihasilkan oleh sumber arus listrik bolak balik. Hal ini diperlukan untuk mengukur tegangan setiap saat. Sensor tegangan ini berupa pembagi tegangan. Tegangan yang dihasilkan

masih berupa sinyal sinusoidal. Tegangan ini akan diteruskan ke *input* rangkaian penyearah.

### 2.16.1 Jenis-Jenis Pembagi Tegangan

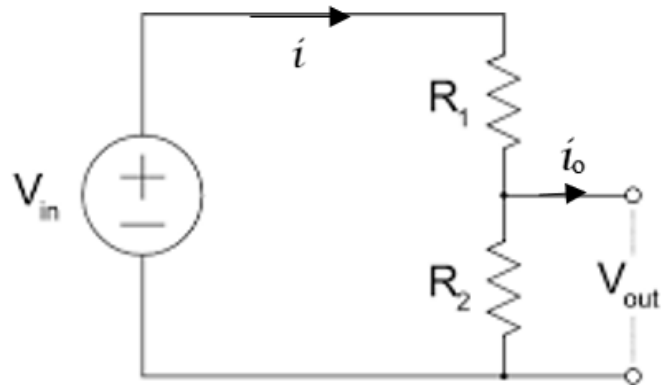
Pembagi tegangan umumnya digunakan sebagai tegangan referensi atau untuk mendapatkan sinyal tegangan rendah yang sebanding dengan tegangan yang akan diukur. Ada beberapa macam pembagi tegangan yang biasa digunakan, yaitu

1. Pembagi tegangan bersifat resistif dengan menggunakan komponen resistansi murni.
2. Pembagi tegangan bersifat campuran resistif – kapasitif, yaitu menggabungkan komponen resistif dengan komponen penyimpan muatan (filter RC).
3. Pembagi tegangan bersifat resistif – induktif, menggunakan gabungan komponen resistif dan penghasil GGL (filter RL).
4. Pembagi tegangan bersifat campuran resistif – kapasitif – induktif merupakan gabungan dari komponen resistif, komponen penghasil GGL dan komponen penyimpan muatan (filter RLC).

Pada penelitian ini yang akan dibahas hanyalah pembagi tegangan berdasarkan elemen resistif murni.

### 2.16.2 Pembagi Tegangan Resistif

Pembagi tegangan resistif terdiri dari dua resistor atau dibuat dengan satu potensiometer. Nilai tegangan *output* tergantung dari nilai komponen resistif yang digunakan atau berdasarkan pengaturan pada potensiometer. Rangkaian pembagi tegangan dapat dianalisis langsung dengan menerapkan hukum Ohm dan hukum *Kirchhoff*. Terdapat arus  $i$  dan  $i_o$ , seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.19 asumsikan bahwa arus beban  $i_o$  adalah nol, dengan demikian dari hukum *Kirchhoff*  $R_1$  dan  $R_2$  membawa arus yang sama.



Gambar 2. 19 Gambar Rangkaian pembagi tegangan

$$V_{in} = iR_1 + iR_2 \quad (2.15)$$

Atau

$$i = \frac{V_{in}}{R_1 + R_2} \quad (2.16)$$

menggunakan hukum Ohm untuk menghitung  $V_{out}$  :

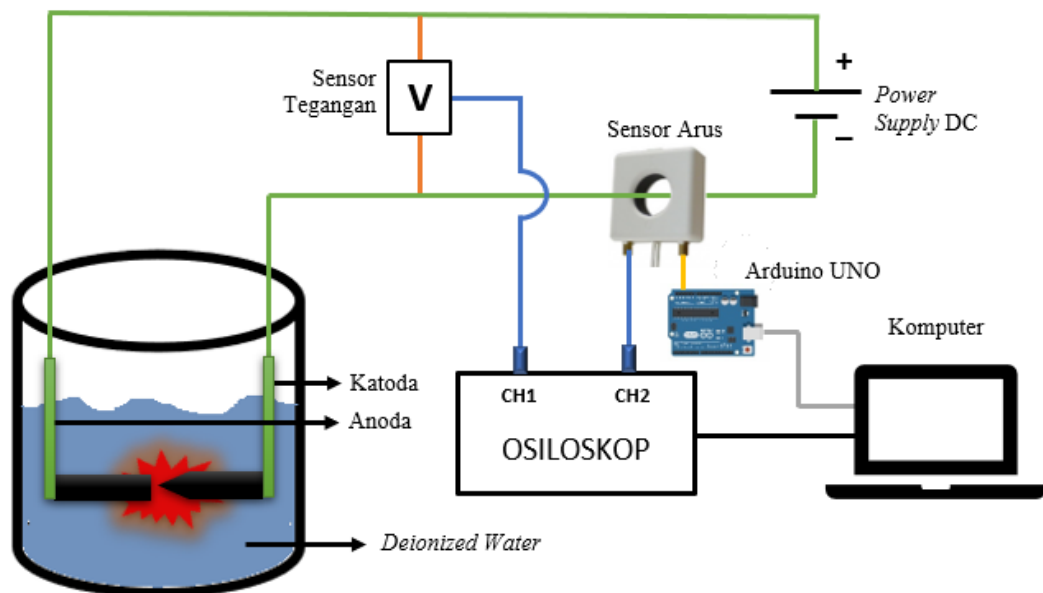
$$V_{out} = iR_2 = V_{in} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (2.17)$$

Persamaan 2.17 menunjukkan bahwa  $V_{out}$  adalah pecahan dari  $V_{in}$  dengan rasio  $R_2$  banding  $R_1 + R_2$ . Rasio ini selalu kurang dari 1:0, sehingga tegangan *output*  $V_{out}$  selalu lebih kecil dari sumber  $V_{in}$ .

### BAB III

#### METODELOGI PENELITIAN

Pengaturan sintesis partikel nano terdiri dari wadah berisi air suling terbuat dari plastik. Sepasang elektroda, katoda dan anoda dipasang secara horizontal pada *clamp* las. Kedua elektroda terbuat dari grafit murni 99,9%. Katoda adalah batang silinder dengan diameter 10 mm, sedangkan anoda adalah batang silinder dengan ujung yang lebih lancip dengan diameter 10 mm. Elektroda dihubungkan ke sumber daya DC eksternal pada arus tetap 10A, 20A, 40A, 70A dan 70A di dalam air. Arus dan tegangan *arc* dicatat oleh osiloskop digital. Gerakan anoda dikendalikan oleh tangan secara manual. *Arc* dihasilkan pada ujung-ujung dari elektroda yang ditempatkan pada jarak yang sangat dekat. Jarak celah elektroda dipertahankan tetap konstan agar terjadi *arc discharge* yang kontinu. Setelah *arc* stabil beberapa detik setelah inisiasi, *arc discharge* kemudian dimatikan dengan menjauhkan kedua elektroda. Dalam bab ini akan dijelaskan mengenai perancangan alat eksperimen busur api listrik pada tegangan rendah, proses pengambilan dan pengolahan data busur api listrik.



Gambar 3. 1 Skema Rangkaian *Arc discharge*

Penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan nilai arus yang ditetapkan sebagai variabel bebasnya, adapun variabel yang dicari pada penelitian ini adalah

tegangan dan arus pada saat *arc discharge*. Ketika *arc discharge* diinisiasi nilai arus akan diterima melalui sensor arus WCS150. Sinyal data arus diproses oleh Arduino UNO dan selanjutnya dikirim kepada Instrustar agar dapat ditampilkan melalui *VirAnalyzer*. Sedangkan tegangan *arc* diukur langsung menggunakan *differential probes* secara paralel pada kedua elektroda. Arus dan tegangan *arc discharge* diukur secara simultan yang terhubung dua *channel* pada Instrustar, yaitu arus terhubung pada *channel* 1 (CH1) dan tegangan terhubung pada *channel* 2 (CH2). Sehingga fluktuasi arus dan tegangan *arc discharge* dapat termonitoring seutuhnya melalui komputer. Hasil pembacaan arus dan tegangan *arc discharge* disimpan sebagai *output* data berupa *file comma separated data* (.csv).

### 3.1 Sumber Data

Dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir ini, diperlukan berbagai data yang berguna untuk mendukung analisis penelitian. Data-data tersebut dapat diperoleh dengan berbagai macam metode penelitian. Adapun sumber data yang diperlukan pada tugas akhir ini diperoleh dengan beberapa metode penelitian yang dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Melakukan studi sumber penelitian terhadap jurnal-jurnal, buku-buku, skripsi dan penelusuran melalui internet yang berhubungan dengan pengaruh nilai arus dan nilai tegangan pada proses pembentukan plasma, nilai daya listrik dan jarak celah antara elektroda yang kemudian digunakan untuk menemukan beberapa permasalahan lalu menyusun tujuan, membatasi permasalahan yang akan diselesaikan dan kemudian menyimpulkan hasil penelitian.

2. Pengambilan Data

Melakukan pengambilan data secara langsung menggunakan sensor yang diintegrasikan pada rangkaian *arc discharge* sebagai media penelitian.

3. Perhitungan

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan dasar untuk analisis arus, tegangan, daya dan jarak antara elektroda pada saat proses *arc discharge*.

