Rancang Bangun *Power Supply* untuk Mesin *Electrical Discharge Machining* (EDM)

Skripsi

disajikan sebagai salah satu syarat

untuk memperoleh gelar Sarjana Sains

Program Studi Fisika

oleh

Astrid Setiani

4211411021

JURUSAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2015

PERNYATAAN

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi yang berjudul **"Rancang Bangun *Power Supply* untuk Mesin *Electrical Discharge Machine* (EDM)"** disusun berdasarkan hasil penelitian saya dengan arahan dosen pembimbing. Sumber informasi atau kutipan yang berasal dari karya yang diterbitkan telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam daftar pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Semarang, 30 Juli 2015

METERAI TEMPEL

2DD9BADF217663279

6000

ENAM RIBU RUPIAH

Astrid Setiani

4211411021

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

Rancang Bangun *Power Supply* untuk Mesin *Electrical Discharge Machine* (EDM)

disusun oleh

Astrid Setiani

4211411021

telah dipertahankan dihadapan Sidang Panitia Ujian Skripsi FMIPA UNNES pada tanggal 30 Juli 2015

Panitia

Ketua

Prof. Dr. Wiyanto,M.Si
NIP. 196310121988031001

Sekretaris

Dr. Khumaedi, M.Si
NIP. 196306101989011002

Ketua Penguji

Drs. Sukiswo Supeni Edie, M.Si.
NIP. 195610291986011001

Anggota Penguji/
Pembimbing I

Prof. Dr. Susilo, M.Si.
NIP. 196607051990031002

Anggota Penguji/
Pembimbing II

Sunarno, S.Si., M.Si.
NIP. 196306101989011002

MOTTO

"Semua mimpi kita dapat menjadi kenyataan, bila kita memiliki keberanian untuk mengejarnya."

(**Walt Disney**)

"Orang pesimistis melihat kesulitan dalam setiap kesempatan; orang optimistis melihat kesempatan dalam setiap kesulitan."

(**Winston Churchill**)

PERSEMBAHAN

Untuk Bapak, Ibu, Kakak, dan adikku

Sahabat-sahabatku

Bapak-Ibu Dosen

PRAKATA

Bismillahirrohmanirrohim,

Segala puji milik Tuhan semesta alam berkat rahmat dan bimbinganNya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi dengan judul "Rancang Bangun *Power Supply* untuk Mesin *Electrical Discharge Machine* (EDM)" dengan tepat waktu. Skripsi ini disusun dalam rangka penyelesaian studi Strata 1 untuk memperoleh gelar Sarjana Fisika S1 pada Universitas Negeri Semarang.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak, maka penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M. Hum., selaku Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Prof. Dr. Wiyanto, M.Si., selaku Dekan FMIPA Universitas Negeri Semarang.
3. Dr. Khumaedi, M.Si., selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang.
4. Dr. Agus Yulianto, M.Si., selaku Kepala Prodi Fisika Universitas Negeri Semarang.
5. Prof. Dr. Susilo, M.Si, selaku pembimbing I yang telah membimbing dengan penuh kesabaran serta meluangkan waktu untuk selalu memberi masukan, saran, dan motivasi selama penyusunan skripsi.

6. Sunarno, S.Si., M.Si., selaku pembimbing II yang telah membimbing dengan penuh kesabaran serta memberikan masukan, saran dan motivasi selama penyusunan skripsi.
7. Asisten Laboratorium Fisika: R. Muttaqin, S.Si., Wasi Sakti Wiwit P., S.Pd., Natalia Erna S., S.Pd., dan Nurseto yang telah membantu selama proses penelitian skripsi ini.
8. Ian Yulianti, M.Eng., selaku dosen wali yang telah memberikan masukan, saran, dan motivasi.
9. Bapak dan Ibu dosen beserta staf Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang.
10. Bapak dan Ibu tersayang atas segala doa yang selalu dipanjatkan, semangat yang selalu diberikan, kesabaran yang selalu dicurahkan dan dukungan moril maupun materil yang tak henti-hentinya diberikan.
11. Kakakku Deni Setiawan dan Adikku Wildan Setiawan yang selalu menjadi motivasi dan semangat terbesarku.
12. Fisika Elins 2011 : Rohmad, Dea, Hamida, Andi, Udin, dan Kevin yang menjadi teman diskusi selama mengerjakan skripsi.
13. Teman-teman Fisika Medik 2011 : Ana, Icha, Alvin, dan Dwi yang telah memberikan dukungan yang luar biasa serta tambahan pengetahuan dalam penelitian.
14. Sahabat-sahabatku: Dewi, Tyas, Handika, Azkabela, A'imatul, Kristian, Noni, dan Fauziah yang telah memberikan dukungan dan semangat saat terpuruk dan putus asa.

15. Keluarga Fisika 2011, terima kasih atas kerja sama dan kebersamaannya selama 4 tahun ini, semoga kita akan menjadi keluarga untuk selamanya.
16. Keluarga Wisma Puteri Pertiwi: Hany, Eti, Tia, Ita, Dila, Ratih, Eva, Hesty, dan yang lainnya, terima kasih untuk kebersamaan kita, kalian menjadi teman diskusi dan berkeluh kesah dalam perjuangan menyelesaikan skripsi.
17. Erfan Santoso yang selalu mengingatkan untuk menghadapi setiap masalah dan jangan pernah menyerah dengan keadaan.
18. Keluarga Persaudaraan Setia Hati Terate yang selalu memberi dukungan dan semangat yang tiada henti.
19. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, terima kasih untuk selalu memberikan bantuan moral dan spiritual.

Penulis juga memohon maaf apabila dalam penyusunan skripsiini ada beberapa kekurangan dan kealahan. Penulis sadar dengan apa yang telah disusun masih banyak kekurangan dan jauh dari sempurna. Untuk itu penulis menerima segala kritik dan saran yang sifatnya membangun untuk skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Semarang, 30 Juli 2015

Penulis

ABSTRAK

Setiani, Astrid. 2015**.** *Rancang Bangun Power Supply untuk Mesin Electrical Discharge Machine (EDM).* Skripsi, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Utama Prof. Dr. Susilo, M.Si. dan Pembimbing Pendamping Sunarno, S.Si., M.Si.

Kata kunci: *Power supply*, nilai R_o, EDM, perubahan nilai arus.

Telah dilakukan pembuatan *power supply* untuk mesin *electrical discharge machining* (EDM). Penelitian dilaksanakan dalam tiga tahapan, yaitu pembuatan transformator, *power supply*, dan *prototype* EDM. Untuk mengetahui karakterisasi dari *power supply*, dilakukan pengujian alat secara bertahap diawali dengan pengujian tahanan isolasi pada transformator, pengujian kestabilan tegangan pada *power supply*, dan pengujian *prototype* EDM. Hasil pengukuran dari transformator yang dibuat mampu mengeluarkan tegangan 0V, 12 V, 34 V, dan arus 10 A dengan hasil pengujian tahanan isolasi menunjukkan transformator tersebut aman bekerja pada daerah 220 V. *Power supply* yang dibuat memiliki tegangan keluaran sebesar 35 V hingga 52 V. Tegangan keluaran yang terukur bersifat stabil dengan uji pembebanan menghasilkan nilai hambatan (impedansi resitif) keluaran $R_o = 1{,}7\ \Omega$. Besar nilai R_o yang didapat menunjukkan adanya jatuh tegangan yang disebabkan oleh arus beban yang mengalir pada beban penguji yang digunakan. Hasil pengamatan selama proses pengujian EDM menunjukkan kinerja EDM dapat dilihat pada perubahan nilai arus selama proses berlangsung, dimana plat baja telah berlubang ketika nilai arus mulai mengalami kenaikan.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI ii

HALAMAN PENGESAHAN iii

MOTTO DAN PERSEMBAHAN iv

PRAKATA v

ABSTRAK viii

DAFTAR ISI ix

DAFTAR TABEL xii

DAFTAR GAMBAR xiii

DAFTAR LAMPIRAN xv

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Permasalahan 3

1.3 Pembatasan masalah 3

1.4 Tujuan Penelitian 4

1.5 Manfaat Penelitian 4

1.6 Sistematika Penulisan 4

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Power Supply* 6

2.2 Transformator 8

2.3 *Rectifier* 14

2.4 Filter 16

2.5 *Electrical Discharge Machining* (EDM)..... 17

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian 22

3.2 Alat dan bahan 22

3.3 Metode Penelitian 23

3.4 Analisis Perhitungan Transformator 25

3.5 Pembuatan Transformator 28

3.2.1 Pengujian Transformator 29

3.6 Desain dan Perencanaan *Power Supply* 30

3.3.1 Deskripsi Kerja *Power Supply* 31

3.7 Pengujian *Power Supply* 32

3.4.1 Pengujian Kestabilan Tegangan Tanpa Beban 32

3.4.2 Pengujian Kestabilan Tegangan dengan Beban 33

3.5 Pengujian EDM 34

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pembuatan Transformator 35

4.1.1 Uji Ketahanan Isolasi 36

4.2 Pembuatan *Power Supply* 37

4.2.1 Uji Kestabilan Tegangan Tanpa Beban 38

4.2.2 Uji Kestabilan Tegangan Dengan Beban 40

4.3 Pengujian EDM 41

BAB 5 PENUTUP

5.1 Simpulan 47

5.2 Saran 48

DAFTAR PUSTAKA 49

LAMPIRAN 51

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Spesifikasi transformator 35

Tabel 4.2 Data uji ketahanan isolasi 36

Tabel 4.3 Spesifikasi *power supply* 37

Tabel 4.4 Data pengujian EDM dengan variasi konsentrasi larutan 42

Tabel 5.1 Data uji kestabilan tegangan tanpa beban selama 24 jam 55

Tabel 5.2 Data uji kestabilan tegangan dengan beban 56

Tabel 5.3 Data uji EDM pada plat baja dengan tebal 1,22 mm 59

Tabel 5.4 Data uji EDM pada plat baja dengan tebal 2,41 mm 59

Tabel 5.5 Data uji EDM pada plat baja dengan tebal 3,21 mm 60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 *Linear Regulator* 7

Gambar 2.2 Rangkaian dasar *switching regulator*..... 7

Gambar 2.3 (a) Lambang transformator (b) Skema transformator berteras besi 9

Gambar 2.4 Prinsip kerja transformator..... 10

Gambar 2.5 *Rectifier* setengah gelombang dengan dioda ideal..... 15

Gambar 2.6 *Rectifier* gelombang penuh dengan empat dioda 15

Gambar 2.7 *Rectifier* gelombang penuh dengan dua dioda 16

Gambar 2.8 Filter dengan kapasitor 17

Gambar 2.9 Dasar komponen EDM 18

Gambar 2.10 *Spark* dalam saluran ion 19

Gambar 3.1 Diagram alir proses penelitian 24

Gambar 3.2 Ukuran kern 26

Gambar 3.3 Bagian-bagian selongsong 29

Gambar 3.4 *Insulation resistence tester* 30

Gambar 3.5 Diagram blok catu daya 30

Gambar 3.6 Skema *power supply* dengan IC regulator LM317 31

Gambar 3.7 Rangkaian dengan keluaran diberi beban R_L 33

Gambar 3.8 Grafik uji pembebanan 34

Gambar 4.1 Bagian-bagian trafo (a) *output* primer; (b) *output* sekunder; (c) inti besi (kren); (d) koker; (e) gulungan kawat..... 35

Gambar 4.2 Grafik kestabilan tegangan tanpa beban 39

Gambar 4.3. Grafik karakterisasi pembebanan *power supply* 40

Gambar 4.4. Skema EDM 42

Gambar 4.5 Hasil uji EDM dengan variasi konsentrasi larutan dielektrik (a) 0,2 M; (b) 0,4 M; (c) 0,6 M; (d) 0,8 M; (e) 1 M 43

Gambar 4.6 Grafik hubungan perubahan arus terhadap waktu pada plat baja dengan ketebalan (a) 1,22mm; (b) 2,41 mm; (c) 3,21 mm 45

Gambar 5.1 Pengujian tahanan isolasi pada bagian primer transformator 54

Gambar 5.2 Pengujian tahanan isolasi pada bagian sekunder transformator... 54

Gambar 5.3 Pengujian kestabilan tegangan dengan beban 56

Gambar 5.4 Alat yang digunakan selama proses penelitian 58

Gambar 5.5 Proses dan hasil uji EDM 61

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil perhitungan rencana pembuatan transformator 51

Lampiran 2. Uji tahanan isolasi transformator 54

Lampiran 3. Data uji kestabilan tegangan tanpa beban 55

Lampiran 4. Uji kestabilan tegangan dengan beban 56

Lampiran 5. Hasil perhitungan konsentrasi larutan NaCl 57

Lampiran 6. Alat yang digunakan selama proses penelitian 58

Lampiran 7. Data uji EDM dengan variasi ketebalan plat 59

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era globalisasi, teknologi dan ilmu pengetahuan berkembang sangat pesat. Diantaranya telah banyak dikembangkan logam-logam baru yang memiliki tingkat kekerasan, keuletan, dan kekuatan yang lebih tinggi. Berbagai kendala akan terjadi pada saat logam-logam tersebut digunakan dalam proses pemesinan. Selain tuntutan terhadap kualitas kekasaran permukaan, ketelitian, dan kepresisian geometri produk menjadi salah satu tujuan utama dari proses pemesinan, bentuk-bentuk benda kerja yang semakin kompleks juga menjadi kendala tersendiri.

