

**PENGARUH TEKANAN GAS ARGON TERHADAP PERILAKU
PLASMA**

TESIS

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI SISTEM TENAGA LISTRIK

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Magister Teknik**



DAVID SUBAN KOTEN

NIM 136060300111002

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2017

PENGARUH TEKANAN GAS ARGON TERHADAP PERILAKU PLASMA

TESIS



Oleh:

Nama : DAVID SUBAN KOTEN
NIM : 136060300111002
Program Magister : Teknik Elektro
Minat : Sistem Tenaga Listrik

Naskah seminar hasil tesis ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
Pada tanggal _____

Ketua,

Anggota,

Ir. Wijono, M.T., Ph.D.
NIP. 1962111 119803 1 003

Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc.
NIP. 19640626 199002 1 001

Mengetahui,
Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro

Dr.Eng. Panca Mudjirahardjo, ST., MT.
NIP. 19700329 200012 1 001

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2017**

JUDUL TESIS:

**PENGARUH TEKANAN GAS ARGON TERHADAP PERILAKU
PLASMA**

Nama Mahasiswa : David Suban Koten
NIM : 136060300111002
Program Studi : Program Magister Teknik Elektro
Minat : Sistem Tenaga Listrik

KOMISI PEMBIMBING :

Ketua : Ir. Wijono, M.T., Ph.D.
Anggota : Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc.

TIM DOSEN PENGUJI :

Dosen Penguji 1 : Dr.Eng. Panca Mudjirahardjo, ST., MT.
Dosen Penguji 2 : Dr-Ing. Onny Setyawati, S.T., M.T., M.Sc.

Tanggal Ujian : 3 November 2017
SK Penguji : 1461 Tahun 2017

PERNYATAAN ORISINALITAS PENELITIAN TESIS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Tesis ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Tesis ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Tesis dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 20 Juli 2017

Mahasiswa,

DAVID SUBAN KOTEN

NIM. 136060300111002

*Karya Ilmiah ini kutujukan kepada
Ayah, Ibu, dan Istri tercinta,
serta kedua anakku, Ayu dan Haikal*

RIWAYAT HIDUP



David Suban Koten, Ebak, 26 Juli 1979, anak dari Michael Lewo Koten dan Ibu Kelara Timu Kelen (Almarhumah), SD Negeri Ebak Tanjung, SMP PGRI Kupang, dan SMK Negeri 2 Kupang lulus tahun 2000. Studi D3 Teknik Elektro Politeknik Negeri Kupang lulus tahun 2003. Studi S1 Teknik Elektro Universitas Nusa Cendana lulus tahun 2011. Melanjutkan studi program Magister (S2) di Program Magister Teknik Elektro Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya pada tahun 2013-2017.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyelesaian penelitian tesis ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih setulusnya kepada:

1. Ir. Wijono, M.T., Ph.D. selaku pembimbing utama yang senantiasa memberikan arahan dan garis besar di setiap bimbingan sehingga mendorong semangat penulis dalam penelitian tesis ini.
2. Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc. selaku pembimbing kedua yang telah menyediakan waktu untuk membimbing, mengarahkan, memberi petunjuk dengan sabar, arif, dan penuh ketulusan.
3. Waru Djuriatno, S.T., M.T. yang selalu memberikan bimbingan dan bantuan serta petunjuk dengan penuh ketulusan pada saat pengerjaan alat generator plasma.
4. Dr.Eng. Panca Mudjirahardjo, ST., MT., selaku Ketua Program Magister Teknik Elektro yang memberikan kemudahan dan kelancaran melaksanakan perkuliahan S2 Magister.
5. M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro yang memberikan kemudahan dalam menyelesaikan tesis ini.
6. Dr.Eng. Panca Mudjirahardjo, ST., MT. dan Dr-Ing. Onny Setyawati, S.T., M.T., M.Sc., selaku Tim Penguji, terima kasih atas saran dan masukan atas tesis ini.
7. Para dosen pengajar dan karyawan Program Magister Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
8. Teman-teman dari STL angkatan 2013 yang telah banyak membantu.
9. Ibu dan Ayah tercinta, atas doa dan kasih sayang yang tulus serta motivasi yang tiada hentinya sehingga dapat mengantarkan penulis untuk menyelesaikan perkuliahannya.
10. Istri dan anak-anakku yang selalu memberi semangat dan dukungan serta doa dalam menyelesaikan tesis ini.