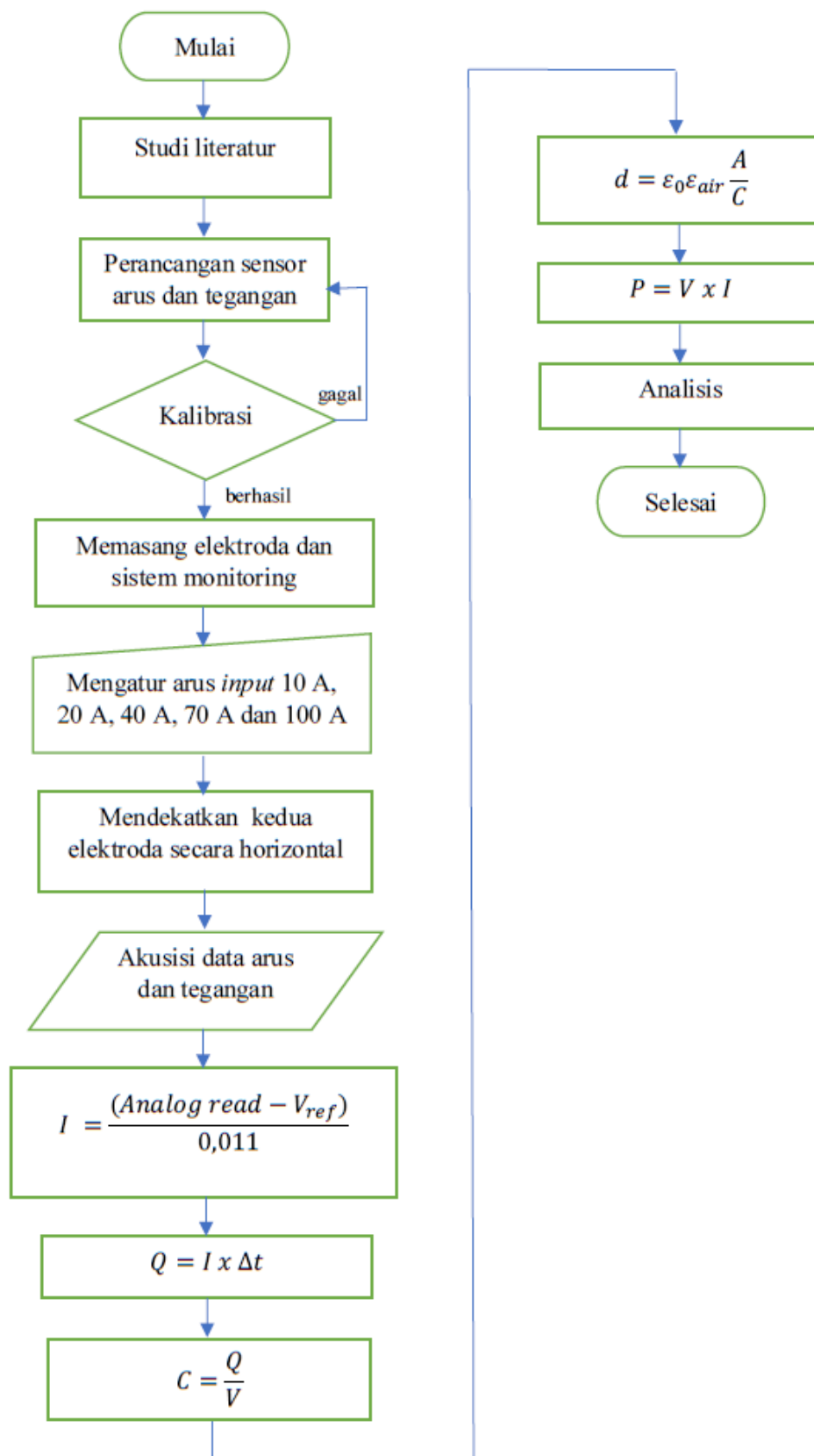
#### 4. Konsultasi

Penulis melakukan konsultasi dengan dosen pembimbing dan beberapa narasumber lain untuk membantu menyelesaikan masalah dalam pelaksanaan tugas akhir ini.

### 3.2 Alur Penelitian

Pada penelitian ini terdapat dua tahap utama yaitu pertama tahap rancang bangun alat ukur yang mengacu pada multimeter. Data *output* arus dan tegangan yang dihasilkan harus memiliki nilai yang sama dengan yang ditunjukkan pada multimeter. Apabila terdapat perbedaan nilai antara rancang bangun sistem *monitoring* dan alat ukur, maka selisih perbedaan nilai tersebut tidak boleh melampaui batas normal yaitu 85%. Sistem *monitoring* yang memiliki nilai kurang dari itu akan dinyatakan tidak valid. Tahap kedua yaitu pengambilan data arus dan tegangan dengan memberikan variasi arus masukan yang sebesar 10A, 20A, 40A, 70A dan 100A. Waktu yang digunakan untuk pengambilan data arus dan tegangan pada masing-masing variasi arus selama kurang lebih dua menit. Data *output* arus dan tegangan yang didapat diolah untuk mengetahui jarak celah elektroda dan jumlah konsumsi daya yang dibutuhkan selama proses arc discharge. Struktur alur penelitian untuk *monitoring* arus dan tegangan *arc discharge* dapat dilihat pada *flowchart* berikut





Gambar 3. 2 Flowchart Penelitian

Diagram alir sistem *monitoring* arus dan tegangan plasma *arc discharge* dimulai dari studi literatur yang dilakukan dengan mencari sumber referensi mengenai sistem *monitoring* yang akan dibuat. Tahap selanjutnya mengumpulkan bahan-bahan untuk membuat *carbon nanotubes* dan alat untuk membuat sistem *monitoring*. Kemudian sensor arus yang sudah terpasang pada mikrokontroler Arduino UNO dilakukan simulasi pengukuran menggunakan *software* Arduino IDE. Setelah proses simulasi berhasil akan dilanjutkan dengan proses perakitan sistem *monitoring* arus dan tegangan secara menyeluruh. Untuk memastikan sensor bekerja dengan baik sesuai dengan algoritma program dilakukan kalibrasi melalui pembacaan arus dan tegangan menggunakan *oscilloscope*. Hasil pembacaan nilai tegangan yang muncul di laptop dibandingkan dengan nilai tegangan yang diatur pada *oscilloscope*. Apabila hasil yang muncul pada laptop dan *oscilloscope* sama dan akurat maka rancang sistem *monitoring* tervalidasi. Selanjutnya proses *arc discharge* dimulai dengan mendekatkan ujung-ujung katoda dan anoda sehingga timbul percikan diantara celah elektroda. Pengambilan data dimulai sesaat setelah kedua elektroda mulai didekatkan satu sama lain. Jarak antara elektroda dijaga untuk tetap konstan selama selang waktu kurang lebih 2 menit. Setelah kedua elektroda dijauhkan dan proses *arc discharge* berhenti, maka proses pengambilan data arus dan tegangan telah selesai. Hasil pengukuran data sensor kemudian disimpan dalam bentuk *file* data .csv dengan tingkat akurasi 1ms per data.

### 3.3 Alat dan Bahan

#### 3.3.1 Alat

Alat yang digunakan dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut

1. *Inverter arc welding* 160A DC
2. Sensor arus *hall effect* WCS 1500
3. Arduino UNO R3
4. *Digital oscilloscope* Instrustar
5. *Differential probes* (ISDS205 dari Instrustar) dengan ratio pembagi tegangan 1:10
6. Laptop lenovo G40-45 dengan spesifikasi AMD A8 @ 2 GHz menggunakan sistem operasi *windows* 10 64-bit

7. lunak *Microsoft Office Professional Plus 2016*
8. *Software* Multi VirAnalyzer 3.10.12.0
9. *Software* Origin 2016

### 3.3.2 Bahan

1. Elektroda grafit (99,9% karbon)
2. Air suling

### 3.4 Prosedur Penelitian

Adapun urutan tahap demi tahap dalam melakukan penelitian ini adalah

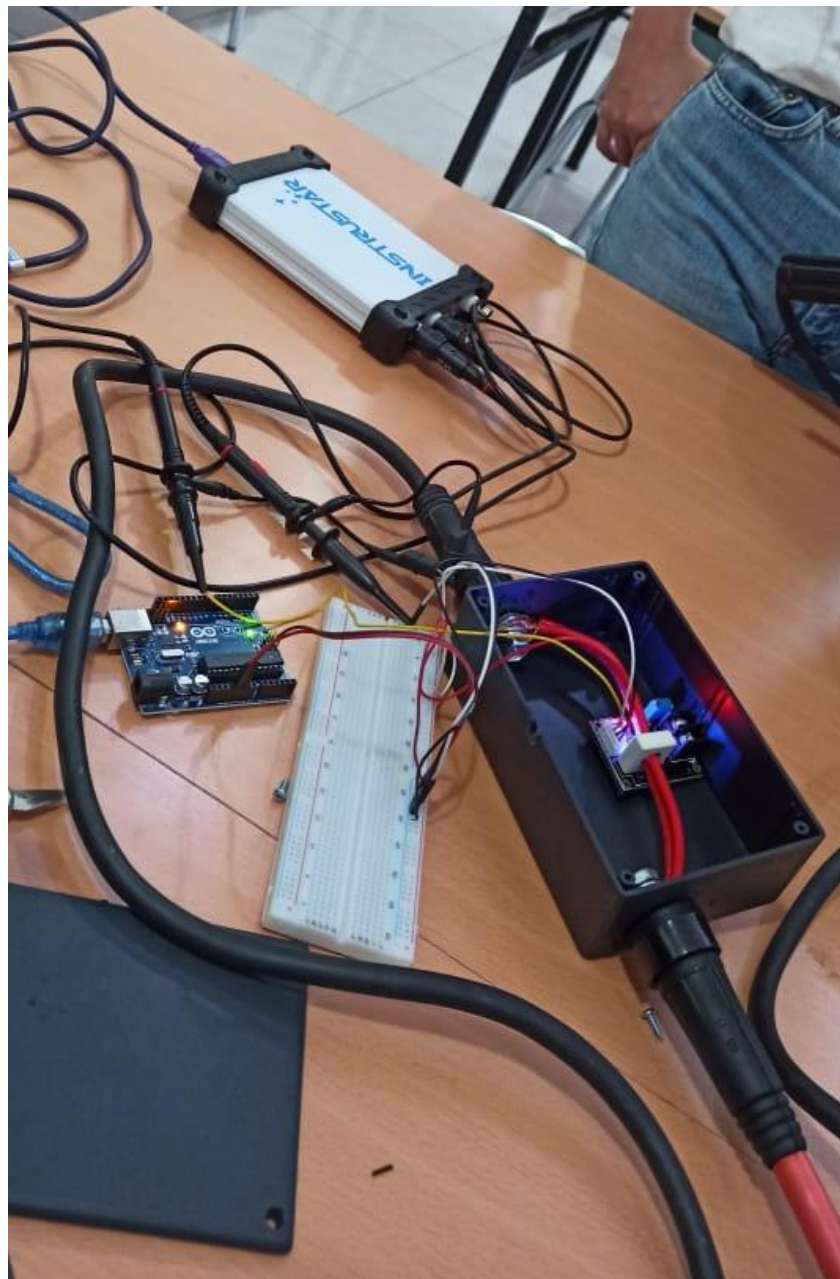
1. Melakukan studi literatur terkait perancangan sistem *monitoring* arus dan tegangan pada *arc discharge*
2. Mempersiapkan alat untuk membuat rangkaian sistem *monitoring* dan bahan untuk membuat *carbon nanotubes*.
3. Membuat rangkaian sensor arus pada *software* Proteus. Sensor arus yang digunakan adalah sensor *hall effect* WCS1500 dan dikontrol menggunakan mikrokontroler Arduino UNO R3.
4. Membuat algoritma program untuk sensor arus menggunakan Arduino IDE dan mengupload nya ke *board* Arduino yang terhubung dengan sensor arus WCS1500.
5. Melakukan pengujian terhadap rancang bangun sensor arus dengan menempatkan sebuah konduktor yang dialiri arus listrik pada lubang yang terdapat pada modul sensor arus WCS1500.
6. Melakukan kalibrasi terhadap alat ukur arus yang dibuat dengan cara melakukan perbandingan hasil pengukuran menggunakan multimeter. Apabila hasil pembacaan arus sama dengan nilai pada multimeter maka alat ukur tersebut valid dan akurat.
7. Menginstall *software* Multi VirAnalyzer pada laptop untuk menampilkan *output* data arus dan tegangan.
8. Melakukan kalibrasi terhadap sensor tegangan menggunakan *oscilloscope*. Tegangan pada *oscilloscope* diatur kemudian dibandingkan hasilnya pada hasil pembacaan tegangan pada Multi VirAnalyzer.