Oleh karena itu, proses pemesinan non-konvensional perlu digunakan untuk mengatasi kendala-kendala tersebut. Proses pemesinan non-konvensional yang banyak digunakan saat ini salah satunya adalah *electrical discharge machining* (EDM). Berbeda dengan teknik *machining* konvensional yang memakai pisau pemotong, EDM membentuk benda kerja dengan cara memanfaatkan lompatan bunga api listrik (*electrical discharge* atau *spark*) yang terjadi antara benda kerja (*workpiece*) dengan elektroda dalam cairan dielektrik (Jameson, 2001: 1). Bunga api listrik ini menimbulkan panas yang sangat tinggi sehingga mengerosi benda kerja.

Beberapa orang telah melakukan penelitian yang berhubungan dengan EDM antara lain, Singh *et al*. (2013) tentang ”*Experimental investigation of*

surface integrity of cobalt bonded tungsten carbide (Wc-Co) using EDM process material', dengan hasil puncak arus EDM mempengaruhi *material removal rate* (MRR) dan *surface roughness* (SR), semakin meningkatnya puncak arus maka MRR juga akan semakin meningkat namun hal itu berbanding terbalik dengan nilai SR. Gapsari *et al*. (2011), meneliti tentang pengaruh besar arus listrik pada *Wire* EDM terhadap *profile error involute* roda gigi lurus, hasilnya adalah bahwa besar arus listrik berpengaruh terhadap penyimpangan geometri *profile*, dimana nilai *profile error involute* meningkat seiring bertambahnya besar arus listrik. Mahamat *et al*. (2011), menunjukkan bahwa faktor *gap voltage* dan *peak current* memiliki pengaruh yang paling efektif pada kekasaran permukaan.

Proses EDM tidak terpengaruh oleh kekerasan, keuletan, maupun kekuatan benda kerja, tetapi dipengaruhi oleh *melting point* dari benda kerja. Salah satu parameter yang paling berpengaruh terhadap kinerja mesin EDM adalah kuat arus dan tegangan dari *power supply* mesin EDM. Besarnya kuat arus dan tegangan mempengaruhi kecepatan lompatan bunga api listrik dalam pengambilan material benda kerja. Tingkat pengambilan material sangat penting dalam EDM, sehingga untuk memiliki sistem *power supply* yang sesuai dan mampu menghasilkan benda kerja dengan kualitas yang bagus sangatlah penting.

Untuk mengetahui karakteristik *power supply* yang tepat dalam memaksimalkan kerja mesin EDM, maka perancangan dan pembuatan *power supply* untuk mesin EDM perlu dilakukan. Selain itu, juga melakukan perancangan dan pembuatan transfomator yang mampu mensuplai daya sesuai kebutuhan *power supply*.

Penelitian ini akan berfokus pada perancangan dan pembuatan *power supply* sebagai sumber tegangan dan arus untuk mesin EDM. Dari paparan latar belakang ini maka diambil judul ”**Rancang Bangun *Power Supply* untuk Mesin *Electrical Discharge Machining* (EDM)”**.

1.2 Permasalahan

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka permasalahan yang menjadi fokus kajian dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana merancang dan mewujudkan transformator untuk *power supply* ?
2. Bagaimana merancang dan mewujudkan *power supply* untuk mesin EDM ?
3. Bagaimana hasil kerja dari mesin EDM ?

1.3 Pembatasan Masalah

Pada penelitian ini perlu dilakukan pembatasan masalah agar ruang lingkup masalah yang akan diteliti tidak meluas. Pembatasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Pengujian transformator menurut SPLN’50 (1982) ada tiga macam pengujian, yaitu pengujian rutin, pengujian jenis, dan pengujian khusus. Pada penelitian ini hanya akan dilakukan pengujian rutin yaitu pengujian tahanan isolasi.
2. Elektroda yang digunakan dalam *prototype* EDM adalah logam tembaga, benda kerja yang digunakan adalah plat baja ST 37, dan cairan dielektriknya adalah NaCl.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Membuat dan mengkarakterisasi trafo.
2. Membuat dan mengkarakterisasi *power supply*.
3. Melakukan pengujian terhadap *prototype* EDM dan mengetahui kinerjanya.

1.5 Manfaat Penelitian

Berdasarkan uraian latar belakang dan tujuan yang telah disebutkan di atas dapat diperoleh manfaat dalam penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi dan pengetahuan tentang perancangan, pembuatan, dan karakterisasi trafo dan *power supply*.
2. Memberikan tambahan pemahaman tentang mesin EDM dan teknologinya yang sedang berkembang saat ini.
3. Menjadikan acuan untuk riset selanjutnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi disusun dan dibagi menjadi tiga bagian untuk memudahkan pemahaman tentang struktur dan isi skripsi, yaitu bagian pendahuluan skripsi, bagian isi skripsi, dan bagian akhir isi skripsi.

1. Bagian pendahuluan skripsi, terdiri dari halaman judul, sari (abstrak), halaman pengesahan, moto dan persembahan, kata pengantar, daftar isi, daftar gambar, daftar tabel, dan daftar lampiran.

2. Bagian isi skripsi, terdiri dari lima bab yang tersusun dengan sistematika sebagai berikut :

   BAB 1. Pendahuluan, berisi alasan pemilihan judul, permasalahan, pembatasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika skripsi.

   BAB 2. Landasan Teori, berisi tentang teori-teori pendukung penelitian.

   BAB 3. Metode Penelitian, berisi desain dan perancangan *power supply*, analisis perhitungan transformator, pengujian transformator, pengujian *power supply*, dan analisis.

   BAB 4. Hasil Penelitian dan Pembahasan, dalam bab ini dibahas tentang hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan.

   BAB 5. Penutup yang berisi tentang kesimpulan hasil penelitian yang telah dilakukan serta saran-saran yang berkaitan dengan hasil penelitian.

3. Bagian akhir skripsi memuat tentang daftar pustaka yang digunakan sebagai acuan dari penulisan skripsi.

BAB 2

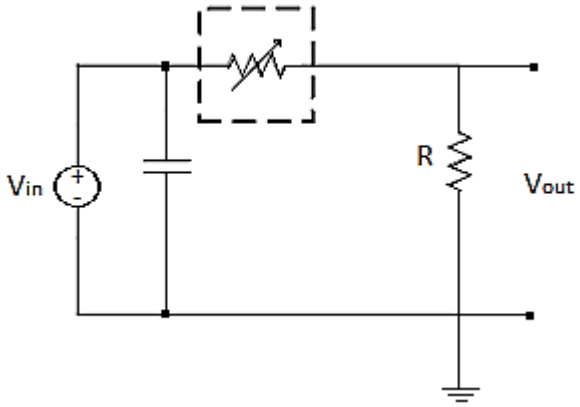
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Power Supply*

Power Supply adalah sebuah perangkat atau sistem yang memasok listrik atau energi ke *output* yang dihubungkan pada beban atau kelompok beban. Perangkat elektronika mestinya dicatu oleh *power supply* DC (*Direct Current*) yang stabil agar dapat bekerja dengan baik. Baterai adalah sumber *power supply* DC yang paling baik. Namun untuk aplikasi yang membutuhkan daya lebih besar, daya dari baterai tidak mencukupi. Sumber daya yang besar adalah sumber arus bolak-balik AC (*Alternating Current*) dari PLN. Untuk itu diperlukan suatu perangkat yang dapat mengubah arus AC menjadi arus DC. Berdasarkan teknik regulasi, terdapat dua jenis *power supply* yaitu *linier regulated power supply* dan *switching regulated power supply*.

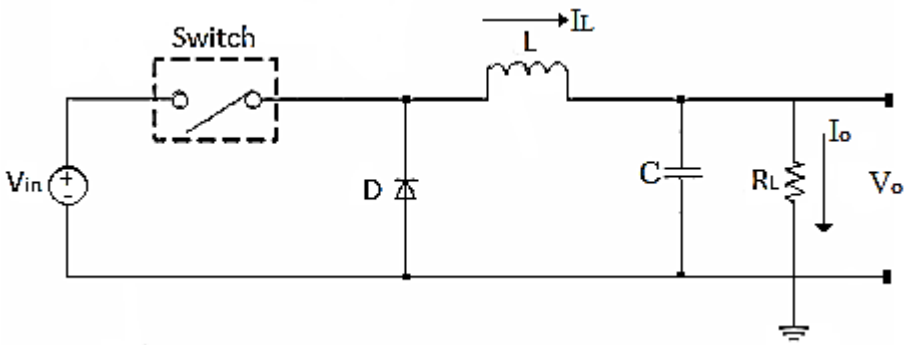
Liniear regulator digunakan sebagai bagian dari *power supply* sederhana untuk arus tinggi yang terdiri atas jaringan pembangkit tegangan acuan, jaringan pengendali, dan komponen elektronika daya. Pembangkit tegangan acuan (Vi) menyediakan tegangan acuan yang tidak terpengaruh perubahan tegangan masukan dan tidak terpengaruh perubahan suhu. Bagian kendali terdiri dari jaringan umpan balik dan penguat. Pada Gambar 2.1 hambatan dari *linear regulator* bervariasi sesuai dengan hambatan beban sehingga menghasilkan

tegangan output konstan. *Liniear regulator* menurunkan kelebihan tegangan dan mengurangi *ripple* yang dihasilkan dari tegangan input.



Gambar 2.1 *Linear Regulator* (Rahman, 2007: 3).

Pengaturan tegangan konvensional telah dilakukan oleh *linear regulator*, namun perlahan-lahan digantikan dengan *switching regulator*. Tidak seperti *linear regulator, switching regulated power supply* atau yang lebih dikenal dengan *switched-mode power supply* (SMPS) adalah *power supply* elektronik yang dapat menyediakan tegangan keluaran lebih tinggi atau lebih rendah dari tegangan masukan sesuai dengan kebutuhan (Pressman, 2009: 10). Pada Gambar 2.2, sebuah *switching regulator* sederhana yang berada pada kondisi *on* dan *off* pada suatu nilai frekuensi antara 50 Khz sampai 100 Khz yang diatur pada rangkaian.



Gambar 2.2 Rangkaian dasar *switching regulator* (Rahman, 2007: 4).

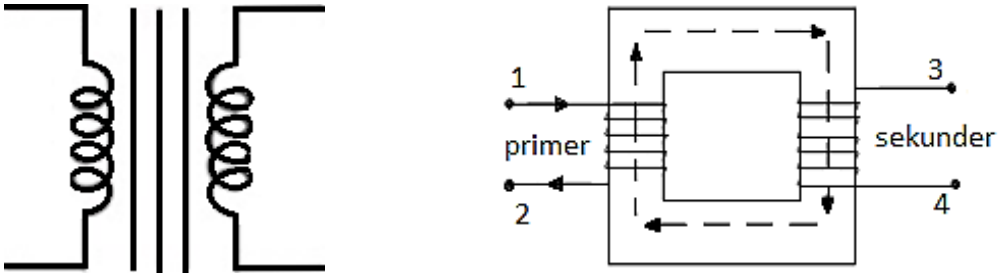
Pada saat *switch* tertutup maka I_L mengalir dari V_{in} ke beban (R_L). Karena terdapat perbedaan tegangan antara tegangan output (V_o) dan tegangan input (V_i) maka I_L naik. Pada saat *switch* terbuka maka energi yang tersimpan di dalam induktor (L) memaksa agar I_L tetap mengalir ke beban dan I_L turun. Arus rata-rata yang melewati induktor sama dengan arus beban. Karena tegangan Vo dijaga konstan oleh kapasitor (C) maka Io akan konstant. Kondisi ini terus berulang sehingga menghasilkan suatu gelombang yang periodik dan operasi kerja regulator dalam kondisi *steady state*.

Dalam sebuah SMPS, arus keluaran tergantung pada kekuatan sinyal, daya masukan, unsur-unsur penyimpanan, rangkaian topologi, dan juga pola yang digunakan. Keuntungan utama dari metode ini adalah efisiensi yang lebih besar dibandingkan *linear regulator*. Keuntungan lain dengan SMPS adalah ukuran yang lebih kecil dan bobot yang lebih ringan. Selain itu panas yang dihasilkan lebih rendah karena efisiensi yang lebih tinggi, sehingga hanya diperlukan *heat sink* yang kecil pada rangkaian. Kerugian dari SMPS meliputi kompleksitas rangkaian, amplitudo yang tinggi, dan membangkitkan *elektromagnetik interference* (EMI).

2.2 Transformator

Transformator merupakan suatu peralatan listrik yang digunakan untuk "mengubah tegangan bolak-balik pada primer menjadi tegangan tegangan bolak-balik pada sekunder, dengan menggunakan fluks magnet, selain itu juga digunakan untuk transformasi atau pengubah impedansi" (Sutrisno, 1986 : 65).

Transformator bekerja berdasarkan prinsip fluks listrik dan magnet dimana antara sisi sumber (primer) dan beban (sekunder) tidak terdapat hubungan secara fisik tetapi secara elektromagnetik (induksi-elektromagnetik). Seperti pada Gambar 2.3, transformator terdiri atas sebuah inti, yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan (lilitan kawat), yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder.



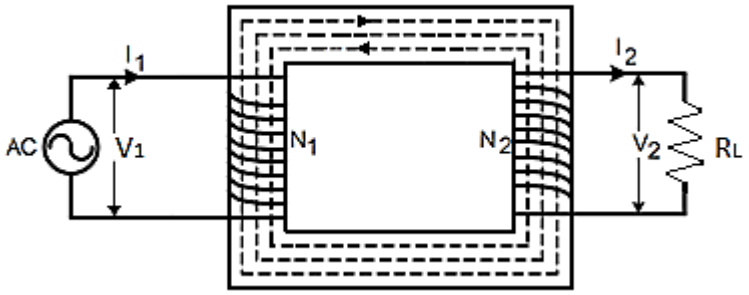
(a) (b)

Gambar 2.3 (a) Lambang transformator (b) Skema transformator berteras besi (Sutrisno, 1986: 66).