Malang, November 2017

Penulis

RINGKASAN

David Suban Koten, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2017, *Pengaruh Tekanan Gas Argon Terhadap Perilaku Plasma*, Dosen Pembimbing: Wijono dan Rini Nur Hasanah.

Plasma merupakan gas yang terionisasi, yaitu substansi yang elektron-elektronnya keluar dari orbit tiap atom dan dapat dibuat dengan cara memanaskan gas atau dengan cara memaparkan medan elektromagnetik yang cukup kuat menggunakan laser atau pembangkit gelombang mikro. Masalah utama dalam pembuatan reaktor plasma adalah bagaimana merancang sistem reaktor plasma yang mempunyai tekanan yang rendah (*vacuum*) dan menghasilkan debit plasma yang tinggi.

Metode yang umum digunakan dalam pembangkitan plasma pada dunia industri adalah CCP (*capacitively coupled plasma*). Metode CCP adalah metode yang menggunakan dua elektroda logam yang terpisah dalam jarak yang cukup dekat dan ditempatkan di dalam sebuah reaktor. Tekanan gas dalam reaktor tersebut bisa sama atau lebih rendah dari tekanan atmosfer.

Dalam penelitian ini diulas bagaimana merancang generator plasma tegangan tinggi, sehingga dapat memasok tegangan arus searah (DC) untuk membangkitkan plasma di dalam ruangan reaktor yang berisi gas argon tekanan rendah. Selain itu pada penelitian ini juga dilakukan analisa tegangan *breakdown* sampai ditemukan *plotting* hubungan antara tegangan *breakdown* dengan tekanan gas dan jarak antar elektroda. Diharapkan *plotting* tersebut bisa disesuaikan dengan kurva sesuai dengan Hukum Paschen dan mendapatkan hasil yang mendekati kurva ideal.

Pada penelitian ini, desain generator plasma telah berhasil dirancang, yang meliputi catu daya dengan pengatur tegangan masukan, ruangan reaktor, elektroda dari bahan tembaga dengan tiga bentuk (bola, plat sejajar, dan jarum) yang bisa diatur jaraknya, pompa vakum, *reservoir* argon, instalasi pemipaan, serangkaian katup vakum, voltmeter, amperemeter, dan barometer. Plasma telah berhasil dibangkitkan oleh generator tersebut, yang mana dalam hal ini hanya memakai sebagian kecil dari tegangan maksimal yang mampu dihasilkan oleh catu daya, yaitu 300 V dari kapasitasnya sebesar 2000 V. Dari pengambilan data yang telah dilakukan, tegangan *breakdown* untuk jarak antar elektrode dan tekanan argon tertentu telah berhasil digambar dalam bentuk titik-titik pada grafik. Persamaan Kurva Paschen menggunakan Hukum Paschen menghasilkan model kurva yang mendekati hasil pengambilan data dengan nilai MSE 12.654,49 (menggunakan nilai $A = 16 \text{ Pa}\cdot\text{m}^{-1}$, $B = 125 \text{ V}\cdot\text{Pa}\cdot\text{m}^{-1}$, dan $\gamma_{SE} = 1,32$). Sedangkan pendekatan polinomial mampu menghasilkan model kurva dengan nilai MSE 2,54 (menggunakan $V_B = 0,1168 \cdot (pd)^6 - 2,5984 \cdot (pd)^5 + 23,461 \cdot (pd)^4 - 108,67 \cdot (pd)^3 + 264,42 \cdot (pd)^2 - 291,36 \cdot pd + 329,26$) yang sangat mendekati hasil pengamatan.

Kata kunci : plasma, reaktor, elektroda, argon, Paschen, tegangan *breakdown*.

SUMMARY

David Suban Koten, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, July 2017, *Influence of Argon Gas Pressure on Plasma Characteristic*, Academic Supervisor: Wijono and Rini Nur Hasanah.

Plasma is ionized gas, i.e. a substance which the electrons excited completely out from the atomic orbit. To create such substance, it is needed to introduce some sort of energy into the electrons until reaching the ionization energy, and can be done by heating up the gas or by bombarding of high-energy electromagnetic field using laser or microwave generator. The main challenge to create a plasma reactor is to develop low gas pressure whilst maintaining high current plasma.

Common method used in plasma generating in the industrial world is CCP (capacitively coupled plasma). This method uses a pair of metal electrodes arranged in close distance inside a reactor. The gas pressure inside the reactor is then set to atmospheric pressure or lower.