Apabila hasil pembacaan akurat maka dapat melanjutkan ke tahap selanjutnya.

9. Merakit sistem *arc discharge* untuk memproduksi partikel nano. Dua buah elektroda grafit murni dihubungkan dengan konfigurasi *rod-to-rod*. Kedua elektroda dihubungkan dengan sumber arus menggunakan *inverter arc welding*.
10. Sensor arus dirangkai secara seri dengan memasukkan salah satu kabel inverter ke dalam lubang modul sensor. Kemudian *differential probes* dikaitkan pada pin *analog output*. Sedangkan sensor tegangan dirangkai secara paralel dengan cara memasang *differential probes* pada kabel yang terhubung pada anoda dan katoda.
11. Mengatur nilai arus masukkan pada *inverter* sesuai variasi arus yang sudah ditentukan dimulai dari 10A, 20A, 40A, 70A dan terakhir 100A. Masing-masing percobaan berlangsung selama kurang lebih 2 menit.
12. Sebelum *arc discharge* akan dimulai kedua elektroda di pegang menggunakan kedua tangan dan dimasukkan ke dalam air suling hingga seluruh bagian elektroda terendam di dalam air.
13. Sesaat sebelum kedua elektroda didekatkan satu sama lain di dalam air, Multi VirAnalyzer mulai merekam data arus dan tegangan.
14. Saat kedua elektroda di dekatkan pada jarak tertentu hingga muncul percikan diantara celahnya, jarak elektroda dipertahankan konstan agar *arc discharge* dapat terus berlangsung pada selang waktu beberapa menit.
15. Saat jarak antara elektroda sangat sempit, sering kali kedua elektroda menempel. Lepaskan elektroda dan proses menginisiasi *arc discharge* dimulai lagi dengan mendekatkan kedua elektroda di dalam air.
16. Selama proses *arc discharge* berlangsung Instrustar merekam arus dan tegangan dalam bentuk *file* data .csv maupun dalam bentuk grafik dengan tingkat keakuratan sebesar 1ms per data.
17. Data hasil pengukuran arus dan tegangan diolah menggunakan *software* Origin dan dikonversi menjadi parameter-parameter lainnya seperti

jumlah muatan, jarak celah antara elektroda dan jumlah konsumsi daya listrik dengan perhitungan matematis.

18. Data hasil keluaran dan data hasil perhitungan dianalisis bagaimana pengaruhnya terhadap kenaikan arus masukan yang diatur sebelum proses *arc discharge* dilakukan. Masing-masing variasi arus yang diberikan hasilnya dibandingkan satu sama lain sehingga dapat terlihat trennya.



Gambar 3. 3 Rangkaian Percobaan Plasma *Arc Discharge*



Gambar 3. 4 Keadaan saat Tidak Terjadi Plasma Arc Discharge



Gambar 3. 5 Keadaan saat Terjadi Plasma Arc Discharge

## **BAB IV**

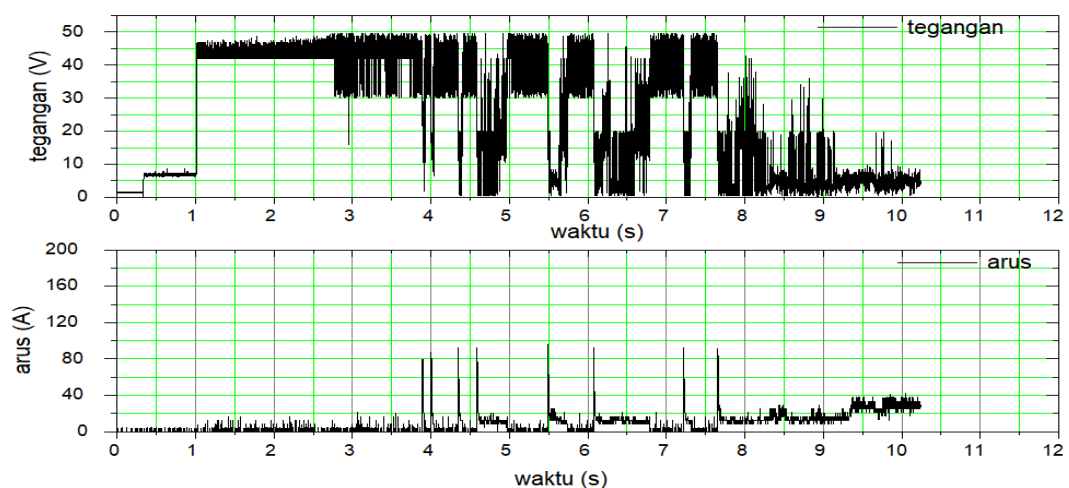
### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dalam penelitian ini, kami melakukan percobaan sintesis nano partikel yang sederhana, murah dan satu langkah dengan menggunakan metode *arc discharge* dalam air yang terdeionisasi. Komponen percobaan terdiri dari tiga bagian utama yaitu, catu daya DC arus tinggi, elektroda, dan sistem *monitoring* arus dan tegangan. Pergerakan anoda ke arah katoda dilakukan secara perlahan menggunakan tangan hingga muncul *arc discharge* yang stabil. Semua percobaan dilakukan di udara ambien dan tidak menggunakan ruang vakum. Dalam penelitian ini, arus yang diterapkan pada dua elektroda grafit adalah 10A, 20A, 40A, 70A dan 100A. Terjadi penurunan tegangan sekitar 20V-40V selama pembentukan *arc discharge* pada masing-masing variasi arus yang diberikan. Baik anoda maupun katoda berbentuk batang berdiameter 1,15mm dan memiliki kemurnian 99,9% (dari karbon). Alat *monitoring* arus dan tegangan dinyalakan sesaat sebelum proses *arc discharge* dimulai. Penyalaan *arc discharge* dilakukan dengan mendekatkan dua elektroda secara perlahan di dalam air hingga muncul *arc* di antara celah kedua elektroda. Jarak antara elektroda dijaga sedemikian rupa agar *arc discharge* terjadi secara kontinu dalam rentang waktu sekitar 10 detik. Kemudian kedua elektroda dipisahkan satu sama lain dan terbentuk partikel nano yang terkondensasi dalam air. *Monitoring* arus dan tegangan bekerja secara simultan selama proses *arc discharge* berlangsung. Data yang dihasilkan kemudian diolah dan dianalisa untuk mengetahui konsumsi daya serta jarak antara elektroda yang dibutuhkan untuk menghasilkan *arc discharge*. Pada penelitian ini, analisa dilakukan hanya pada *peak* pertama dengan lima percobaan yang berbeda.

#### **4.1 Percobaan Arc Discharge Pada 10A**

Pada percobaan pertama catu daya DC diatur pada nilai arus 10A. Data hasil *monitoring* pada Gambar 4.1 menunjukkan bahwa *arc discharge* tidak langsung terjadi pada saat penyalaan dimulai. Hal ini dikarenakan pergerakan anoda dan katoda dilakukan secara perlahan-lahan menggunakan tangan, sehingga membutuhkan waktu agar jarak antara elektroda cukup dekat dan terjadi *arc discharge*. Pada percobaan ini lonjakan arus terjadi sebanyak delapan kali. Masing-

masing nilai arus pada *peak* pertama yaitu, 79A, 87A, 92A, 92A, 96A, 92A, 92A, dan 92A. Lonjakan arus pada *first peak* menunjukkan kondisi dimana plasma *arc discharge* pertama kali terbentuk. Nilai arus pada *first peak* naik secara signifikan kemudian stabil sesuai nilai arus yang diberikan yaitu berada di rentang arus 10A. Seiring dengan arus *arc* yang meningkat, sementara itu saat pembentukan plasma *arc discharge* tegangannya mengalami penurunan secara fluktuatif. Nilai tegangannya turun dari 49V sebelum terjadi *arc discharge* menjadi 25V-29V pada saat *first peak*nya. Penurunan tegangan ini merupakan pengaruh akibat distribusi tegangan yang tidak sama pada saat *arc discharge* dimulai seperti yang telah dijelaskan sebelumnya pada gambar 2.5.