Prinsip kerja transformator dapat dilihat pada Gambar 2.4. Penghubung antara kumparan primer dan kumparan sekunder adalah fluks medan magnet. Ketika kumparan primer dialiri arus listrik AC, akan timbul medan magnet disekeliling kumparan yang disebut mutual induktansi. Mutual induktansi bekerja menurut hukum Faraday tentang induksi magnet pada kawat yang dialiri arus listrik. Garis gaya magnet keluar dari kumparan dan diarahkan oleh inti besi. Fluks magnetik berputar di dalam inti besi seperti pada Gambar 2.3b. Fluks medan magnet berubah naik dan turun sesuai dengan sumber arus AC yang diberikan.

Besarnya medan magnet yang diinduksikan ke inti besi ditentukan oleh besarnya arus listrik dan jumlah lilitam kumparan. Ketika medan magnet

memotong atau masuk ke kumparan sekunder, akan timbul gaya gerak listrik yang disebut tegangan induksi. Tegangan induksi tidak merubah frekuensi, sehingga frekuensi pada kumparan primer akan sama dengan frekuensi pada kumparan sekunder.



Gambar 2.4 Prinsip kerja transformator (Sutrisno, 1986: 66).

Menurut Margunadi A.R. (1986: 1), sebuah transformator dikatakan ideal jika "jumlah daya listrik yang diterima oleh transformator pada jepitan primer diteruskan sama besar melalui jepitan sekunder kepada beban". Namun di dalam transformator terjadi kerugian-kerugian yang dikenal sebagai kerugian tembaga dan kerugian besi. Kerugian yang timbul pada kawat tembaga dalam transformator dikarenakan arus listrik yang mengalir. Kerugian besi timbul dalam inti besi karena mengalirnya arus bolak-balik yang disebabkan adanya fluks magnet yang berubah-ubah.

Berdasarkan perbandingan antara jumlah lilitan primer dan jumlah lilitan sekunder, transformator ada dua jenis yaitu:

1. Transformator *step up* yaitu transformator yang mengubah tegangan bolak-balik rendah menjadi tinggi, transformator ini mempunyai jumlah lilitan kumparan sekunder lebih banyak daripada jumlah lilitan primer.

2. Transformator *step down* yaitu transformator yang mengubah tegangan bolak-balik tinggi menjadi rendah, transformator ini mempunyai jumlah lilitan kumparan primer lebih banyak daripada jumlah lilitan sekunder.

Pada transformator besarnya tegangan yang dikeluarkan oleh kumparan sekunder (V_s) adalah sebanding dengan banyaknya lilitan sekunder (N_s) dan besarnya tegangan primer (V_p). Namun berbanding terbalik dengan banyaknya lilitan primer (N_p), sehingga dapat dituliskan

$$V_s = \frac{N_s}{N_p} \times V_p \tag{2.1}$$

Telah banyak penelitian mengenai pembuatan transfomator, diantaranya rancang bangun transformator untuk catu daya filamen tabung triode oleh Margono & Heri. Hasil penelitian Margono & Heri (2012: 494) menunjukkan bahwa: “transformator yang telah dikontruksi mampu mengeluarkan tegangan dan arus sebesar 7,58 V (tanpa beban), 6,83 V (berbeban), dan 207 A”. Penelitian yang dilakukan Jatmiko (2003), membuat autotransformator untuk mendapatkan tegangan yang variabel pada catu daya plasma DC tegangan tinggi. Langkah awal dalam pembuatan transformator adalah melakukan perhitungan parameter-parameter transformator sesuai dengan perancangan yang diinginkan.

Menurut Margunadi A.R. (1986: 22), dalam merancang transformator harus menentukan: “bentuk dan ukuran-ukuran inti transformator, ukuran diameter, dan jumlah lilitan kawat baik primer maupun sekunder.” Untuk mengetahui hal tersebut yang paling penting adalah mengetahui kapasitas transformator sebagai titik tolak perhitungan. Penentuan kapasitas transformator

berawal dari tegangan dan arus yang sudah diketahui, persamaan 2.2 sampai 2.4 menunjukkan penentuan kapasitas transformator.

$$P_s = V_s \times I_s \tag{2.2}$$

$$P_p = \frac{P_s}{\eta} \tag{2.3}$$

$$I_p = \frac{P_p}{V_p} \tag{2.4}$$

Dengan P_s adalah daya sekunder (W), P_p adalah daya primer (W), V_s adalah tegangan sekunder (V), V_p adalah tegangan primer (V), I_s adalah arus sekunder (A), I_p adalah arus primer (A), dan η adalah efisiensi transformator. Setelah mengetahui nilai arus primer dan sekunder, maka diameter kawat yang digunakan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.5 dan 2.6

$$D_s = 0.7 \times \sqrt{I_s} \tag{2.5}$$

$$D_p = 0.7 \times \sqrt{I_p} \tag{2.6}$$

dengan D_s adalah diameter kawat lilitan sekunder (mm) dan D_p adalah diameter kawat lilitan primer (mm).

Inti besi dapat ditentukan dengan rumus empiris yang terlihat pada persamaan 2.7 sampai 2.9.

$$A = b \times h \tag{2.7}$$

$$b = \sqrt[3]{\frac{1.5 \times P_p}{9.9}} \tag{2.8}$$

$$h = \frac{b}{0.6561} \tag{2.9}$$

dengan A adalah luas penampang inti (cm^2), b adalah sisi penampang memanjang inti transformator (cm), dan h adalah sisi penampang melintang inti transformator (cm). Untuk menentukan jumlah lilitan kawat sekunder maupun primer, terlebih dahulu ditentukan faktor lilitan yang melingkupi fluks magnetik. Seperti dalam bukunya Sutrisno (1986: 69), nilai fluks magnetik berlaku hukum Faraday yaitu pada persamaan 2.10.

$$E = N\frac{d\emptyset}{dt} \tag{2.10}$$

Jika rapat fluks B berubah secara sinusoidal seperti persamaan 2.11 dan 2.12, maka hukum Faraday akan mengalami perubahan menjadi persamaan 2.13.

$$B = B_p \cos \omega t \tag{2.11}$$

$$\emptyset(t) = B_p\, A \cos \omega t \tag{2.12}$$

$$E_p = N\frac{d\emptyset}{dt} = NB_p\, A\, \omega \tag{2.13}$$

Dengan B_p adalah rapat fluks dalam tesla atau weber/m^2 dan A dalam m^2. Jika rapat fluks dinyatakan dalam gauss dan A dalam cm^2, diperoleh persamaan 2.14.

$$\frac{N}{E_{rms}} = \frac{\sqrt{2}\ \times 10^8}{2\,\pi\, f\, B_p\, A} \tag{2.14}$$

Dengan menggunakan $f = 50\ Hz$ dan $B_p = 9000\ gauss$, maka lilitan/volt dapat dihitung menggunakan persamaan empiris seperti pada persamaan 2.15.

$$\frac{N}{E} = \frac{50}{A} \tag{2.15}$$

Dari persamaan 2.15 diatas, dengan E adalah tegangan gerak listrik, maka jumlah lilitan primer dan sekunder dapat ditentukan menggunakan persamaan 2.16 dan 2.17.

$$N_p = V_p \times \frac{50}{A} \tag{2.16}$$

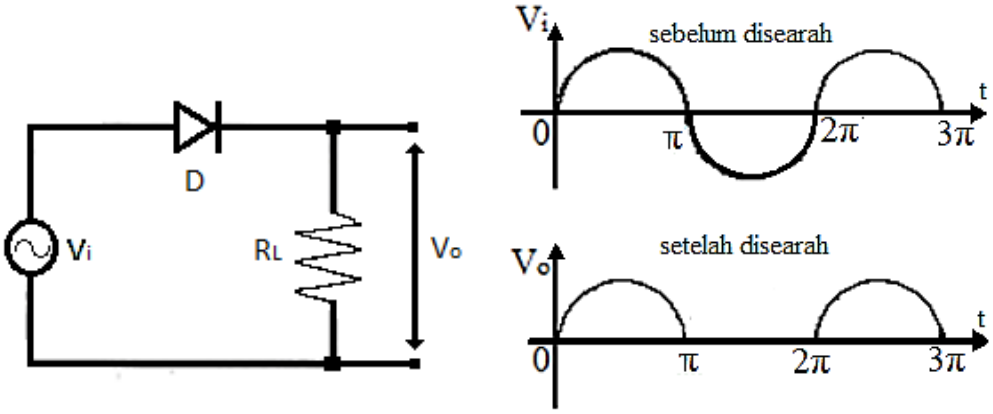
$$N_s = V_s \times \frac{50}{A} \tag{2.17}$$

dengan N_p adalah jumlah lilitan pimer (lilit) dan N_s adalah jumlah lilitan sekunder (lilit).

2.3 *Rectifier*

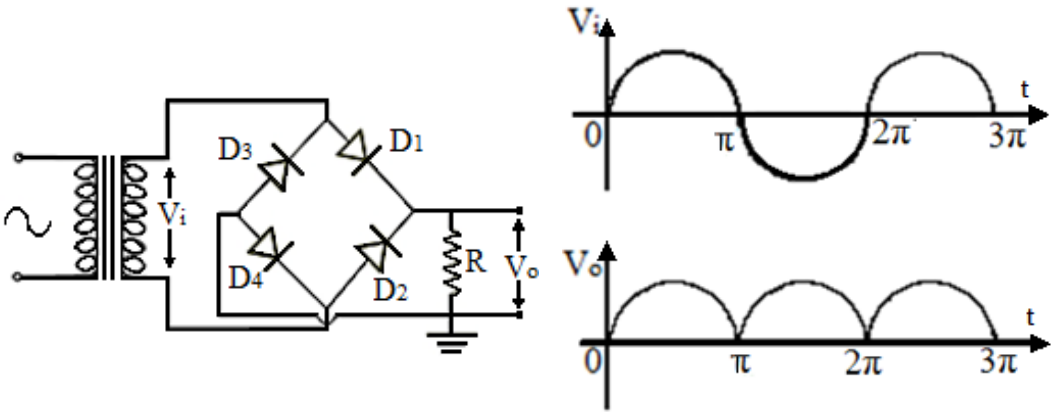
Rectifier adalah bagian dari *power supply* yang berfungsi untuk mengubah sinyal tegangan AC menjadi tegangan DC. Komponen utama dari *rectifier* adalah dioda. Dioda adalah "suatu komponen elektronik yang dapat membuat arus pada satu arah saja" (Sutrisno, 1986: 81). Pada dasarnya *rectifier* dibagi dalam dua jenis yaitu *rectifier* setengah gelombang dan *rectifier* gelombang penuh.

Rectifier setengah gelombang hanya menggunakan satu buah dioda sebagai komponen utama dalam menyearahkan gelombang AC. Prinsip kerja dari *rectifier* setengah gelombang adalah mengambil sisi sinyal positif gelombang AC dari transformator, seperti pada Gambar 2.5. Pada saat transformator memberikan sinyal sisi negatif gelombang AC, dioda akan memotong lengkung garis beban. Sehingga sinyal sisi negatif tegangan AC akan ditahan dan tidak dilewatkan. Maka akan tampak isyarat keluaran hanya mempunyai nilai positif saja.



Gambar 2.5 *Rectifier* setengah gelombang dengan dioda ideal (Sutrisno, 1986:93).

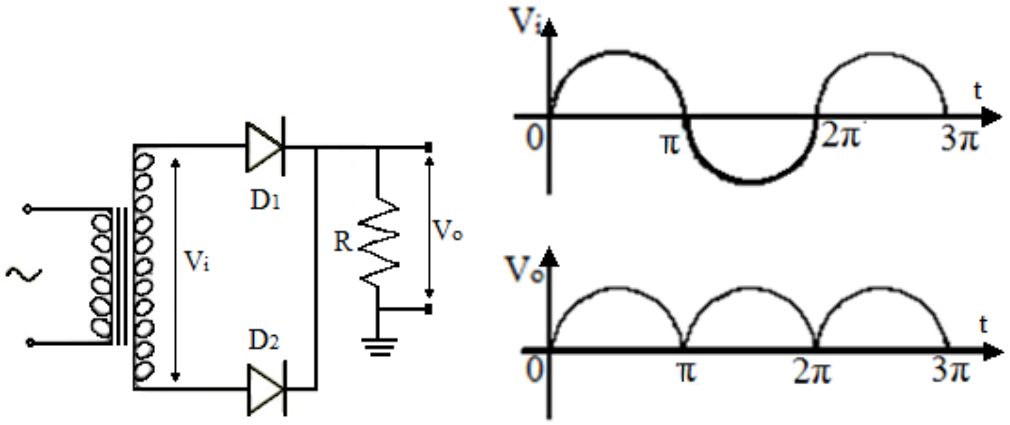
Rectifier gelombang penuh dapat dibuat dengan menggunakan empat dioda dan dua dioda. Untuk membuat *rectifier* gelombang penuh dengan empat dioda menggunakan transformator non-CT. Pada Gambar 2.6 dapat diketahui prinsip kerja dari *rectifier* gelombang penuh dengan empat dioda menurut Sutrisno (1986: 94) dimulai pada saat output transformator memberikan level tegangan sisi positif, maka D_1, D_4 pada posisi menghantarkan dan pada saat *output* transformator memberikan level tegangan sisi puncak negatif maka D_2, D_3 pada posisi menghantarkan.



Gambar 2.6 *Rectifier* gelombang penuh dengan empat dioda (Sutrisno, 1986: 94).