This research analyzes the technique for developing high voltage DC plasma generator in order to supply reactor chamber to generate plasma in low pressure argon environment. Furthermore, this research does the analyzing of breakdown voltage to plot it against gas pressure and distance between electrodes. To make a comparison between experimental plotting and the Paschen Law is the objective of this research.

This research successfully built a plasma generator, which consists of variable power supply, reactor chamber, adjustable copper electrodes with three type of shapes (sphere, parallel sheet, and needle), vacuum pump, argon reservoir, pipeline installation, sets of vacuum valves, voltmeter, amperemeter, and barometer. The plasma generator generated plasma as expected by the design concept, with only a fraction of its maximum voltage capacity, i.e. 300 V out of 2000 V. From the experiment result, the breakdown voltage value for specific electrodes distance and argon pressure has been plotted. The theoretical curve based on Paschen Law produced MSE value of 12,654.49 (using value of $A = 16 \text{ Pa}\cdot\text{m}^{-1}$, $B = 125 \text{ V}\cdot\text{Pa}\cdot\text{m}^{-1}$, and $\gamma_{SE} = 1,32$), while the polynomial method produced MSE value of 2.54 (using $V_B = 0,1168 \cdot (pd)^6 - 2,5984 \cdot (pd)^5 + 23,461 \cdot (pd)^4 - 108,67 \cdot (pd)^3 + 264,42 \cdot (pd)^2 - 291,36 \cdot pd + 329,26$) as a small error against the previous one.

Keywords : plasma, reactor, electrode, argon, Paschen Law, breakdown voltage

KATA PENGANTAR

Perkembangan teknologi telah mencapai taraf yang sangat cepat, di mana aplikasinya pada dunia nyata dengan mudah mencapai taraf komersialisasi. Hal ini tidak luput dari perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya pada bidang fisika, yang menjadi dasar dari semua teknologi yang ada saat ini. Salah satu ilmu pengetahuan yang sedang berkembang cukup pesat adalah tentang plasma, yang memiliki penerapan mulai dari energi, industri, transportasi, hingga menyentuh bidang bisnis dan rumah tangga. Oleh karenanya plasma merupakan salah satu bidang penelitian yang cukup terbuka lebar untuk para peneliti.

Melalui penelitian ini dicoba untuk mengulas tentang perilaku plasma yang dipengaruhi oleh pengaruh tekanan gas argon. Penelitian ini juga diajukan sebagai tesis dalam rangka menyelesaikan studi di Program Magister Teknik Elektro di Universitas Brawijaya Malang bidang keahlian Sistem Tenaga Listrik.

Diharapkan penelitian ini membuka jalan bagi penelitian lain untuk menyempurnakan hasil yang telah diperoleh serta pengembangan aplikasi dari plasma. Tinjauan dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan demi peningkatan kesempurnaan dan lebih berguna bagi perkembangan ilmu pengetahuan khususnya dan bagi masyarakat umumnya.

Malang, November 2017

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN	ii
IDENTITAS TIM PENGUJI TESIS	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS PENELITIAN TESIS	iv
LEMBAR PERSEMBAHAN	v
RIWAYAT HIDUP	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	ix
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
BAB I - PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	4
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Batasan Masalah	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
BAB II - TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Penelitian Terdahulu	5
2.2. Dasar Teori.....	9
2.2.1. Plasma	9
2.2.2. Proses Terjadinya Plasma	12
2.2.2.1. Keseimbangan Muatan.....	13
2.2.2.2. Pelepasan Elektrik dalam Gas.....	15
2.2.2.3. Pelepasan Elektrik Korona.....	19
2.2.2.4. Medan Listrik pada Elektron Titik-Bidang.....	21
2.2.3. Tegangan Breakdown pada Gas.....	22
2.2.4. Hukum Paschen	25
2.2.5. Tegangan Tinggi Arus Searah	26
2.2.6. Intensitas Medan Listrik	27
2.2.6.1. Potensial Medan Listrik	29
2.2.6.2. Distribusi Medan Listrik.....	30
2.2.6.3. Elektroda Penghasil Medan Listrik.....	31
2.2.6.4. Faktor Efisiensi Medan Listrik pada Berbagai Bentuk Geometris Elektroda	31
2.2.7. Tabung Vakum.....	32
2.2.8. Gas Argon	33