Gambar 4. 1 Grafik Arus dan Tegangan pada Arus 10A

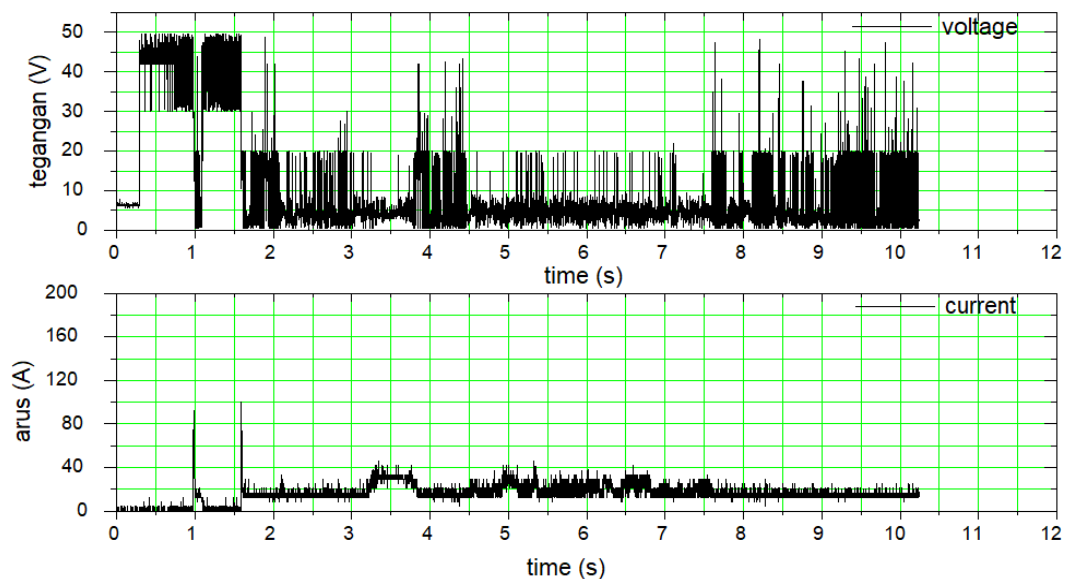
Monitoring arus dan tegangan pada *arc discharge* menghasilkan data yang sangat rapat karena akusisi data menggunakan pc oscilloscope Instrustar mencapai 0,001 ms per data, sehingga data yang dihasilkan sangat banyak.

#### 4.2 Percobaan Arc Discharge Pada 20A

Pada percobaan kedua catu daya DC diatur pada nilai arus 20A. Data hasil *monitoring* arus dan tegangan dengan input arus 20A ditunjukkan oleh gambar 4.2. Dari grafik dapat dilihat bahwa terjadi dua kali lonjakan arus, yang menandakan plasma *arc discharge* terbentuk sebanyak dua kali pada percobaan ini. Nilai arus pada *peak* pertama 92A sedangkan arus pada *peak* keduanya mencapai 100A. Nilai arus pada *first peak*nya meningkat dibandingkan pada percobaan sebelumnya. Plasma *arc discharge* cenderung stabil pada rentang nilai arus 20A-30A. Hal ini



terjadi karena adanya kemungkinan bahwa celah antara elektroda sangat kecil sehingga dapat menghasilkan plasma *arc discharge* yang kontinu dan stabil. Tegangan *arc discharge* mengalami penurunan dari nilai 49V menjadi 27V. Sehingga terjadinya *arc discharge* dapat ditandai dengan *drop* tegangan pada saat arusnya meningkat.



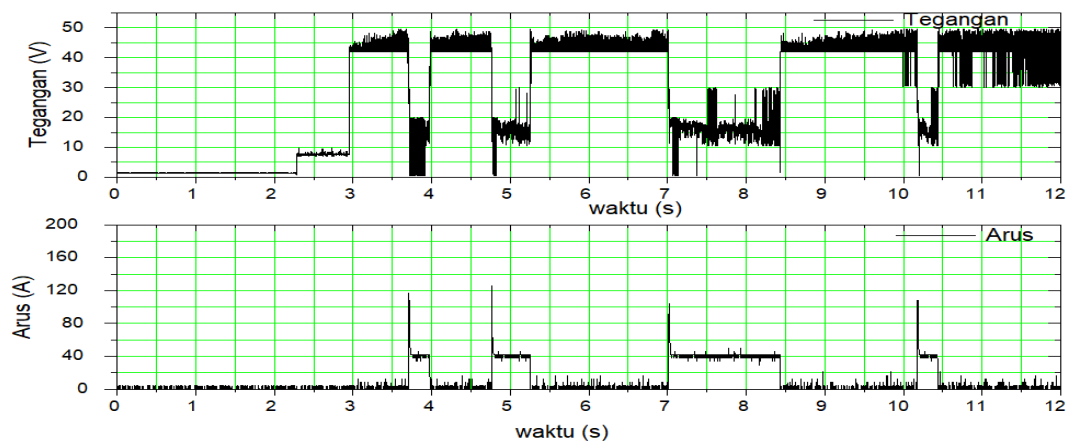
Gambar 4. 2 Grafik Arus dan Tegangan pada Arus 20A

Dibandingkan dengan data hasil percobaan sebelumnya, plasma *arc discharge* lebih mudah terbentuk menggunakan *input* arus 20A. Hal ini ditunjukkan oleh grafik arus *arc discharge* yang terus berkelanjutan setelah *peak* kedua, sedangkan pada percobaan sebelumnya arus *arc* lebih banyak turun menjadi 0A dan sulit untuk stabil dalam waktu yang cukup lama.

#### 4.3 Percobaan Arc Discharge Pada 40A

Pada percobaan ke tiga catu daya diatur pada nilai arus 40A. Data hasil *monitoring* pada Gambar 4.3 menunjukkan bahwa plasma *arc discharge* mengalami kondisi *on-off* sebanyak empat kali yang ditandai dengan jumlah *first peak*nya. Nilai arus pada *first peak*nya masing-masing yaitu 117A, 125A, 104A, dan 108A. Nilai arus pada *first peak*nya meningkat dibandingkan dengan percobaan sebelumnya. Sedangkan arus pada plasma *arc discharge* stabil pada rentang nilai

40A. Sedangkan *drop* tegangan pada setiap *first peak*nya masih sama seperti percobaan sebelumnya, yaitu pada rentang nilai tegangan 25V-21V.



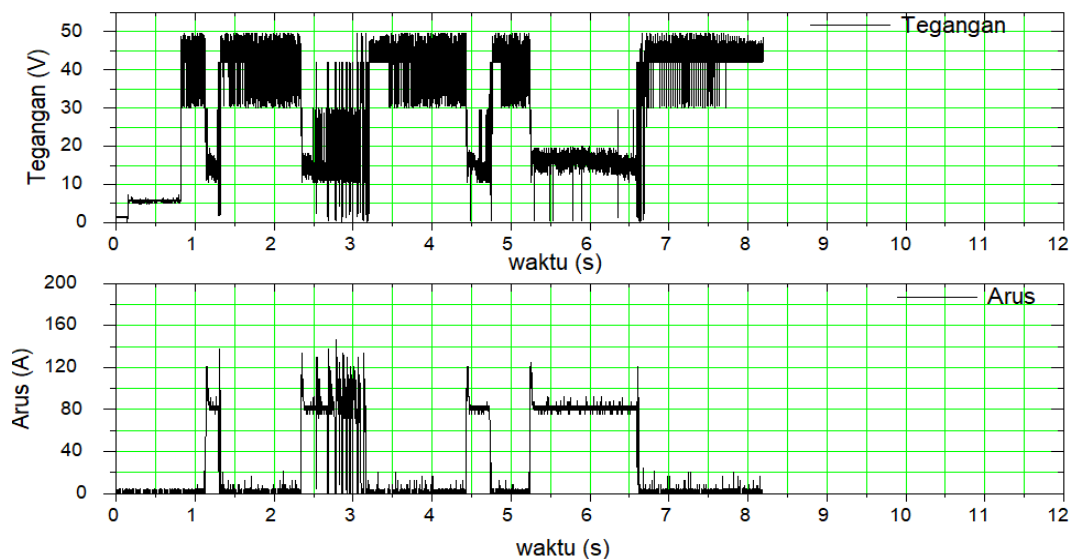
Gambar 4. 3 Grafik Arus dan Tegangan pada Arus 40A

Pada grafik arus terlihat bahwa arus plasma *arc discharge* lebih halus, hal ini menunjukkan bahwa *input* arus 40A merupakan nilai *input* arus yang tepat untuk pembentukan plasma *arc discharge*. Hal ini dikarenakan arus yang lebih rendah dari 40A menghasilkan *spot anode* yang menyebabkan perilaku busur lebih tidak stabil.

#### 4.4 Percobaan Arc Discharge Pada 70A

Pada percobaan ke empat catu daya diatur pada nilai arus *input* 70A. Data hasil percobaan pada Gambar 4.4 menunjukkan bahwa nilai arus pada *first peak*nya meningkat dibandingkan pada percobaan sebelumnya. Nilai arus pada *first peak*nya mencapai 120A-130A, setelah melewati *frist peak* plasma terbentuk secara kontinu yang ditandai dengan nilai arus yang cenderung stabil pada 80A. Hal ini terjadi karena adanya kemungkinan *human error* saat mengatur arus *input* pada *inverter* yang digunakan sebagai catu daya. Pada alat *inverter* tidak ditampilkan skala arus nya, hanya tertera nilai arus minimum hingga maksimal nya yaitu 10-160A. Sehingga ada kemungkinan terjadi kesalahan pada saat mengatur nilai arus *input*nya yang seharusnya 70A menjadi 80A. Nilai tegangan pada *first peak* nya mengalami penurunan tegangan yang sangat bervariasi yaitu pada rentang 24V-29V juga dapat turun secara signifikan hingga 10V. Hal ini dikarenakan pada *cathode*

*zone fall* dan *anode zone fall* memiliki karakteristik gradien penurunan tegangan yang lebih curam.