Untuk membuat *rectifier* gelombang penuh dengan dua dioda menggunakan transformator dengan CT (*Central Tap*). Transformator dengan CT

dapat memberikan *output* tegangan yang berbeda fasa 180˚. Menurut Sutrisno (1986: 93), prinsip kerja *rectifier* gelombang penuh dengan dua dioda dapat dilihat pada Gambar 2.7, saat output transformator memberikan level tegangan sisi positif, arus akan mengalir melalui D_1 dan jika output transfomator memberikan level tegangan sisi negatif, maka arus akan mengalir melalui D_2.



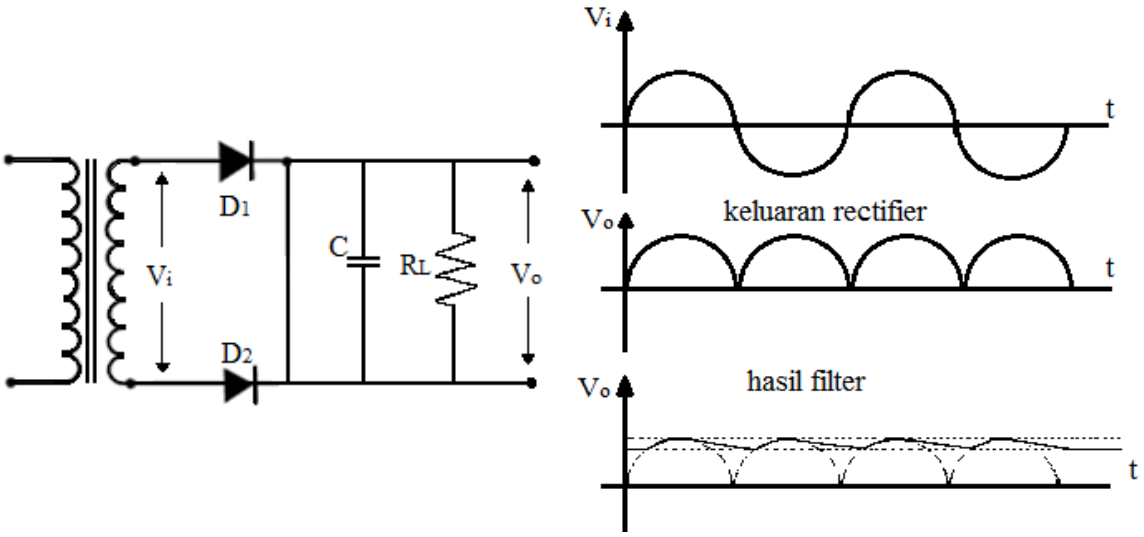
Gambar 2.7 *Rectifier* gelombang penuh dengan dua dioda (Sutrisno, 1986: 93).

2.4 Filter

Filter atau biasa juga disebut tapis pada *power supply* merupakan bagian yang berfungsi untuk meratakan atau membuang riak gelombang hasil proses penyearahan gelombang AC dari transformator oleh dioda. Filter yang sering digunakan dalam sebuah *power supply* adalah filter C , RC, dan LC.

Filter kapasitor sangat efektif digunakan untuk mengurangi riak komponen AC pada keluaran penyearah. Pada kondisi ini tegangan kapasitor menjadi besar dan arus yang mengalir menjadi besar. Saat masukan menjadi besar keluaran juga menjadi besar, namun saat masukan mengalami penurunan tegangan kapasitor,

maka keluaran tidak mengalami penurunan tegangan seperti pada Gambar 2.8, hal ini disebabkan karena kapasitor memerlukan waktu untuk mengosongkan muatan. Sebelum tegangan pada kapasitor turun banyak, tegangan pada kapasitor sudah naik lagi. Tegangan berubah yang terjadi disebut tegangan riak. Sutrisno (1986: 113) menyatakan: "riak dapat diperkecil dengan menggunakan kapasitansi yang besar pada beban arus yang besar, akan tetapi penurunan tegangan searah pada arus beban besar tetap terjadi."

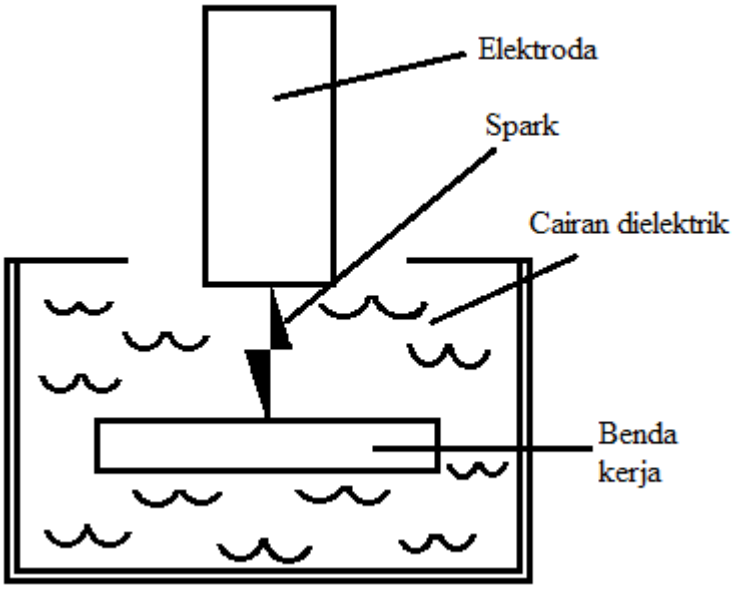


Gambar 2.8 Filter dengan kapasitor (Sutrisno, 1986: 95).

2.5 *Electrical Discharge Machining* (EDM)

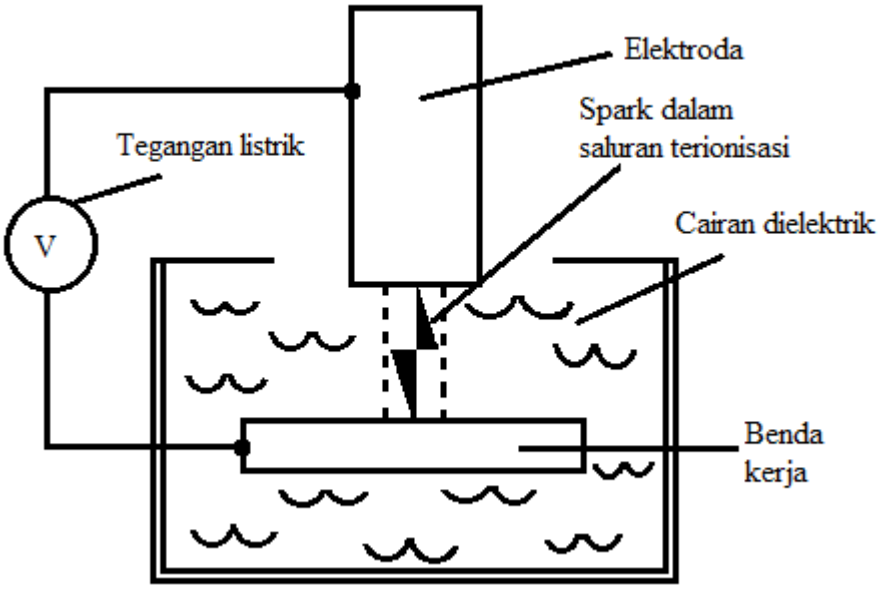
Asal mula EDM adalah pada tahun 1770, ketika ilmuwan Inggris Joseph Priestly menemukan efek erosi dari percikan arus listrik. Pada tahun 1943, ilmuwan Rusia B. Lazarenko dan N. Lazarenko memiliki ide untuk memanfaatkan efek merusak dari percikan arus listrik untuk membuat proses yang terkontrol untuk pemesinan secara elektrik untuk bahan konduktif. Lazarenko bersaudara menyempurnakan proses dengan cara menempatkan cairan tidak konduktif di

mana percikan listrik terjadi di antara dua konduktor, cairan tersebut dinamakan dielektrik. Dasar komponen dari EDM adalah adanya elektode, *spark*, cairan dielektrik, dan benda kerja, seperti terlihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Dasar komponen EDM (Jameson, 2001: 2).

Menurut Jameson (2001: 1), EDM adalah proses permesinan pada bahan elektrik konduktif dengan memanfaatkan lompatan bunga api listrik (*spark*) yang terjadi antara benda kerja dengan elektroda dalam cairan dielektrik. Daerah yang memiliki medan listrik paling kuat adalah pada titik di mana jarak antara elektroda dan benda kerja paling dekat. Pelepasan bunga api listrik terjadi di mana medan listrik paling kuat, karena pengaruh medan listrik tersebut ion-ion negatif dan positif digerakkan dan dipercepat sampai memiliki percepatan tinggi sehingga menimbulkan pembentukan saluran terionisasi yang terlihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 *Spark* dalam saluran ion (Jameson, 2001: 5).

Ketika jumlah partikel bermuatan meningkat, tegangan meningkat hingga titik tertinggi tetapi arus masih nol. Arus mulai muncul ketika cairan berkurang sifat isolatornya menjadi paling kecil dan beda tegangan mulai menurun. Panas muncul secara cepat ketika arus listrik meningkat dan tegangan terus menurun drastis. Panas menguapkan sebagian cairan, benda kerja, dan elektroda. Sebelum berakhir, arus dan tegangan menjadi stabil, panas telah mencapai ukuran maksimal dan sebagian logam telah dihilangkan. Cairan dielektrik masuk diantara elektroda dan benda kerja, menyingkirkan kotoran-kotoran dan mendinginkan permukaan benda kerja. Logam yang terlepas membeku dalam bentuk bola-bola kecil menyebar di cairan dielektrik.

Proses EDM tidak terpengaruh oleh kekerasan, keuletan, maupun kekuatan benda kerja, tetapi dipengaruhi oleh *melting point* dari benda kerja. Ada beberapa jenis mesin EDM diantaranya yaitu *Sinker* EDM (*Ram* EDM) dan *Wire*

EDM. Berbagai jenis produk seperti *dies* atau *punch*, cetakan plastik, dan alat potong bisa dihasilkan atau dikerjakan oleh EDM. Beberapa keunggulan EDM sehingga banyak digunakan dalam dunia industri manufaktur diantaranya, mampu mengerjakan bentuk-bentuk yang rumit, dapat mengerjakan benda kerja yang keras atau telah dikeraskan, mempunyai tingkat kebisingan yang rendah, dan lainnya.

Pada proses EDM terjadi pengikisan akibat adanya lompatan bunga api antara benda kerja dan elektroda, bagian yang terkikis ini akan membentuk *profile* tertentu pada benda kerja sesuai dengan bentuk pahat (elektroda). Namun proses pengikisan terhadap benda kerja pada EDM lebih lambat dibandingkan dengan proses pemesinan lain. Pengikisan tidak hanya terjadi pada benda kerja saja namun juga terjadi pada elektroda. Dalam pengerjaan dengan menggunakan EDM perlu diperhatikan parameter-parameter yang berpengaruh terhadap kinerja mesin EDM.

Potensi mesin EDM telah dikaji oleh Pandey & Singh (2010) dimana dalam 50 tahun terakhir pengembangan metode EDM akan menjadi bahasan para peneliti. Kontribusi variasi EDM telah membawa perbaikan yang luar biasa dalam kemajuan mesin rekayasa permukaan. Oleh karena itu, penelitian mengenai parameter-parameter yang mendukung kinerja mesin EDM telah banyak dilakukan. Payal *et al*. (2008) menganalisis kinerja beberapa elektroda terhadap plat baja EN-31, hal yang sama juga dilakukan oleh Janmanee & Muttamara (2010) terhadap plat tungsten carbide. Sedangkan Junaidi dan Seprianto (2011)

telah membuat bahan elektroda baru dari campuran tembaga dengan karbon secara metalurgi.

Pengetahuan dasar teori EDM dapat membantu dalam memecahkan masalah yang timbul (*troubleshooting*) saat proses pembentukan benda kerja berlangsung. Salah satunya adalah *setting* dari *power supply* yang dapat memaksimalkan kerja mesin EDM. Hasil penelitian Oebandono & Noviyanto (2012) menunjukkan bahwa semakin besar arus listrik akan meningkatkan nilai laju pemotongan benda kerja. Hal tersebut dikarenakan semakin tinggi arus listrik maka semakin tinggi pula energi *sparking*. Sedangkan penelitian Supriyanto & Prihatin (2012) menunjukkan besarnya arus mempengaruhi respon laju pembuangan material dan kekasaran permukaan, hal ini hampir sama dengan penelitian Singh *et al*. (2013) yang mengungkapkan bahwa puncak arus pada *power supply* mesin EDM mempengaruhi MRR (*Material Removal Rate*) dan SR (*Surface Roughness*) pada cobalt bonded tungsten carbide (Wc-Co). Dilapangan para operator EDM dalam memilih parameter proses pemesinan hanya berdasarkan pengalaman atau hanya melakukan coba-coba (*trial and error*).