2.2.9.	Pompa Vakum	34
2.2.10.	Mean Squared Error.....	35
BAB III - KERANGKA KONSEP PENELITIAN.....		37
3.1.	Deskripsi Masalah	37
3.2.	Variabel Penelitian	39
3.3.	Diagram Sistem Generator Plasma.....	40
3.4.	Hipotesis	40
BAB IV - METODE PENELITIAN		43
4.1.	Tahapan Penelitian	43
4.1.1.	Perancangan Alat.....	44
4.1.2.	Blok Diagram Sistem Generator Plasma	45
4.2.	Pembuatan Alat.....	46
4.3.	Metode Pengujian Sistem Generator Plasma.....	49
4.4.	Analisis Rangkaian	50
4.5.	Tahapan Pengujian	53
4.6.	Pengamatan Variabel.....	53
BAB V - HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		55
5.1.	Alat Penelitian	55
5.1.1.	Catu Daya (Power Supply)	57
5.1.2.	Reaktor Plasma	58
5.1.3.	Alat Pendukung	59
5.2.	Pengambilan Data.....	61
5.2.1.	Tahapan Pengambilan Data	61
5.2.2.	Proses Pengambilan Data	63
5.2.2.1.	Pengambilan Data pada Jarak Elektroda 0,25 cm	67
5.2.2.2.	Pengambilan Data pada Jarak Elektroda 0.50 cm	69
5.2.2.3.	Pengambilan Data pada Jarak Elektroda 0,75 cm	71
5.2.2.4.	Pengambilan Data pada Jarak Elektroda 1,00 cm	73
5.2.2.5.	Pengambilan Data pada Jarak Elektroda 1,25 cm	75
5.2.2.6.	Pengambilan Data pada Jarak Elektroda 1,50 cm	77
5.2.2.7.	Pengambilan Data pada Jarak Elektroda 1,75 cm	79
5.2.2.8.	Pengambilan Data pada Jarak Elektroda 2.00 cm	81
5.2.2.9.	Rata-rata Semua Data	83
5.3.	Kontur Plasma pada Reaktor	88
5.4.	Pencarian Kurva Paschen Ideal	94
5.4.1.	Pendekatan Polinomial	95
5.4.2.	Pendekatan Hukum Paschen.....	105
5.5.	Analisis Pengambilan Data.....	108
BAB VI - KESIMPULAN DAN SARAN		111
6.1.	Kesimpulan.....	111
6.2.	Saran	111

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Nilai <i>sparking</i> minimum macam-macam gas.	25
Tabel 2.2	Kontanta bahan.....	31
Tabel 2.3	Klasifikasi vakum.....	32
Tabel 5.1	Rencana pengaturan tekanan pada pengambilan data setiap jarak elektroda tertentu.....	62
Tabel 5.2	Contoh pengamatan tegangan terhadap arus pada tekanan 0,8 Torr, jarak elektroda 0,25 cm, menggunakan elektroda jarum.	65
Tabel 5.3	Pengambilan data <i>breakdown voltage</i> pada jarak elektroda 0,25 cm.	68
Tabel 5.4	Pengambilan data <i>breakdown voltage</i> pada jarak elektroda 0,50 cm.	70
Tabel 5.5	Pengambilan data <i>breakdown voltage</i> pada jarak elektroda 0,75 cm.	72
Tabel 5.6	Pengambilan data <i>breakdown voltage</i> pada jarak elektroda 1,00 cm.	74
Tabel 5.7	Pengambilan data <i>breakdown voltage</i> pada jarak elektroda 1,25 cm.	76
Tabel 5.8	Pengambilan data <i>breakdown voltage</i> pada jarak elektroda 1,50 cm.	78
Tabel 5.9	Pengambilan data <i>breakdown voltage</i> pada jarak elektroda 1,75 cm.	80
Tabel 5.10	Pengambilan data <i>breakdown voltage</i> pada jarak elektroda 2,00 cm.	82
Tabel 5.11	Gabungan rata-rata data <i>breakdown voltage</i> dari masing-masing jarak elektroda dan jenis elektroda jarum.	84
Tabel 5.12	Gabungan rata-rata data <i>breakdown voltage</i> dari masing-masing jarak elektroda dan jenis elektroda bola.....	84
Tabel 5.13	Gabungan rata-rata data <i>breakdown voltage</i> dari masing-masing jarak elektroda dan jenis elektroda plat.....	85
Tabel 5.14	Data pendekatan polinomial orde 2.....	97
Tabel 5.15	Data pendekatan polinomial orde 3.....	99
Tabel 5.16	Data pendekatan polinomial orde 4.....	101
Tabel 5.17	Data pendekatan polinomial orde 5.....	103
Tabel 5.18	Pendekatan polinomial orde 6.....	105
Tabel 5.19	Data pendekatan Hukum Paschen dengan menggunakan nilai A sebesar $16 \text{ Pa}\cdot\text{m}^{-1}$, B sebesar $240 \text{ V}\cdot\text{Pa}\cdot\text{m}^{-1}$, dan γ_{SE} sebesar 1,32.	107
Tabel 5.20	Hasil lengkap nilai rata-rata semua pengambilan data ketiga jenis elektroda.....	109