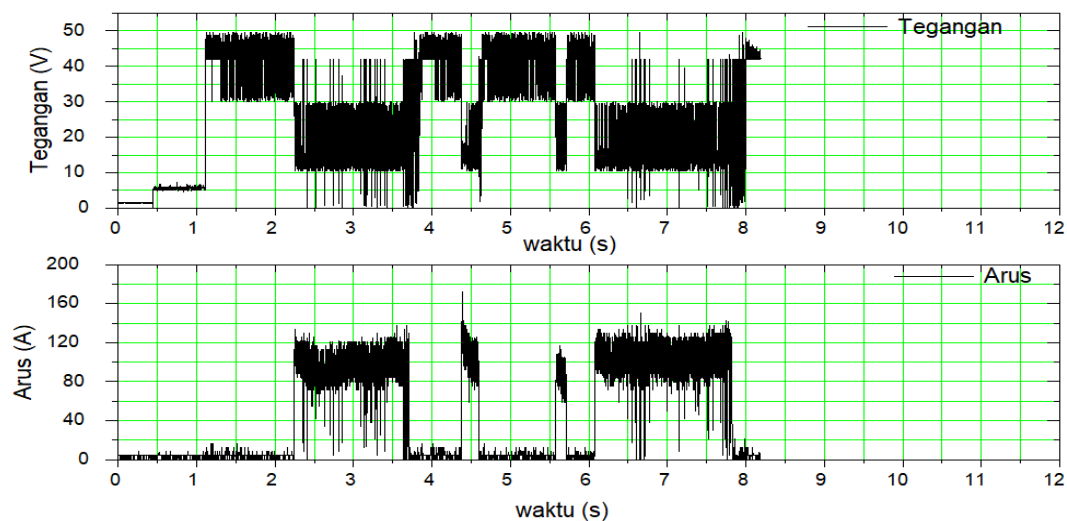
Gambar 4. 4 Grafik Arus dan Tegangan pada Arus 40A

Pada grafik arus terlihat jarak antara *first peak-to-first peak*nya sangat berdekatan. Hal ini menunjukkan kondisi dimana pembentukan plasma *arc discharge* tidak stabil dikarenakan posisi tangan yang tidak tetap (bergetar). Sehingga menyebabkan plasma *arc discharge on-off* atau redup dalam waktu yang singkat.

#### 4.5 Percobaan Arc Discharge Pada 100A

Pada percobaan ke lima catu daya diatur pada nilai arus 100A. Data hasil percobaan pada Gambar 4.5 menunjukkan bahwa arus *arc discharge* meningkat sangat signifikan sehingga tidak terlihat perbedaan antara arus pada *first peak* dengan arus plasma *arc discharge* pada kondisi stabil seperti pada grafik percobaan sebelumnya. Nilai arus pada *first peak*nya berada pada rentang arus 130A-150A, dengan nilai arus *first peak* tertinggi mencapai 170A. Hal ini disebabkan karena saat pembentukan plasma *arc discharge* terjadi *short circuit*, yaitu keadaan pada saat kedua elektroda terhubung (menempel). Sedangkan tegangan pada saat *first peak* mengalami penurunan yang cukup ekstrem yaitu dari nilai 49V pada keadaan sebelum terjadi *arc discharge* menjadi 10V-14V. Hal ini menunjukkan bahwa pada

plasma *arc discharge* semakin tinggi nilai arusnya maka semakin *drop* nilai tegangannya.



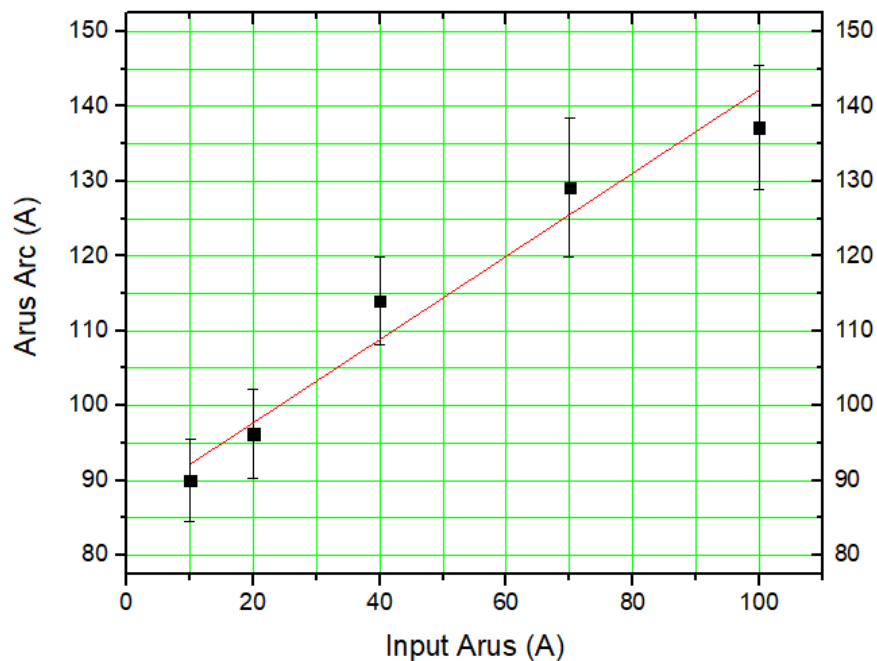
Gambar 4. 5 Grafik Arus dan Tegangan pada Arus 100A

Pada grafik arus *arc discharge* menggunakan arus *input* 100A sulit mengamati kondisi plasma saat *on-off* karena jarak antara *peak-to-peak*nya sangat rapat. Dengan membandingkan grafik arus *arc discharge* pada percobaan sebelumnya, kondisi plasma pada *input* arus 100A mengalami banyak fase penurunan arus yang tidak mencapai nilai 0A kemudian segera mengalami peningkatan arus secara signifikan. Hal ini menunjukkan kondisi plasma meredup tetapi tidak sampai *off*.

#### 4.6 Arus Maksimal Rata-rata

Data hasil *monitoring* arus yang telah didapatkan, kemudian diklasifikasikan berdasarkan variasi arus *input* yang diberikan. Nilai arus pada setiap *first peak* dari masing-masing percobaan dihitung menjadi nilai rata-rata beserta standar nilai deviasinya. Data hasil arus rata-rata pada *first peak* merupakan nilai arus maksimal yang diperoleh pada masing-masing percobaan dengan lima variasi *input* yang berbeda. Grafik arus maksimal rata-rata dari masing-masing percobaan ditunjukkan oleh Gambar 4.6. Pada grafik terlihat bahwa tren arus pada *first peak*nya meningkat seiring dengan meningkatnya nilai arus input yang diberikan. Menggunakan input arus 10A, 20A, 40A, 70A dan 100A menghasilkan nilai arus maksimal rata-rata yang nilainya masing-masing 89A, 96A, 113A, 129A, dan 137A. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai arus *input* yang diberikan maka semakin

tinggi pula nilai arus *arc discharge* yang dihasilkan. Sehingga nilai arus *input* berbanding lurus terhadap nilai arus *arc discharge* yang dihasilkan.

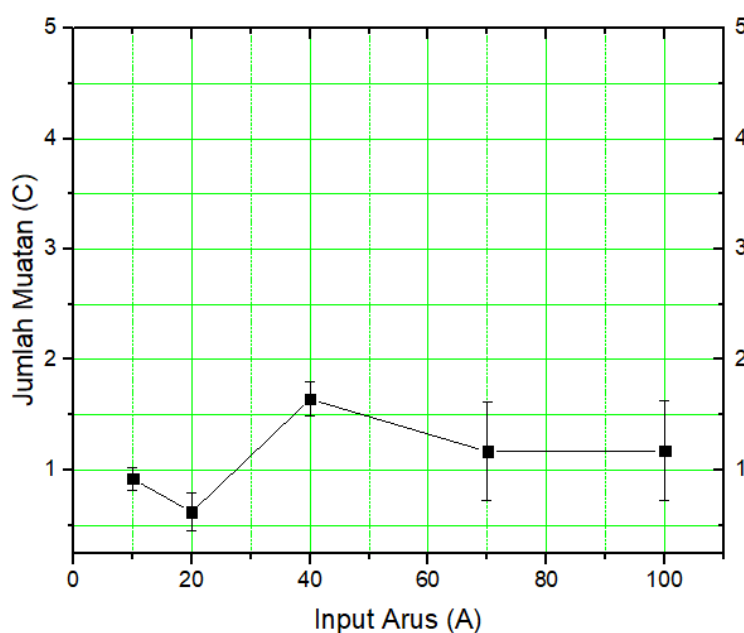


Gambar 4. 6 Grafik Arus *Arc Discharge* Maksimal Rata-rata

#### 4.7 Jumlah Muatan Pada *Peak* Pertama

Plasma *arc discharge* merupakan efek yang dihasilkan oleh gas yang terionisasi di antara celah antara dua elektroda. Gas yang terionisasi menandakan terdapat elektron bebas yang tidak terikat oleh molekul atau atom dan mengubah atom atau molekul di antara celah elektroda menjadi ion-ion bermuatan positif. Pada *arc discharge* arus yang mengalir merupakan penggabungan dari partikel bermuatan, yaitu elektron dan ion. Gambar 4.7 merupakan grafik jumlah muatan rata-rata yang mengalir dari katoda ke anoda pada saat *first peak* dari masing-masing percobaan. Data arus *arc discharge* yang pada setiap *first peak*nya dapat digunakan untuk menentukan jumlah muatan yang mengalir dari katoda ke anoda pada saat plasma *arc discharge* pertama kali terjadi. Perhitungan nilai muatan berdasarkan nilai arusnya dilakukan dengan persamaan 2.4. Nilai muatan yang didapat kemudian dijumlahkan sesuai dengan luas area pada arus *first peak*, sehingga didapatkan jumlah muatan pada saat arus *first peak*nya. Jumlah muatan tersebut kemudian dihitung menjadi nilai jumlah muatan rata-rata berdasarkan *input* arus yang diberikan. Dari hasil perhitungan didapat jumlah muatan yang mengalir pada arus

saat *first peak* pada percobaan 10A, 20A, 40A, 70A dan 100A masing-masing memiliki nilai 0,92C, 0,62C, 1,64C, 1,16C, 1,17C. Jumlah muatan paling banyak terdapat pada saat pembentukan *arc discharge* menggunakan arus *input* 40A. Dapat dilihat pada Gambar 4.3 percobaan menggunakan arus *input* 40A menghasilkan plasma *arc discharge* yang paling stabil diantara percobaan lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah muatan yang mengalir dari katoda ke anoda menyebabkan plasma *arc discharge* yang terbentuk lebih stabil. Jumlah muatan pada *first peak* tergantung pada besar kecilnya luas area arus saat plasma *arc discharge* pertama kali terjadi. Pada plasma *arc discharge* luas area arusnya berubah-ubah dan tidak konstan, sehingga jumlah muatan yang mengalir dari katoda ke anoda tidak bisa dipengaruhi oleh besar kecilnya *input* arus yang diberikan.