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Penelitian dilakukan pada bulan Maret-Mei 2015.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan dalam pembuatan dan karakterisasi trafo adalah

1. Inti trafo tipe E-I.
2. Koker dengan ukuran $7{,}3 \times 4{,}4 \times 6{,}6$ cm.
3. Kawat tembaga diameter 2,2 mm dan 0,9 mm.
4. Kertas isolasi (prespan) tebal 0,15 mm.
5. Tang potong
6. *Insulation resistance tester* atau megger

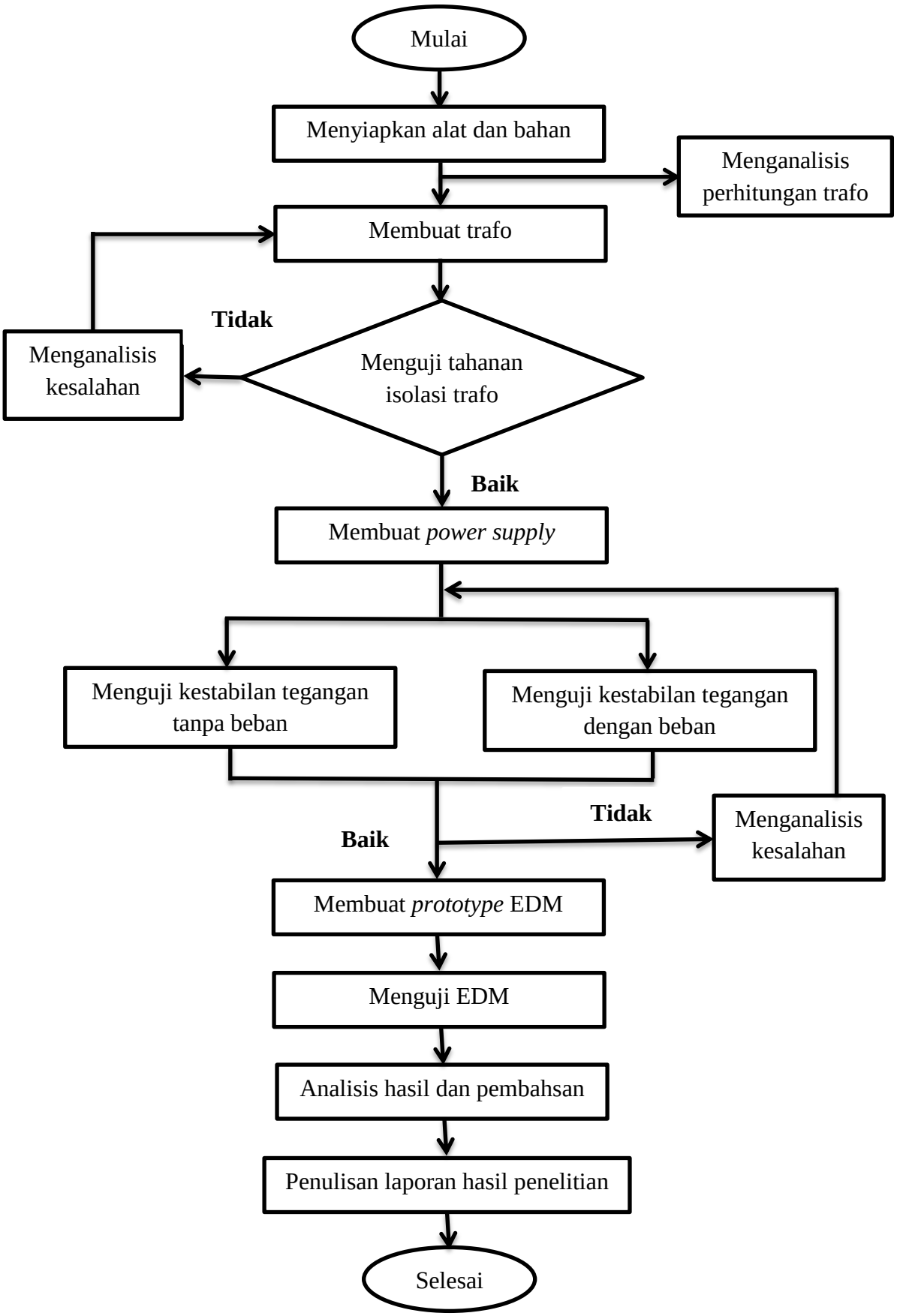
Alat dan bahan dalam pembuatan dan karakterisasi *power supply* adalah

1. Komponen elektronik
2. Voltmeter
3. Ampermeter
4. Multimeter digital
5. Lampu halogen 24 V, 100 W

3.3 Metode Penelitian

Metode penelitian mengenai rancang bangun *power supply* untuk EDM menggunakan metode eksperimen langsung yang dilaksanakan dalam tiga tahapan, yang pertama adalah pembuatan transformator, yang kedua adalah pembuatan *power supply*, dan yang ketiga adalah pembuatan *prototype* EDM. Pengujian alat dilakukan secara bertahap diawali dengan pengujian tahanan isolasi pada transformator, pengujian kestabilan tegangan pada *power supply*, dan pengujian *prototype* EDM.

Tahapan penelitian ini dapat dilihat dalam diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir proses penelitian.

3.4 Analisis Perhitungan Transformator

Analisis perhitungan lebih difokuskan pada perencanaan pembuatan transformator untuk mensuplai daya *power supply*. Perhitungan untuk transformator sebagaimana dikutip oleh Jatmiko (2003: 40-43) meliputi:

1. Menentukan Daya Sekunder dan Daya Primer

   Daya sekunder $P_s = V_s \times I_s$ (Watt) (3.1)

   Daya primer $P_p = 1.25 \times P_s$ (Watt) (3.2)

2. Menentukan Inti Besi

   Dimensi inti besi ditentukan dengan rumus empiris sebagai berikut:

$$b = \sqrt[3]{\frac{1.5 \times P_p}{9.9}} \quad (cm) \tag{3.3}$$

$$h = \frac{b}{0.6561} \quad (cm) \tag{3.4}$$

   Luas penampang inti

$$A = b \times h \quad (cm^2) \tag{3.5}$$

3. Menentukan Berat Kern

$$W_b = 1.5 \times P_p \times 7.8 \quad (gram) \tag{3.6}$$

4. Menentukan Jumlah Lilitan Kawat

   Kawat sekunder

$$N_s = V_s \times \frac{55}{A} \quad (lilit) \tag{3.7}$$

   Kawat primer

$$N_p = V_p \times \frac{55}{A} \quad (lilit) \tag{3.8}$$

5. Menentukan Diameter Kawat

Diameter kawat sekunder

$$D_s = 0.7 \times \sqrt{I_s} \quad (mm) \tag{3.9}$$

Diameter kawat primer

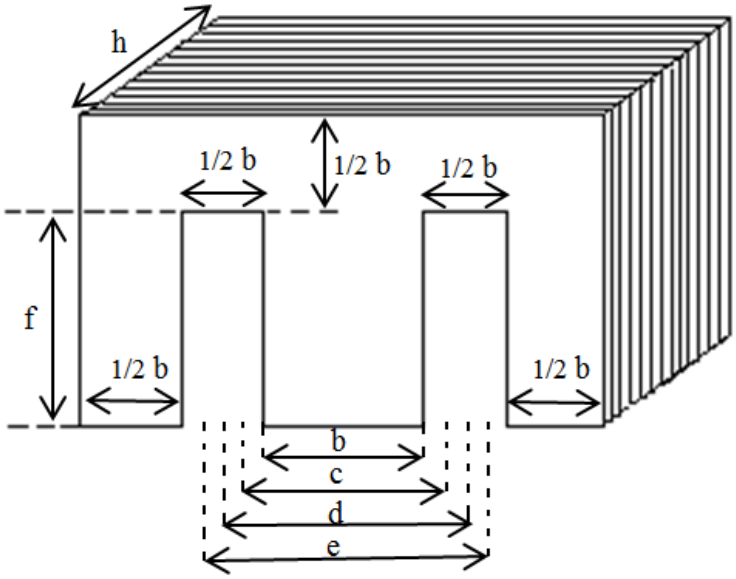
$$D_p = 0.7 \times \sqrt{I_p} \quad (mm) \tag{3.10}$$

dengan,

$$I_p = \frac{P_p}{V_p} \quad (A) \tag{3.11}$$

6. Menghitung Berat Kawat

Terlebih dahulu harus dihitung besaran c, d, e, f seperti ditunjukkan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Ukuran kern (Jatmiko, 2003: 41).

$$c = b + \frac{1}{4}b \quad (cm) \tag{3.12}$$

$$d = b + \frac{1}{2}b \quad (cm) \tag{3.13}$$

$$e = b + \frac{3}{4}b \quad (cm) \tag{3.14}$$

$$f = \frac{3}{2}b \quad (cm) \tag{3.15}$$

Massa jenis tembaga $\rho = 8.92\ (kg/m^3)$

a. Untuk lilitan kawat sekunder

Jumlah lilitan/lapis

$$Jgl_s = \frac{0.9 \times f \times 10}{D_s} \quad (lilitan/lapis) \tag{3.16}$$

Jumlah lapis

$$L_s = \frac{N_s}{Jgl_s} \quad (lapis) \tag{3.17}$$

Tebal lilitan + kertas isolasi

$$T_s = L_s \times (D_s + 0.2) \tag{3.18}$$

Panjang rata-rata

$$\bar{S}_s = 2 \times \left(c + h + \frac{1}{4}b\right) \quad (cm) \tag{3.19}$$

Panjang total

$$S_s = N_s \times \bar{S}_s \quad (cm) \tag{3.20}$$

Berat tembaga

$$W_s = S_s \times \frac{\pi \left({D_s}/{10}\right)^2}{4} \times \rho \quad (gram) \tag{3.21}$$

b. Untuk lilitan kawat primer

Jumlah lilitan/lapis

$$Jgl_p = \frac{0.9 \times f \times 10}{D_p} \quad (lilitan/lapis) \tag{3.22}$$

Jumlah lapis

$$L_p = \frac{N_p}{Jgl_p} \qquad (lapis) \tag{3.23}$$

Tebal lilitan + kertas isolasi

$$T_p = L_p \times \left(D_p + 0.2\right) \tag{3.24}$$

Panjang rata-rata

$$\bar{S}_p = 2 \times \left(e + h + \frac{1}{4}b\right) \quad (cm) \tag{3.25}$$

Panjang total

$$S_p = N_p \times \bar{S}_p \quad (cm) \tag{3.26}$$

Berat tembaga

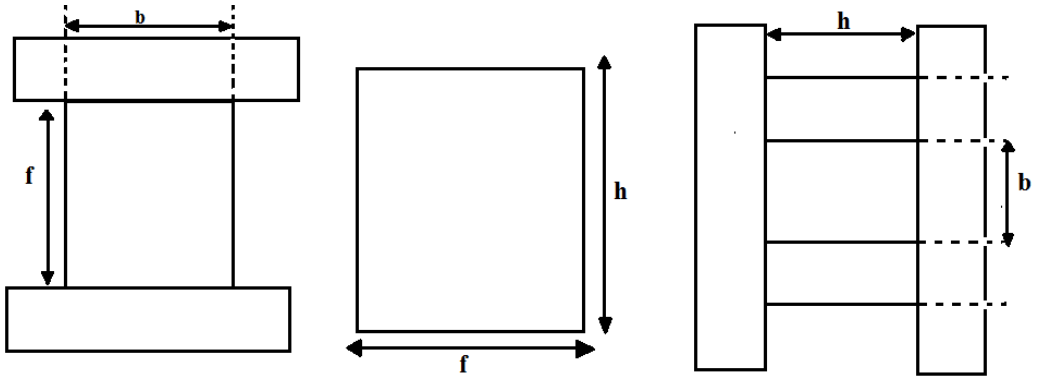
$$W_p = S_p \times \frac{\pi \left({D_p}/{10}\right)^2}{4} \times \rho \quad (gram) \tag{3.27}$$

Hasil dan tabulasi analisis perhitungan pembuatan transformator dapat dilihat pada Lampiran 1.

3.5 Pembuatan Tansformator

Proses pembuatan transformator diawali dengan membuat koker atau selongsong yang akan menjadi tempat menggulung kawat untuk membuat kumparan. Koker dibuat dari bahan isolator yaitu plastic, pertinaks, atau kertas

elektroteknik yang keras dan tebal. Ukuran koker harus tepat, tidak boleh terlalu longgar atau terlalu sempit. Bagian-bagian koker dapat dilihat pada Gambar 3.3, sesuai dengan perhitungan analisis transformator maka akan dibuat koker berukuran 7,3 × 4,4 × 6,6 cm dari bahan pertinaks.



Gambar 3.3 Bagian-bagian selongsong (Margunadi A.R., 1986:41).

Selanjutnya dilakukan penggulungan kawat sesuai analisis, dengan jumlah lilitan kawat sekunder 55 dan lilitan kawat primer 373. Setelah selesai menggulung kawat, mulai disusun inti besi E-I (kern) satu persatu hingga selesai.

3.5.1 Pengujian Transformator

Pengujian sebuah transformator ada tiga macam pengujian yaitu pengujian rutin, pengujian jenis, dan pengujian khusus. Namun pada kesempatan kali ini, hanya dilakukan pengujian rutin yaitu pengujian tahanan isolasi. Pengukuran tahanan isolasi dilakukan pada awal pengujian untuk mengetahui secara dini kondisi isolasi trafo, untuk menghindari kegagalan yang fatal. Pengukuran dilakukan antara bagian primer-sekunder, primer-ground, dan sekunder-ground dengan menggunakan alat *insulation resistance tester* atau

megger seperti pada Gambar 3.4. “Diamati apakah terjadi *discharge* atau tidak, serta mengamati arus bocor yang mungkin terjadi” (Margono & Heri, 2012: 492).