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Keempat wujud materi: padat, cair, gas, dan plasma.....	10
Gambar 2.2	Contoh terjadinya plasma pada petir.....	11
Gambar 2.3	Gaya pemulih dari keadaan netral.....	15
Gambar 2.4	Tabung pelepasan gas.	17
Gambar 2.5	Karakteristik hubungan V dan I pada pelepasan elektrik dalam gas.....	18
Gambar 2.6	Pelepasan elektrik korona dalam gas argon yang sangat murni.	20
Gambar 2.7	Daerah ionisasi dan aliran pada pelepasan pijar korona.	21
Gambar 2.8	Kuat medan listrik sebagai fungsi jarak.....	22
Gambar 2.9	Susunan elektroda untuk Townsend <i>discharge</i>	22
Gambar 2.10	Kurva Paschen untuk berbagai jenis gas.....	26
Gambar 2.11	Penyearah gelombang penuh dengan elemen rangkaian ideal, (a) rangkaian, (b) kurva tegangan keluaran tanpa kapasitor perata, (c) kurva tegangan keluaran dengan kapasitor perata C.....	27
Gambar 2.12	Vektor gasis medan listrik yang ditimbulkan oleh muatan listrik (a) satu titik muatan positif, (b) satu titik muatan negatif, (c) dua muatan yang sejenis, (d) dua muatan yang tak sejenis.....	28
Gambar 2.13	Arah gaya listrik pada proton dan elektron.....	29
Gambar 2.14	Potensial medan listrik antara dua elektroda.	30
Gambar 2.15	Jenis-jenis elektro penghasil medan tinggi.	31
Gambar 2.16	Pelepasan elektrik gas argon.....	33
Gambar 2.17	Konstruksi pompa vakum.	35
Gambar 3.1	Konsep penelitian.....	38
Gambar 3.2	Skema Penelitian.....	40
Gambar 4.1	Diagram Metode Penelitian	43
Gambar 4.2	Rangkaian catu daya generator plasma.....	44
Gambar 4.3	Bentuk keluaran catu daya gelombang penuh.	45
Gambar 4.4	Blok diagram sistem generator plasma.....	45
Gambar 4.5	Desain sistem generator plasma.....	49
Gambar 4.6	Diagram metode pengujian perilaku plasma.....	50
Gambar 4.7	Plat sejajar (a) dan grafik variasi arus sebagai fungsi tegangan (b).....	51

Gambar 4.8	Grafik kurva Paschen yang merupakan hubungan antara tegangan dan tekanan-jarak.	53
Gambar 5.1	Catu daya dengan masukan 220 VAC dan keluaran berupa tegangan mulai dari 0 VDC hingga 2000 VDC.....	55
Gambar 5.2	Reaktor plasma yang digunakan dalam penelitian.....	56
Gambar 5.3	Gabungan alat penelitian yang digunakan pada pengambilan data.	57
Gambar 5.4	Tombol putar untuk mengatur tegangan pemasok reaktor plasma.	57
Gambar 5.5	Pompa vakum untuk melakukan evakuasi gas.....	59
Gambar 5.6	Barometer dengan ketelitian 0,1 Torr.	60
Gambar 5.7	<i>Reservoir</i> gas argon.....	60
Gambar 5.8	Osiloskop yang digunakan untuk memantau tegangan pasokan.....	61
Gambar 5.9	Proses pengambilan data <i>breakdown voltage</i>	64
Gambar 5.10	Salah satu percobaan ketika terjadi plasma di dalam reaktor.....	66
Gambar 5.11	Hubungan arus terhadap tegangan <i>input</i> pada reaktor plasma, tekanan gas argon 0,8 Torr, jarak antar elektroda jarum 0,25 cm.	67
Gambar 5.12	Pengambilan data tegangan <i>breakdown</i> gas argon untuk elektroda pada jarak 0,25 cm.....	69
Gambar 5.13	Pengambilan data tegangan <i>breakdown</i> gas argon untuk elektroda pada jarak 0.50 cm.....	71
Gambar 5.14	Pengambilan data tegangan <i>breakdown</i> gas argon untuk elektroda pada jarak 0,75 cm.....	73
Gambar 5.15	Pengambilan data tegangan <i>breakdown</i> gas argon untuk elektroda pada jarak 1,00 cm.....	75
Gambar 5.16	Pengambilan data tegangan <i>breakdown</i> gas argon untuk elektroda pada jarak 1,25 cm.....	77
Gambar 5.17	Pengambilan data tegangan <i>breakdown</i> gas argon untuk elektroda pada jarak 1.50 cm.....	79
Gambar 5.17	Pengambilan data tegangan <i>breakdown</i> gas argon untuk elektroda pada jarak 1,75 cm.....	81
Gambar 5.18	Pengambilan data tegangan <i>breakdown</i> gas argon untuk elektroda pada jarak 2,00 cm.....	83
Gambar 5.19	Pengambilan data tegangan <i>breakdown</i> gas argon untuk semua data elektroda jarum jarak 0,25 cm hingga 2,00 cm.....	86
Gambar 5.20	Pengambilan data tegangan <i>breakdown</i> gas argon untuk semua data elektroda bola jarak 0,25 cm hingga 2,00 cm.	87
Gambar 5.21	Pengambilan data tegangan <i>breakdown</i> gas argon untuk semua data elektroda plat jarak 0,25 cm hingga 2,00 cm.	87