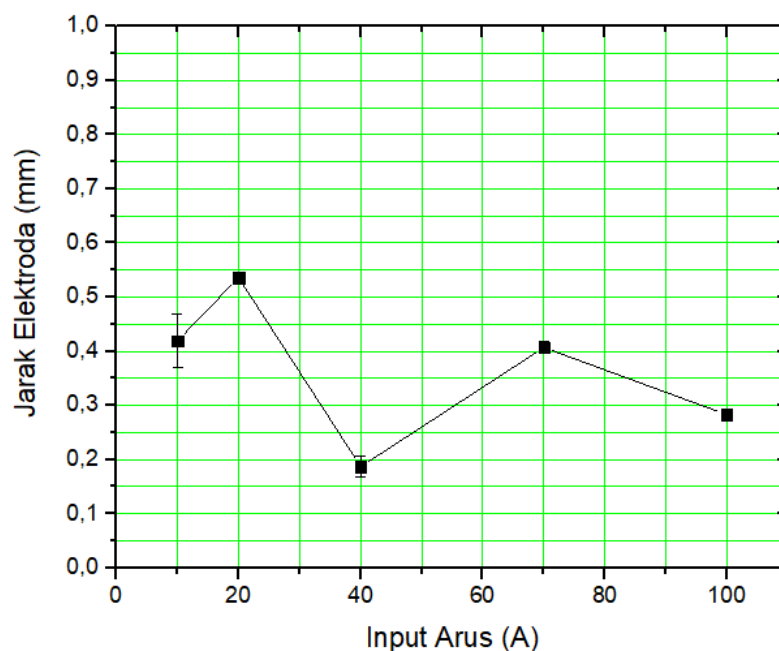


Gambar 4. 7 Grafik Jumlah Muatan Pada *First Peak*

Jumlah muatan yang mengalir dari katoda menuju anoda sangat dipengaruhi oleh jarak antara elektroda. Dengan menghitung jumlah muatan yang bergerak saat *arc dsicharge* terjadi maka kita dapat mengetahui berapa jarak antara elektroda yang dibutuhkan untuk memulai proses *arc discharge*.

#### 4.8 Jarak Antara Elektroda

Jarak antara elektroda merupakan elemen yang penting untuk terjadinya *arc discharge*. Elektroda harus diposisikan pada jarak sejauh  $d$  untuk menginisiasi *electrical breakdown* pada gas, sehingga gas menjadi media yang konduktif. Pada penelitian ini jarak antara elektroda didekatkan sedikit demi sedikit menggunakan tangan hingga plasma *arc discharge* terjadi. Setelah terjadi *arc discharge* jarak antara elektroda dijaga sedemikian mungkin agar plasma *arc discharge* terbentuk secara kontinu. Untuk mengetahui jarak antara elektroda saat terjadi *arc discharge* dilakukan perhitungan menggunakan persamaan 2.13. Gambar 4.8 merupakan grafik jarak antara elektroda rata-rata berdasarkan *input* arus yang diberikan. Jarak antara elektroda yang didapat pada percobaan 10A, 20A, 40A, 70A dan 100A masing-masing memiliki nilai 0,42mm, 0,57mm, 0,18mm, 0,41 mm, dan 0,28mm. Rentang jarak antara elektroda pada variasi *input* arus yang berbeda tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa tegangan *arc discharge* bukan fungsi linier dari jarak antara elektroda. Karena nilai perhitungan luas area pada *peak* pertama berubah, yaitu *peak* arus semakin kecil sehingga jumlah muatannya juga semakin semakin sedikit. Akibatnya nilai kapasitansi juga semakin kecil.



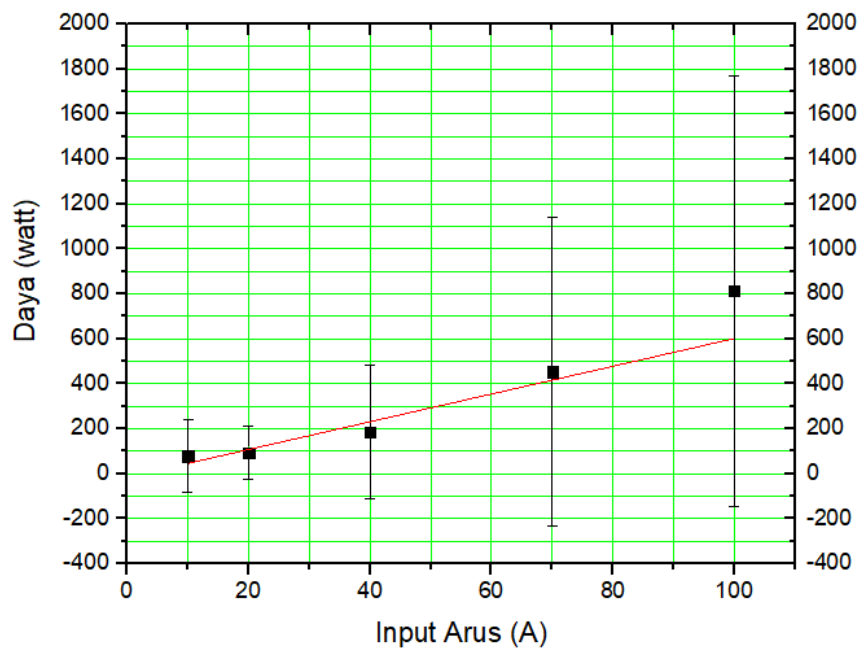
Gambar 4. 8 Grafik Jarak Celah Elektroda

Dalam hal ini luas area arus tidak konsisten selalu berubah. Apabila luas area arus tetap sama di setiap waktu maka  $d$  akan semakin jauh. Luas area arus yang semakin semakin besar maka jumlah muatan di dalamnya akan semakin banyak, kapasitansinya juga akan semakin besar, sehingga nilai  $d$  nya seharusnya semakin kecil. Karena luas are arusnya berubah ubah maka jarak antara elektroda tidak bisa diprediksi. Dengan demikian jarak dari elektroda ketika *peak* pertama tidak dipengaruhi oleh besar kecilnya arus.

#### 4.9 Konsumsi Daya Saat *Arc Discharge*

Plasma *arc discharge* merupakan metode yang digunakan untuk mensintesis partikel nano. Pada penelitian ini digunakan material karbon berbentuk silinder pejal untuk disintesis menjadi partikel berukuran nano. Sintesis material karbon dilakukan melalui proses pengikisan permukaan karbon di dalam air sehingga menghasilkan endapan partikel nano. Konsumsi daya merupakan jumlah energi yang dihasilkan pada saat proses *arc discharge* berlangsung. Energi listrik yang dihasilkan oleh *arc discharge* ini kemudian diubah menjadi energi panas untuk menghasilkan emisi termionik sehingga proses *arc discharge* dapat berlangsung. Untuk mengetahui nilai konsumsi daya pada *arc discharge* dilakukan perhitungan menggunakan persamaan 2.7. Setelah didapatkan nilai daya pada masing-masing percobaan dengan *input* arus yang berbeda, kemudian dilakukan perhitungan nilai daya rata-rata sehingga dapat dilihat perbandingan nilai daya terhadap *input* arus yang diberikan. Hasil perhitungan konsumsi daya rata-rata pada masing-masing *input* arus yang berbeda ditunjukkan oleh Gambar 4.9. Nilai daya pada percobaan 10A, 20A, 40A, 70A dan 100A masing-masing adalah 76watt, 92watt, 184watt, 453 watt, dan 812watt. Hal ini menunjukkan bahwa seiring dengan meningkatnya arus *input* yang diberikan maka nilai daya yang dihasilkan semakin besar. Sehingga nilai konsumsi daya pada *arc discharge* berbanding lurus terhadap nilai arus *input* yang diberikan. Pada plasma *arc discharge* energi listrik juga diubah menjadi energi cahaya. Pada percobaan semakin besar besar *input* arus yang diberikan maka menghasilkan cahaya yang semakin terang. Hal ini menunjukkan semakin besar daya yang dihasilkan pada *arc discharge* maka pancaran cahaya yang dihasilkan semakin kuat.