Gambar 3.4 *Insulation resistence tester*

3.6 Desain dan Perencanaan *Power Supply*

Dalam membangun *power supply* yang digunakan untuk mesin EDM membutuhkan beberapa komponen yaitu:

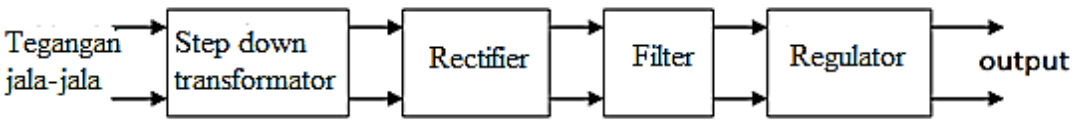
(1) Transformator,

(2) *Rectifier*,

(3) Filter,

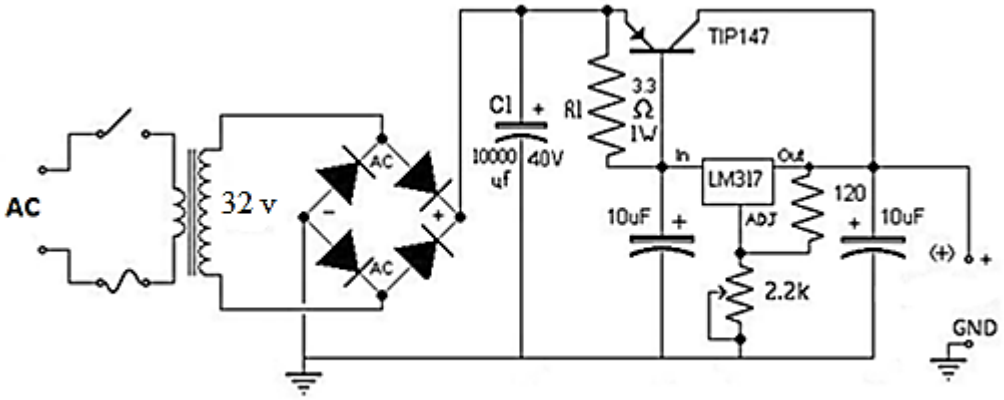
(4) Regulator.

Alur dari desain tersebut digambarkan dalam diagram blok pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Diagram blok catu daya.

Rangkaian *power supply* yang akan dibuat menggunakan IC regulator tegangan positif LM317 seperti pada Gambar 3.6. Rangkaian ini dapat memberikan output dengan tegangan variable dari 1,2 volt DC hingga 50 volt DC dan arus maksimal yang mampu dialirkan hingga 10 ampere. Selain menggunakan IC LM317, rangkaian *power supply* juga menggunakan transistor TIP 147 sebagai penguat arus output. Rangkaian ini menggunakan transformator tanpa CT dengan output 32 volt 10 ampere.



Gambar 3.6 Skema *power supply* dengan IC regulator LM317.

3.6.1 Deskripsi Kerja *Power Supply*

Awalnya rangkaian bekerja dengan menggunakan tegangan masukan 220 volt AC sumber PLN. Dengan menggunakan transformator *step down* tegangan diturunkan menjadi 32 volt AC dengan arus maksimum 10 ampere. Tegangan masukan AC diubah menjadi tegangan DC dengan menggunakan *rectifier* atau penyearah gelombang penuh dari dioda *bridge*. Filter atau tapis DC pertama adalah kapasitor C1 $10000\mu F/40V$ yang berfungsi untuk menghilangkan riple dari penyearah. Selanjutnya tegangan output dikontrol oleh regulator tegangan

dengan menggunakan IC LM317. Pengatur tegangan referensi regulator IC LM317 adalah konfigurasi pembagi tegangan dengan R120 Ohm dan variable resistor (potensiometer) 2,2 KOhm. Potensiometer disini digunakan untuk mengatur tegangan output rangkaian *power supply* dari 1,2 volt DC hingga 50 volt DC. Penguat arus *power supply* menggunakan transistor power TIP 147 yang mampu mengalirkan arus DC maksimum 10 ampere, untuk mengurangi panas saat transistor bekerja karena konsumsi arus yang besar maka dibutuhkan pula *heat sink*. Filter akhir dari rangkaian ini menggunakan kapasitor $10\ \mu F/40\ V$ yang dipasang pada jalur output rangkaian.

3.7 Pengujian *Power Supply*

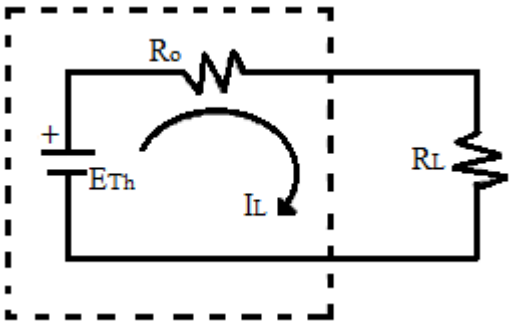
Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah rangkaian *power supply* dapat menghasilkan tegangan yang diharapkan. Untuk pengukuran dilakukan saat *power supply* tanpa beban dan saat diberikan beban.

3.7.1 Pengujian Kestabilan Tegangan Tanpa Beban

Sebagai pencatu daya, *power supply* harus mempunyai kualitas yang baik serta sesuai dengan spesifikasi. Tujuan dari pengujian kestabilan tegangan tanpa beban adalah untuk mengetahui tingkat kestabilan tegangan keluaran dari *power supply*. Pengujian dilakukan dengan cara mengukur tegangan keluaran dengan menggunakan multimeter selama 10 jam tanpa berhenti, data diambil setiap interval 30 menit seperti penelitian yang dilakukan oleh Sudiono & Toto (2008: 146).

3.7.2 Pengujian Kestabilan Tegangan Dengan Beban

Pengujian pembebanan dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik dari *power supply* yang dibuat setelah diberi beban (R_L), yang dapat diketahui dari nilai hambatan keluaran *power supply* (R_o). "Suatu rangkaian dengan hambatan keluaran yang besar mudah terbebani. Suatu sumber tegangan yang tetap mempunyai $R_o = 0$, sehingga jika ditarik arus beban berapapun tegangan keluaran tidak akan jatuh" (Sutrisno, 1986: 4). Untuk menentukan nilai R_o dapat dilakukan seperti Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Rangkaian dengan keluaran diberi beban R_L (Sutrisno, 1986: 5).

Dari Gambar 3.6 pada saat rangkaian diberi beban maka diperoleh persamaan,

$$E_{Th} = I_L R_o + I_L R_L \tag{3.28}$$

$$E_{Th} = I_L(R_o + R_L) \quad atau \quad I_L = \frac{E_{Th}}{(R_o + R_L)} \tag{3.29}$$

$$V_o = \frac{R_L}{R_O + R_L} E_{Th} \tag{3.30}$$

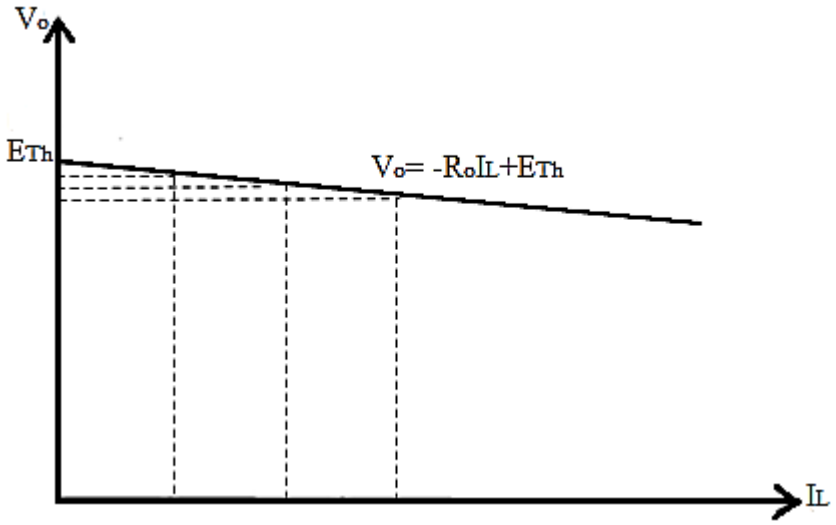
Subtitusikan persamaan 3.29 ke persamaan 3.30, sehingga diperoleh

$$V_o = R_L I_L \tag{3.31}$$

Dari persamaan 3.28 dan persamaan 3.31 didapatkan

$$V_o = -R_o I_L + E_{Th} \tag{3.32}$$

Jika dibuat grafik hubungan antara V_o dengan I_L seperti Gambar 3.7, maka nilai hambatan keluaran R_o dapat ditentukan dengan mengukur V_o sebagai fungsi arus beban I_L, yang mana R_o merupakan gradient kemiringan dari grafik lengkung pembebanan tersebut.



Gambar 3.7. Grafik uji pembebanan (Sutrisno, 1986: 8).

3.8 Pengujian EDM

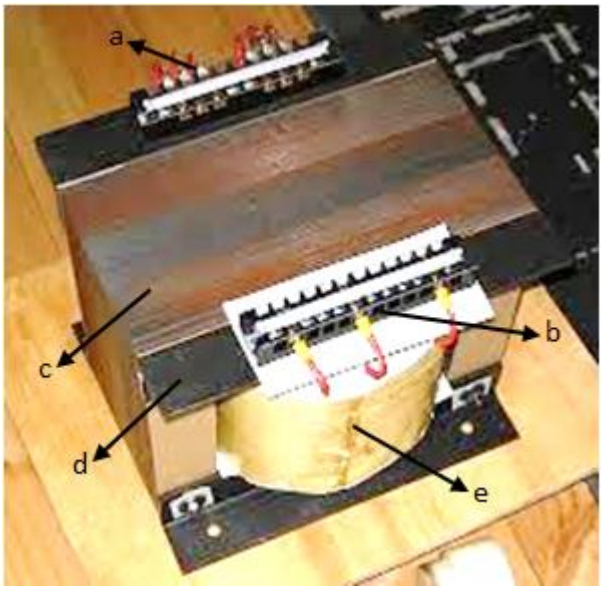
Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui proses EDM dapat bekerja dengan baik. Elektroda yang digunakan adalah kawat tembaga dan benda kerja yang digunakan adalah plat baja ST-37 dengan pertimbangan ketersediaan di pasaran. Pada pengujian EDM ini terdapat dua tahap pengujian yang akan dilakukan. Yang pertama adalah pengujian dengan variasi kepekatan cairan dielektrik yang digunakan, selanjutnya dengan memvariasikan ketebalan benda kerja yang akan diuji yaitu plat baja.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pembuatan Transformator

Wujud fisik dari trafo yang telah dibuat dapat dilihat dalam Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Bagian-bagian trafo (a) *output* primer; (b) *output* sekunder; (c) inti besi (kren); (d) koker; (e) gulungan kawat.

Adapun spesifikasi trafo yang telah dibuat dapat dilihat dalam Tabel 4.1

Tabel 4.1 Spesifikasi transformator.

No.	Parameter	Lambang/Notasi	Nilai
1.	Tegangan sekunder	V_s	34 V
2.	Arus sekunder	I_s	10 A
3.	Tegangan primer	V_p	220 V
4.	Arus primer	I_p	1,8 A

Berdasarkan hasil perhitungan dari data yang tertera dalam Tabel 4.1, nilai efisiensi trafo sebesar 85%. Efisiensi trafo tidak mencapai 100% karena

adanya rugi daya pada trafo yang disebabkan oleh daya Joule (panas) yang lepas pada konduktor karena induksi arus primer, arus sekunder, maupun arus pada inti besi.

Hasil pengukuran trafo pada bagian sekunder menghasilkan tegangan keluaran 0 V, 12 V, dan 34 V, berbeda dari yang direncanakan sebesar 0, 12, 32 V hal ini karena jumlah lilitan sekunder untuk tegangan 32 V dibulatkan menjadi 57 lilitan untuk memudahkan dalam kontruksi trafo.

4.1.1 Uji Ketahanan Isolasi

Untuk mengetahui tingkat kebocoran trafo, dilakukan pengujian terhadap tahanan isolasi. Pengujian menggunakan alat *insulation resistance tester* atau megger, agar dapat dihindarkan dari adanya kesalahan atau cacat pada trafo yang dapat membahayakan pemakai maupun alat listrik. Hasil dari uji tahanan isolasi dapat dilihat dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data uji ketahanan isolasi.

No.	Tegangan Megger (kV)	Parameter	Keterangan
1.	1	Primer-ground	Tidak ada kebocoran arus dan tidak ada *discharge*.
2.	1	Sekunder-ground	Tidak ada kebocoran arus dan tidak ada *discharge*.
3.	1	Primer-Sekunder	Tidak ada kebocoran arus dan tidak ada *discharge*.

Pengukuran tahanan isolasi dilakukan dalam keadaan transformator tidak terhubung dengan sumber AC atau berada dalam posisi *off*. Isolasi yang diuji adalah isolasi antara bagian yang bertegangan dengan bagian yang bertegangan

lainnya, maupun bagian yang tidak bertegangan (*ground*) dengan bagian yang bertegangan.

Dari Tabel 4.2 dapat diketahui bahwa uji tahanan isolasi tidak terjadi kebocoran arus dan *discharge*, hal ini sesuai pada hasil pembacaan megger yang menunjukkan posisi ∞. Dari hasil yang didapat, transformator yang telah dikontruksi aman untuk bekerja pada daerah 220 V. Pengukuran tahanan isolasi yang telah dilakukan dapat dilihat dalam Lampiran 2.

4.2. Pembuatan *Power Supply*

Power supply yang telah dibuat memiliki spesifikasi dalam Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Spesifikasi *power supply*.

Tegangan masukan	220 Volt AC
Tegangan keluaran	35-52 Volt DC
Arus keluaran	Max 10 ampere
Dimensi	$20 \times 15 \times 18$ cm
Massa	$\pm$4,5 kg

Power supply bekerja pada tegangan masukan 220 volt AC sumber PLN. Tegangan keluaran dibuat variabel menggunakan IC regulator LM317. Pada awalnya kontrol tegangan keluaran menggunakan potensiometer, karena beban arus yang besar potensiometer terbakar. Untuk mengatasinya dibuat pengontrol dengan *rotary switch*.