Gambar 5.22	Intensitas medan listrik pada elektroda bola dengan jarak 1 cm dan tegangan 200 V.	88
Gambar 5.23	Hasil <i>plotting</i> intensitas medan listrik elektroda bola dengan jarak 1 cm dan tegangan 200 V.	89
Gambar 5.24	Hasil <i>plotting</i> fluks medan listrik elektroda bola dengan jarak 1 cm dan tegangan 200 V.	89
Gambar 5.25	Intensitas medan listrik pada elektroda plat tebal 0,5 mm panjang 65 mm dengan jarak 1 cm dan tegangan 200 V.	90
Gambar 5.26	Hasil <i>plotting</i> intensitas medan listrik elektroda plat tebal 0,5 mm panjang 65 mm dengan jarak 1 cm dan tegangan 200 V.	91
Gambar 5.27	Hasil <i>plotting</i> fluks medan listrik elektroda plat tebal 0,5 mm panjang 65 mm dengan jarak 1 cm dan tegangan 200 V.	91
Gambar 5.28	Intensitas medan listrik pada elektroda jarum dengan jarak 1 cm dan tegangan 200 V.	92
Gambar 5.29	Hasil <i>plotting</i> intensitas medan listrik elektroda jarum dengan jarak 1 cm dan tegangan 200 V.	93
Gambar 5.30	Hasil <i>plotting</i> fluks medan listrik elektroda jarum dengan jarak 1 cm dan tegangan 200 V.	93
Gambar 5.31	Hasil <i>plotting</i> tegangan <i>breakdown</i> rata-rata dari semua jarak eksperimen.	95
Gambar 5.32	Hasil pendekatan polinomial orde 2.	96
Gambar 5.33	Hasil pendekatan polinomial orde 3.	98
Gambar 5.34	Hasil pendekatan polinomial orde 4.	100
Gambar 5.35	Hasil pendekatan polinomial orde 5.	102
Gambar 5.36	Hasil pendekatan polinomial orde 6.	104
Gambar 5.37	Pendekatan Hukum Paschen dengan $A = 16 \text{ Pa}\cdot\text{m}^{-1}$, $B = 125 \text{ V}\cdot\text{Pa}\cdot\text{m}^{-1}$, dan $\gamma_{SE} = 1,32$, dengan batas tegangan <i>breakdown</i> minimal sebesar 200 V.	106
Gambar 5.38	Pendekatan Hukum Paschen dengan $A = 16 \text{ Pa}\cdot\text{m}^{-1}$, $B = 125 \text{ V}\cdot\text{Pa}\cdot\text{m}^{-1}$, dan $\gamma_{SE} = 1,32$, dengan batas tegangan <i>breakdown</i> minimal sebesar 0 V.	108
Gambar 5.39	Nilai pengambilan data tegangan <i>breakdown</i> gas argon rata-rata dari jarak elektroda 0.25 cm hingga 2.00 cm untuk elektroda jarum, bola, dan plat.	110