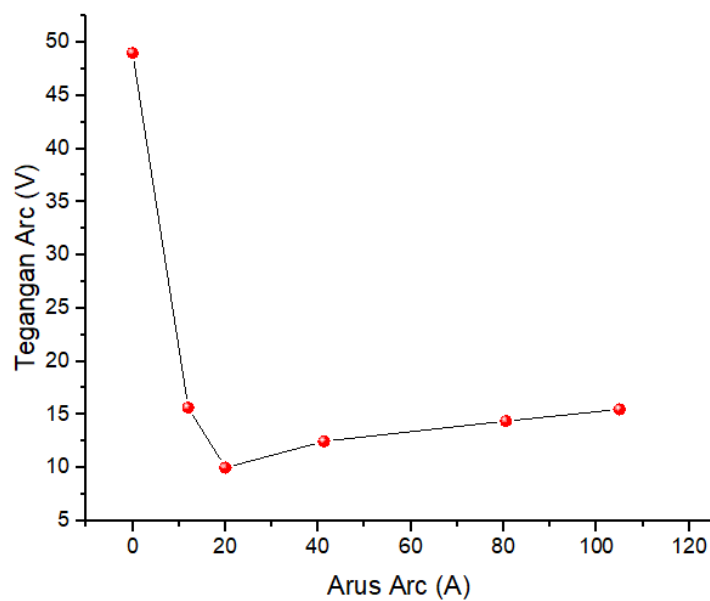




Gambar 4. 9 Grafik Konsumsi Daya Rata-Rata

#### 4.10 Karakteristik Arus Terhadap Tegangan

Plasma *arc discharge* memiliki karakteristik arus dan tegangan yang khusus. Nilai arus dan tegangan setelah melewati *first peak* dihitung menjadi nilai rata-rata. Data hasil perhitungan tersebut diolah dan ditampilkan sebagai grafik arus *arc discharge* terhadap tegangan.



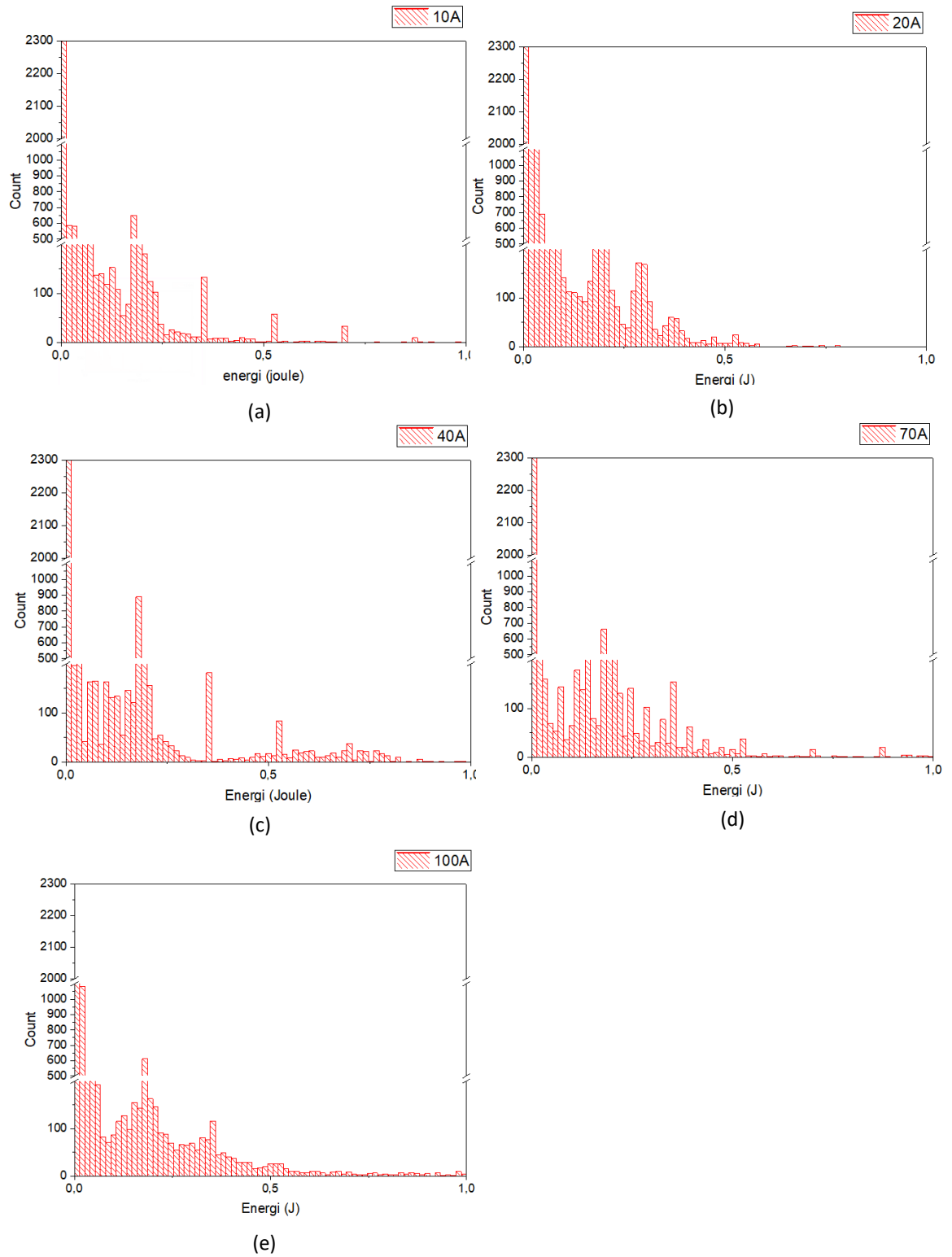
Gambar 4. 10 Karakteristik Arus Terhadap Tegangan

Berdasarkan Gambar 4.10 kita dapat melihat bahwa tegangan arc discharge awalnya menurun bersamaan dengan meningkatnya arus *arc* hingga mencapai nilai minimum dan kemudian meningkat. Tren seperti itu sesuai dengan data eksperimen seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.10 sebagai acuan dari karakteristik arus dan tegangan pada *arc discharge*.

#### 4.11 Energi Ionisasi

Ionisasi adalah proses paling penting dalam pembentukan *arc discharge* yang terjadi akibat emisi termionik. Elektron dari katoda akan bergerak menuju anoda dan elektron akan saling bertumbukan sehingga menghasilkan medan listrik yang besar namun tidak sama di antara elektroda. Selama perjalanannya elektron akan menumbuk molekul-molekul / atom-atom gas di antara elektroda sehingga terjadi proses ionisasi yaitu dimana elektron akan terlepas dari kulitnya karena adanya penambahan energi. Proses tumbukan secara terus-menerus akan menghasilkan guguran elektronik dan mengakibatkan ionisasi berantai. Jumlah energi yang dihasilkan agar terjadi proses ionisasi disebut sebagai energi ionisasi. Untuk mengetahui nilai energi ionisasi yang dihasilkan saat *arc discharge* dilakukan perhitungan menggunakan persamaan 2.8. Nilai daya yang telah didapatkan pada perhitungan sebelumnya digunakan untuk menentukan energi ionisasi pada selang waktu selama 1ms. Hasil dari nilai energi yang telah didapatkan di tampilkan dalam bentuk histogram untuk melihat persebaran nilai energinya. Gambar 4.11 merupakan perbandingan persebaran nilai energi ionisasi pada lima *input* arus yang berbeda. Energi ionisasi dipengaruhi oleh jenis gas yang digunakan untuk pembentukan plasma *arc discharge*. Pada penelitian ini jenis gas yang digunakan merupakan gas H<sub>2</sub>O dikarenakan pembentukan plasma *arc discharge* dilakukan di dalam air. Sehingga peningkatan arus *input* yang diberikan tidak mempengaruhi besar nya energi ionisasi. Pengaruh arus input terhadap energi ionisasi adalah semakin besar *input* arus yang diberikan maka persebaran data energi ionisasi yang dihasilkan semakin merata. Pada Gambar 4.11 a dan Gambar 4.11 b terlihat bahwa nilai energi ionisasi yang dihasilkan lebih banyak muncul pada nilai yang mendekati 0 Joule. Pada Gambar 4.11 c dan Gambar 4.11 d mulai terlihat persebaran energi ionisasi yang semakin ke kanan, hal ini ditandai dengan frekuensi

nilai energi yang semakin banyak. Pada Gambar 4.11 e terlihat persebaran energi yang paling merata dibandingkan dengan gambar sebelumnya.



Gambar 4. 11 Grafik Energi Ionisasi a) 10A b) 20A c) 40A d) 70A e) 100A

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan, yaitu

1. Telah berhasil merancang sistem pengukuran arus dan tegangan pada *arc discharge* di dalam air. Sistem *monitoring* arus dan tegangan menggunakan sensor arus WCS1500 sedangkan tegangan diukur langsung secara paralel menggunakan *differential probes* 1:10.
2. Karakteristik arus dan tegangan pada *arc discharge* memiliki hubungan yang berbanding terbalik, saat terjadi *arc discharge* arus akan naik sedangkan tegangannya turun. Pada lima kali percobaan dengan memberikan variasi arus yang berbeda yaitu, 10A, 20A, 40A, 70A dan 100A masing-masing memiliki jumlah *peak* arus yang berbeda-beda. Semakin tinggi *input* arus yang diberikan semakin tinggi pula arus *arc* yang dihasilkan. Berdasarkan data dan arus tegangan yang di dapat, kita dapat mengetahui jarak antara celah elektroda. Jarak antara elektroda pada lima percobaan berkisar antara 0,1mm-0,5mm.
3. Konsumsi daya pada *arc discharge* dipengaruhi oleh tegangan dan arus saat *first peak*. Konsumsi daya rata-rata pada *arc discharge* meningkat seiring dengan meningkatnya *input* arus. Pada input arus 10A, 20A, 40A, 70A dan 100A didapatkan nilai daya masing-masing 92watt, 76watt, 148watt, 453watt, 812watt.
4. Jenis *arc discharge* yang muncul pada penelitian ini merupakan peralihan jenis *arc discharge non-thermal* dan *arc discharge thermal*. Hal ini dikarenakan *arc discharge* saat *first peak* merupakan *arc discharge thermal* memiliki orde arus lebih dari 100A, sedangkan saat *arc discharge* stabil nilai arusnya memiliki orde 1A-100A.