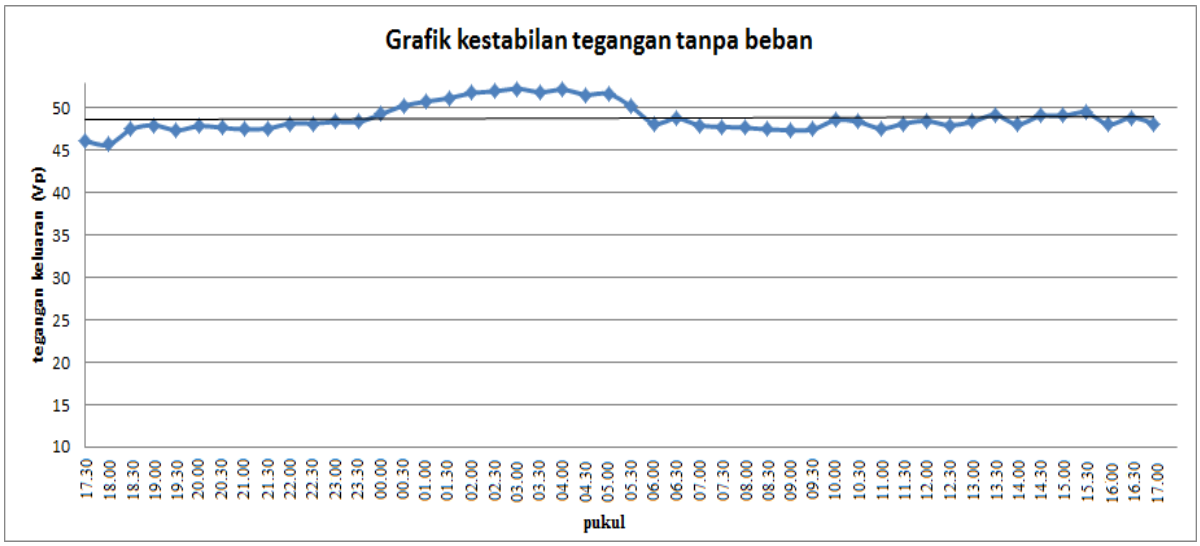
IC LM317 mampu memberikan tegangan keluaran maksimal 52 volt, besarnya tegangan keluaran pada IC LM317 dapat dihitung dengan persamaan

$$V_{out} = 1{,}25\ V\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + I_{adj}R_2 \tag{4.1}$$

dengan R_2 adalah variabel resistor dan I_{adj} adalah arus pada kaki *adjustment* IC LM317. Penguat arus *power supply* menggunakan transistor TIP 147 dengan konfigurasi *darlington* untuk mendapatkan penguatan yang tinggi. Transistor TIP 147 mampu mengalirkan arus DC maksimum 10 ampere. Filter akhir *power supply* menggunakan kapasitor $10\,\mu F/40\,V$ yang dipasang pada jalur *output* rangkaian.

4.2.1 Uji Kestabilan Tegangan Tanpa Beban

Uji kestabilan tegangan tanpa beban dilakukan dengan pengukuran tegangan keluaran secara langsung menggunakan multimeter digital. Awal pengukuran selama 10 jam dengan pengambilan data setiap 30 menit seperti penelitian yang dilakukan oleh Sudiono & Toto (2008: 146) pada penyedia daya tegangan tinggi DC. Namun untuk mengetahui performa dari *power supply*, pengujian dilakukan selama 24 jam dengan pengambilan data setiap 30 menit. Pengukuran dimulai dari Jumat 24 April pukul 17.30 dan berakhir pada Sabtu 25 April pukul 17.00. Data hasil pengukuran kestabilan tegangan tanpa beban disajikan pada Gambar 4.2.

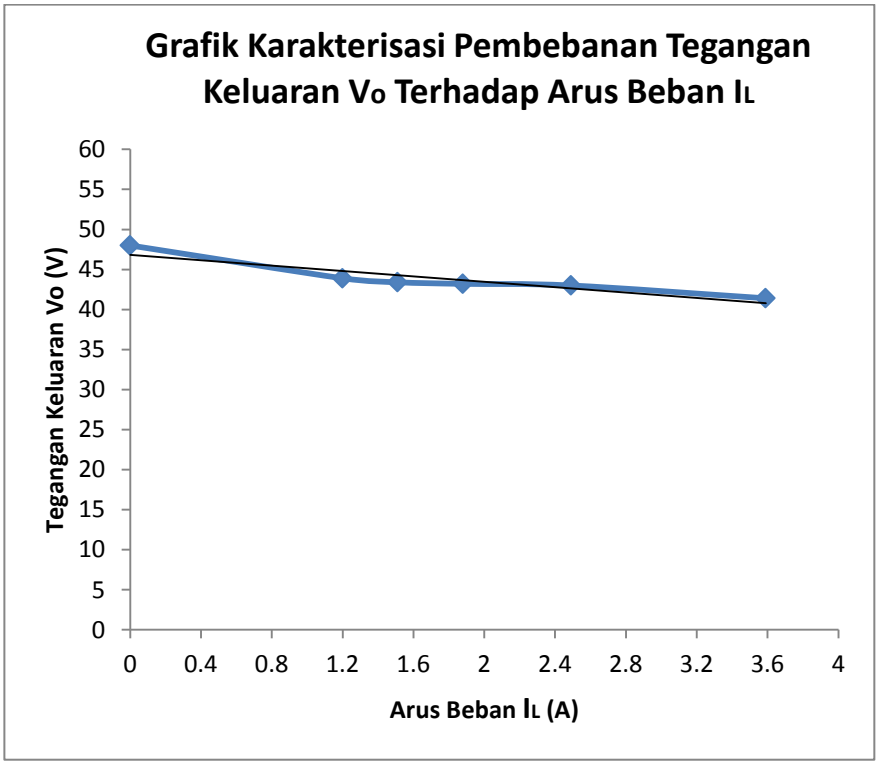


Gambar 4.2 Grafik kestabilan tegangan tanpa beban.

Dari Gambar 4.2 dapat diketahui bahwa tegangan terkecil adalah 45,7 V pada pukul 18.00, tegangan terbesar adalah 52,3 V pada pukul 03.00, dan rata-rata dari tegangan keluarannya adalah 48,85 V. Terlihat jelas terjadi perubahan nilai tegangan pada jam-jam tertentu. Terjadi kenaikan tegangan paling signifikan pada waktu tengah malam atau pukul 00.00 hingga pukul 05.30 dengan puncak tegangan tertinggi pada pukul 03.00. Pada waktu lainnya tegangan *power supply* berkisar antara 46 V sampai 49 V, hal ini dipengaruhi oleh tegangan inputan AC dari PLN dan aktivitas manusia dalam penggunaan listrik. Secara keseluruhan data yang didapat menunjukkan bahwa tegangan keluaran *power supply* dikatakan stabil. Data uji kestabilan tegangan tanpa beban dapat dilihat lebih jelas pada Lampiran 3.

4.2.2 Uji Kestabilan Tegangan Dengan Beban

Beban yang digunakan pada uji kestabilan tegangan adalah lampu halogen 24 V 100 W yang dirangkai secara seri dan dihubungkan pada keluaran *power supply* dengan nilai beban yang telah diperhitungkan sebelumnya. Grafik karakterisasi pembebanan sebagai fungsi hubungan tegangan keluaran V_o dan arus beban I_L ditunjukkan Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik karakterisasi pembebanan *power supply*.

Dari Gambar 4.3, diperoleh persamaan garis lengkung pembebanan $y = -1{,}7x + 46{,}8$ dengan $y = V_o$ dan $x = I_L$. Nilai hambatan keluaran R_o merupakan gradient dari garis lengkung pembebanan yaitu 1,7 Ω. Besarnya nilai R_o menunjukkan adanya jatuh tegangan yang disebabkan oleh arus beban yang

mengalir pada beban penguji yang digunakan. Data pengujian tegangan dengan beban dapat dilihat dalam Lampiran 4.

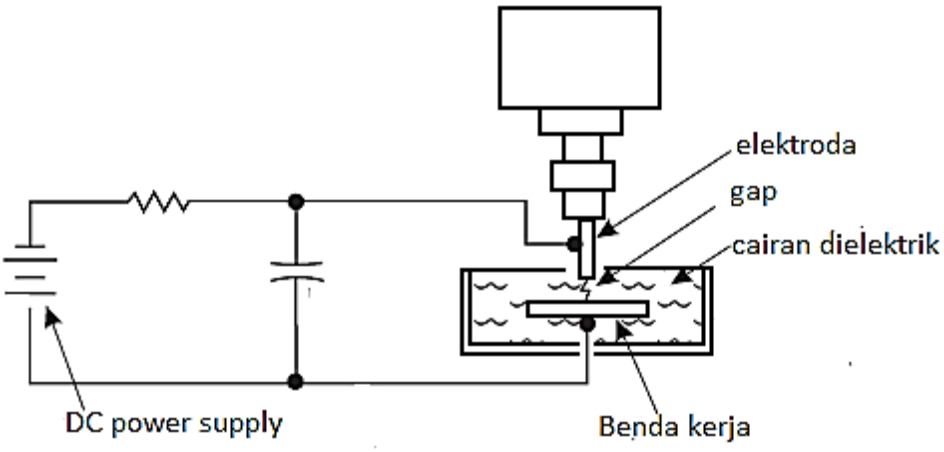
4.3. Pengujian EDM

Pengujian EDM dilakukan dalam dua tahap, yang pertama dengan memvariasikan konsentrasi larutan dielektrik dan yang kedua dengan variasi ketebalan plat pada benda kerja. Cairan dielektrik yang digunakan adalah larutan NaCl dengan variasi konsentrasi dari 0,2 M hingga 1 M. Elektroda yang digunakan adalah kawat tembaga dengan diameter 4 mm dan plat baja yang digunakan mempunyai ketebalan 1,22 mm hingga 3,21 mm.

Proses dimulai dengan melarutkan 12,21 gr NaCL 95 % dalam 1 liter aquades sehingga menghasilkan konsentrasi larutan NaCl 0,2 M. Elektroda dan plat baja yang telah disiapkan dimasukkan ke dalam larutan dan diatur hingga posisinya seperti Gambar 4.4. Elektroda dan plat baja harus terendam di dalam larutan dan tidak boleh menempel atau harus ada jarak (*gap*) agar tidak terjadi konsleting pada *power supply*. Pada variasi konsentrasi larutan, waktu untuk proses EDM dibuat sama yaitu 20 menit dengan tegangan dari *power supply* sebesar 48 V.

Selama proses EDM berlangsung, nilai arus dan perubahan besar tegangan diukur secara berkala setiap 5 menit sekali untuk mengetahui karakteristik proses EDM. Proses diulangi sebanyak 5 kali dengan konsentrasi larutan yang berbeda, perhitungan masa NaCl yang dibutuhkan untuk

mendapatkan konsentrasi larutan 0,4 M, 0,6 M, 0,8 M, dan 1 M dapat dilihat dalam Lampiran 5.



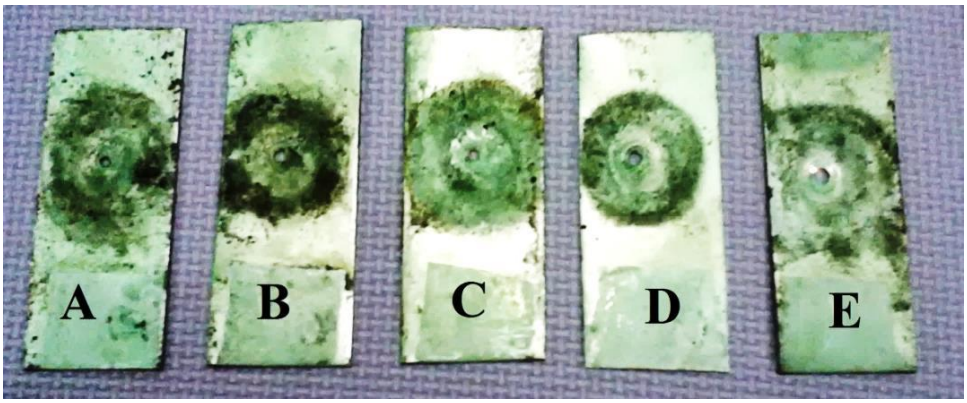
Gambar 4.4. Skema EDM (Jameson, 2001: 10).

Hasil uji EDM dengan variasi konsentrasi larutan dielektrik dapat dilihat dalam Tabel 4.4. Dalam Tabel 4.4 memperlihatkan pengaruh konsentrasi larutan terhadap kerja EDM dengan waktu pengujian yang sama. Kecepatan proses EDM atau proses pembuangan material dapat diketahui dari jumlah massa plat yang berkurang selama proses. Plat baja ditimbang sebelum dan setelah proses EDM dilakukan. Penimbangan menggunakan timbangan digital (Lampiran 6).

Tabel 4.4 Data pengujian EDM dengan variasi konsentrasi larutan

No.	Konsentrasi Larutan (Molar)	Ketebalan plat (mm)	Waktu (menit)	Massa awal m_1 (gram)	Massa akhir m_2 (gram)	$\Delta m = m_1 - m_2$ (gram)
1.	0,2	1,22	20	34,68	33,63	1,05
2.	0,4	1,22	20	36,36	35,29	1,07
3.	0,6	1,22	20	36,69	35,43	1,26
4.	0,8	1,22	20	36, 43	35,06	1,37
5.	1	1,22	20	36,85	35,03	1,82

Dari Tabel 4.4 didapatkan informasi bahwa pada konsentrasi larutan 1 M terjadi proses pembuangan material paling besar yaitu 1,82 gram. Hasil uji EDM dengan variasi konsentrasi larutan ditunjukkan lebih jelas oleh Gambar 4.5 yang memperlihatkan pembuangan material pada plat baja.