## 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, ada beberapa saran untuk pelaksanaan penelitian selanjutnya agar penelitian ini dapat berkembang dan semakin bermanfaat

1. Menambahkan pengukuran data secara berulang yang lebih akurat untuk menghindari *error* selama dilakukan pengukuran.
2. Menambahkan variasi parameter lainnya agar hasil penelitian menjadi lebih valid
3. Menggunakan sensor yang memiliki *noise* lebih sedikit sehingga data yang dihasilkan lebih akurat

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. S. O. V. R. I. I. B. M. Keidar, "Mechanism of Carbon Nanostructure Synthesis In Arc Plasma," *Physics od Plasmas*, vol. 17, no. 5, p. 5, 2010.
- [2] A. B. S. Mohammed Abbas Virji, "A Review of Engineered Nanomaterial Manufacturing Processes and Associated Exposures. Comprehensive Materials Processing," in *Comprehensive Materials Processing, Health Safety and Environmental Issues*, Morgantown, Elsevier, 2014, p. 103.
- [3] N. Taniguchi, "On the Basic Concept of 'Nano Technology,'" Proc. Intl. Conf. Prod. Eng. Tokyo, Part II (Tokyo: Japan Society of Precision Engineering), Tokyo, 1974.
- [4] I. O. f. Standardization, "iso.org," ISO/TS 80004-1:2015 Nanotechnologies-Vocabulary-Core-Terms, 2015. [Online]. Available: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:ts:80004:-1:ed-2:v1:en>. [Accessed 3 Maret 2019].
- [5] N. P. Database, "statnano.com," [Online]. Available: <https://product.statnano.com/>. [Accessed 20 Maret 2020].
- [6] J. R. H. S. C. O. R. F. C. R. E. S. Harold Walter Kroto, "Buckminsterfullerene," *Nature* 318, pp. 162-163, 1985.
- [7] S. Iijima, "Helical microtubules of graphitic carbon," *Nature* 354, pp. 56 - 58, 1991.
- [8] M. Rokhim, "Indonesia Scholar Network," 2018 Mei 14. [Online]. Available: <https://isnet.or.id/karakteristik-dan-langkah-pembentukan-carbon-nanotube-cnt/>. [Accessed 25 Maret 2020].
- [9] J. S.-l. S. Z.-q. XING Gang, "The production of carbon nano-materials by arc discharge under water or liquid nitrogen," *NEW CARBON MATERIALS*, vol. 22, no. 4, p. 1, 2007.
- [10] M. K. S. M. A. ., A. A. A. S. S. A. I. Z. J. A. A. Ashkarran, "On the Formation of TiO<sub>2</sub> Nanoparticles Via Submerged Arc Discharge Technique: Synthesis, Characterization and Photocatalytic Properties," *Journal of Cluster science*. 21(4), p. 755, 2010.
- [11] M. L. J. S. A. & K. M. Kundrapu, "A model of carbon nanotube synthesis in arc discharge plasmas," *Journal of Physics D: Applied Physics*, p. 1, 2012.

- [12] M. & K. M. Kundrapu, "Numerical simulation of carbon arc discharge for nanoparticle synthesis," *Physics of Plasmas*, 19(7), p. 1, 2012.
- [13] A. A. Ashkarran, "Metal and Metal Oxide Nanostructures Prepared by Electrical Arc Discharge Method in Liquids," *Journal of Cluster Science* 22(2), p. 238, 2011.
- [14] A. S. O. S. O. V. R. I. I. B. M. Keidar, "Mechanism of carbon nanostructure synthesis in arc plasma," *Physics of Plasmas* 17(5), pp. 1-8, 2010.
- [15] Z. P. G. N. M. Y.-D. M. Nagatsu, "Volt-ampere characteristics of a nitrogen DC plasma arc with anode melting," *Chinese Physics B* 22(6), pp. 1-9, 2013.
- [16] M. K. K. H. Z. A. Bahaa T. Chaid, "Discharge Characteristics on the Synthesis of Carbon Nanostructures through Arc-Plasma in Water," *Eng.&Tech. Journal*, vol. 32, pp. 1120-1126, 2014.
- [17] A. A. E. V. V. I. D A Mylnikov, "Investigation of the Energy Balance in the Spark Discharge," *Journal of Physics*, pp. 1-6, 2017.
- [18] I. W. A. W. I. M. S. Pande Putu Teguh Winata, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Output dan Pencatatan Data pada Panel Surya Berbasis Mikrokontroler Arduino," *E-Journal SPEKTRUM*, vol. 3, pp. 1-6, 2016.
- [19] A. H. B. S. Zainul As'adi, "Sistem Monitoring Arus dan Tegangan pada Baterai Kendaraan Bermotor (Accu) Berbasis ARDUINO UNO. . <https://ac.id/>. ISSN : 2527 –5917, Vol.2.," *jurnal unej*, vol. 2, pp. 1-6, 2017.
- [20] Flanker, "Wikipedia," 27 Februari 2017. [Online]. Available: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e6/Phase\\_change\\_-\\_id.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e6/Phase_change_-_id.svg). [Accessed 10 Maret 2020].
- [21] "plasma-uiverse.com," [Online]. Available: <https://www.plasma-universe.com/electric-glow-discharge/>. [Accessed 17 September 2019].
- [22] M. NUR, *Buku Fisika plasma dan aplikasinya*, Semarang: Badan Penerbit UNDIP PRESS, 2011.
- [23] R. Wüthrich, *Micromachining Using Electrochemical Discharge Phenomenon*, Canada: Elsevier, 2009.
- [24] M. H. Gert den Ouden, *Welding Technology*, Delft: VSSD, 2009.
- [25] R. Iffländer, "Gas Discharge Lamps for Laser Excitation (2nd edition)," 2008. [Online]. Available: [http://www.ifflander.net/books/book\\_4.html](http://www.ifflander.net/books/book_4.html). [Accessed 13 April 2020].

- [26] P. November, "Wikipedia," 11 Mei 2008. [Online]. Available: [https://id.wikipedia.org/wiki/Berkas:Capacitor\\_schematic\\_with\\_dielectric.svg](https://id.wikipedia.org/wiki/Berkas:Capacitor_schematic_with_dielectric.svg). [Accessed 13 Juli 2020].
- [27] C. P. S. Z. D. B. M. L. G. L. L. K. M. K. M. Corbella Roca, "Pulsed anodic arc discharge for the synthesis of carbon nanomaterials," *Plasma Sources Science and Technology*, pp. 3-4, 2019.
- [28] J. Zavašnik, "Researchgate," 26 November 2019. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/post/graphitic\\_layers\\_distance](https://www.researchgate.net/post/graphitic_layers_distance). [Accessed 13 Juli 2020].
- [29] V. Singh, Examination of Electric Arc Behavior in Open, Espoo: Aalto University, 2012.
- [30] C. Damayanti, Skripsi analisis spektrum udara pada sumber elektron berbasis katoda plasma (SENKP) dengan monokromator Jobin YVON H25, Yogyakarta: UNY, 2012.
- [31] D. C. H. F. A. ., E. P. Achmad Burhanuddin, Sistem Monitoring Pemakaian Tinta Via Web Di PT. TEMPRINA (JAWA POS), Surabaya: Teknik Elektronika PENS – ITS, 2011.
- [32] W. I. U. Nadya Hidayatie, "Karakterisasi Sensor Hall Effect Sebagai Sensor Magnetik Pada Prototipe Penjelajah Pengukur Medan Magnet dengan Sistem Kendali Android," in *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF*, Malang, 2017.
- [33] A. R. J. E. S. Suryono, "Karakterisasi Sensor Magnetik Efek Hall UGN3503 Terhadap Sumber Magnet dan Implementasinya pada Pengukuran Massa.," *Berkala Fisika*, vol. 12, p. 2, 2009.
- [34] A. R. d. Z. Saufy, "Karakterisasi Sensor Efek Hall UGN3503 Untuk Mengukur Kemiringan," *IJEIS*, vol. 1, p. 26, 2011.
- [35] Suprianto, "blog.unnes.ac.id," 13 Oktober 2015. [Online]. Available: <http://blog.unnes.ac.id/antosupri/half-effect-sensor-ugn3503u/>. [Accessed 9 November 2019].
- [36] A. R. Haryawan, Desain Konverter C-DUMP Tipe Energy Efficient Untuk Motor Switched Relutance.... Halaman 22-23., Semarang: Universitas Katolik Soegijapranata, 2019.
- [37] A. Kumar, Hall-Effect Current Sensors for Power Electronic Applications: Design and Performance Validation, Bangalore: Indian Institute of Science Bangalore, 2014.



- [38] L. Dianzi, “en.logoele.com,” [Online]. Available: [http://en.logoele.com/products\\_detail/productId=51.html](http://en.logoele.com/products_detail/productId=51.html). [Accessed 6 April 2019].
- [39] E. C. D. Search, “alldatasheet.com,” [Online]. Available: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/714461/WINSON/WCS1500.html>. [Accessed 10 Januari 2019].
- [40] E. K. H. G. Afrizal Fitriandi, “Rancang Bangun Alat Monitoring Arus dan Tegangan Berbasis Mikrokontroler dengan SMS Gateway,” *Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, vol. 10, p. 89, 2016.
- [41] AliExpress, “aliexpress.com,” [Online]. Available: <https://id.aliexpress.com/i/32424274043.html>. [Accessed 10 Januari 2019].
- [42] R. Akbar, Rancang Bangun Alat Monitoring Tegangan, Arus, Daya, kWh, Serta Estimasi Biaya Pemakaian Peralatan Listrik pada Rumah Tangga, Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia, 2018.
- [43] Aidan, “Core Electronics,” 15 Juni 2017. [Online]. Available: <https://core-electronics.com.au/tutorials/arduino-ide-tutorial.html>. [Accessed 19 Februari 2020].