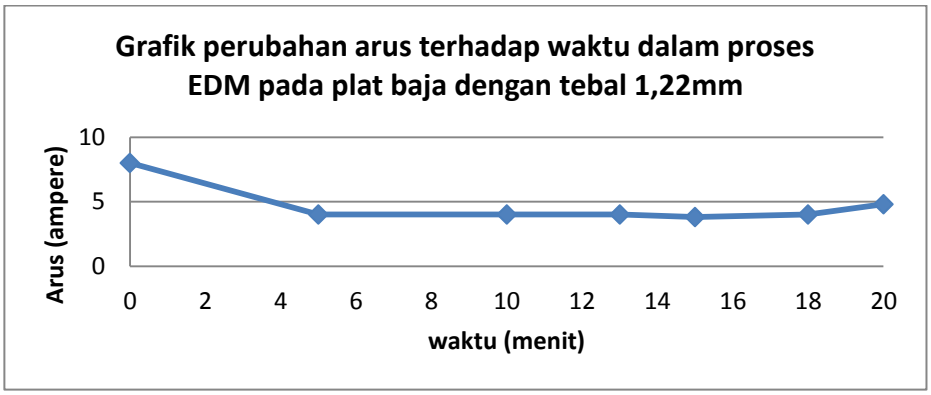


Gambar 4.5 Hasil uji EDM dengan variasi konsentrasi larutan dielektrik (A) 0,2 M; (B) 0,4 M; (C) 0,6 M; (D) 0,8 M; (E) 1 M.

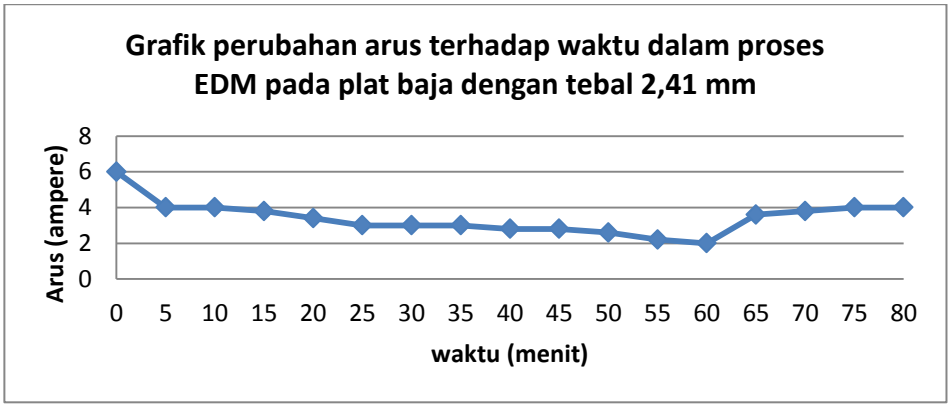
Setelah 20 menit proses EDM berlangsung semua plat ternyata telah berlubang, yang membedakan adalah besar-kecilnya lubang yang dihasilkan. Seperti lubang terkecil ditunjukkan oleh Gambar 4.5A dan yang terbesar Gambar 4.5E. Besarnya lubang pada plat baja mengindikasikan terjadinya proses pembuangan material lebih cepat selama proses uji EDM. Pelepasan energi listrik terjadi pada tempat dimana medan listrik paling kuat, pengaruh medan listrik membuat ion-ion negatif dan positif bergerak. Pergerakkan ion dipercepat seiring besarnya konsentrasi larutan, sehingga menimbulkan saluran terionisasi dimana proses pembuangan material terjadi.

Dari hasil sebelumnya, dilanjutkan dengan pengujian EDM variasi ketebalan plat yang bertujuan untuk mengetahui performa dari mesin EDM. Konsentrasi larutan yang digunakan yaitu 1 M dengan variasi plat baja 1,22 mm,

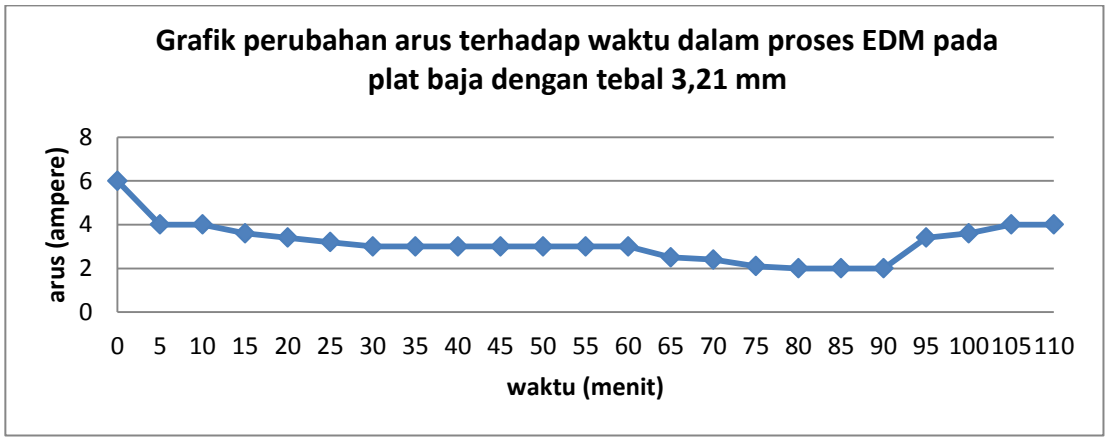
2,41 mm, dan 3,21mm. Selama proses, nilai arus dan tegangan diukur secara berkala setiap 5 menit dan proses berhenti setelah terjadi lubang pada plat baja. Hasil pengujian proses EDM dengan variasi ketebalan plat baja dapat dilihat dalam Gambar 4.6.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.6 Grafik hubungan perubahan arus terhadap waktu pada plat baja dengan ketebalan (a) 1,22mm; (b) 2,41 mm; (c) 3,21 mm.

Pada awal proses EDM, arus keluarannya cukup tinggi sebesar 8 A seperti terlihat pada Gambar 4.6a. Selama proses pelubangan plat baja nilai arus turun secara kontinyu, hal ini berkebalikan terhadap nilai tegangan pada *power supply* yang semakin besar. Perubahan nilai arus selama proses mempengaruhi kerja dari EDM, pada awal proses uji arus semakin menurun, dan pada waktu tertentu nilai arus mulai naik. Disaat nilai arus mulai mengalami kenaikan, sudah terbentuk lubang pada plat baja. Fenomena tersebut terjadi berulang pada setiap proses EDM dilakukan.

Pada plat baja dengan ketebalan 1,22 mm hal tersebut dapat dengan mudah dilihat, tapi untuk plat baja yang lebih tebal cukup sulit untuk dijadikan patokan karena proses EDM berlangsung sangat lama. Gambar 4.6 menunjukkan perbedaan waktu yang dibutuhkan pada masing-masing plat. Pada plat baja dengan ketebalan 1,22 mm terjadi pelubangan pada menit ke 18 ketika nilai arus mengalami kenaikan. Plat baja dengan ketebalan 2,41 mm mulai terjadi kenaikan arus pada menit ke 65, namun proses pelubangan mulai terlihat pada menit ke 75.

Hal ini juga terjadi pada plat baja dengan ketebalan 3,21 mm, terjadi kenaikann arus pada menit ke 95 dan mulai terlihat pelubangan pada menit ke 105.

Waktu yang dibutuhkan dalam proses EDM masih terlalu lama, tergantung dari ketebalan plat yang digunakan. Semakin tebal plat baja, membutuhkan waktu semakin lama dalam proses pembuangan material yang terjadi. Penelitian yang dilakukan Susiswo (2014) pada baja perkakas SKD 11 dengan ketebalan 2 mm hanya membutuhkan waktu 4 sampai 6 menit dengan setting tegangan 340 volt dan 2 sampai 3 menit untuk setting tegangan 580 volt. Dari data uji EDM yang telah dilakukan faktor tegangan dan cairan dielektrik mempengaruhi pembentukan kawah atau lubang pada benda kerja, hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Susiswo. Data uji EDM dengan variasi ketebalan plat dapat dilihat dalam Lampiran 7.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Simpulan

Berdasarkan analisis yang dilakukan pada penelitian ini, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Transformator yang dibuat mampu mengeluarkan tegangan 0 V, 12 V, dan 34 V, dengan arus 10 A dan aman bekerja pada daerah 220 V. Dengan efisiensi trafo sebesar 85%.
2. *Power supply* yang dibuat mampu mengeluarkan tegangan 35 V hingga 52 V dengan arus maksimal 10 A. Nilai hambatan keluaran R_o yang diperoleh pada penelitian adalah 1,7 Ω sehingga *power supply* relatif stabil.
3. Kinerja EDM dapat dilihat pada perubahan nilai arus selama proses EDM berlangsung, saat plat baja telah berlubang maka nilai arus mulai mengalami kenaikan.

5.2 Saran

Mengacu pada hasil penelitian dan pembahsan saran peneliti adalah sebagai berikut:

1. Sebelum menggulung trafo, sebaiknya dilakukan perancangan untuk menentukan jumlah lilitan dan besar diameter kawat yang akan digunakan.
2. Perlu penambahan rangkaian pengawas (*supervisory circuit*) yang secara otomatis menghentikan kerja *power supply* bila tegangan masukan diluar spesifikasi.
3. Perlu penambahan metode *flushing* untuk sirkulasi cairan dielektrik pada celah antara benda kerja dan erlektroda.
4. Penelitian terhadap proses EDM dengan jenis benda kerja yang lain perlu dilakukan untuk mengetahui lebih banyak karakteristik dari proses EDM.

DAFTAR PUSTAKA

Gapsari, F., Sugiarto, & N. Bagus. 2011. *Pengaruh Besar Arus Listrik Pada Proses Wire EDM Terhadap Profile Error Involute Roda Gigi Lurus*. Jurnal Rekayasa Mesin, 2(3): 199-204.

Jameson, E.C. 2001. *EDM*. United State of America: Sosiety of Manufacturing Engineers.

Janmanee, P. & A. Muttamara. 2010. *Performance of Difference Electrode Material in Elektrical Diacharge Machining of Tungsten Carbide*. Energy Research Journal, 1(2): 87-90.

Jatmiko, S.S. 2003. *Desain dan Pembuatan Catu Daya Plasma DC Tegangan Tinggi untuk Reaktor DC-UBM Sputtering*. Skripsi. Semarang: FMIPA Universitas Negeri Semarang.

Junaidi, A. & D. Suprianto. 2011. *Pengaruh Temperatur Sinter Terhadap Kekerasan Elektroda Tembaga-5% Karbon yang Dibuat dengan Metode Serbuk Metalurgi*. Jurnal Austent, 3(2): 53-64.

Mahamat, A.T.Z., A.M.A. Rani, & P.Husain. 2011. *Machining of Cemented Tungsten Carbide using EDM*. Journal of Applied Sciences, 11(10): 1784-1790.

Margono, U. & H. Sudarmanto. 2012. *Rancang Bangun Transformator 7,2 V/200 A sebagai Catu Daya Filamen Tabung Trioda ITK 15-2 pada Generator Cockcroft Walton MBE Lateks 300keV/20mA*. Prosiding Penelitian dan Pengelolaan Perangkat Nuklir. Yogyakarta: BATAN.

Margunadi, A.R. 1986. *Membuat Transformator Kecil untuk Teknisi dan Hobbyst*. Jakarta: PT.Gramedia.

Oebandono, T. & A. Noviyanto. 2012. *Pengaruh Arus Listrik Terhadap Temperatur Spesimen dan Laju Pemotongan Pada EDM Drilling*. Jurnal Rekayasa Mesin, 3(1): 276-282.

Pandey, A. & S. Singh. 2010. *Current research trends in variants of Electrical Discharge Machining: A review*. International Journal of Engineeing Science and Technology, 2(6): 2172-2191.

Payal, H.S., R. Choudhary, & S. Singh. 2008. *Analysis of Electro Discharge Machined Surface of EN-31 Tool Steel*. Journal of Scientific & Industrial Research, 67: 1072-1077.

Pressman, Abraham I. 2009. *Switching Power Supply Design* (3th ed.). New York: Mc Graw Hill.

Rahman, M.S. 2007. *Buck Converter Design Issues*. Swedia: Linkoping Institute of Technology.

Singh, V., S. Kataria, S. Kadiyan, A. Lega, & S. Sharma. 2013. *Experimental Investigation of Surface Integrity of Cobalt Bonded Tungsten Carbide (WC-CO) Using EDM Process Material*. International journal of Research in Mechanical Engineering & Technology (IJRMET), 3(2): 298-301.

Sudiono & Toto Trikasjono. 2008. *Rancang Bangun Penyedia Daya Tegangan Tinggi DC Berbasis Mikrokontroler AT89C51*. Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir. Yogyakarta: STTN-BATAN.

Supriyanto, A. & J.Y. Prihatin. 2012. *Seting Parameter Electrical Discharge Machine untuk Menentukan Kekasaran Permukaan dan Laju Pembuangan Material*. Majalah Online Jurnal Teknika ATW Surakarta, 9(1): 1-6. Tersedia di http://ejurnal.atw.ac.id [diakses 22-1-2015].

Susiswo. 2014. *Experimental Study on The Effect of Delectric Fluid To MRR, EWR VWR on 340 Volt and 580 Volt of Voltage of EDM Drilling Process by Using The Sprak Generator Relaxation (RC) Type*. Thesis. Surabaya: Fakultas Teknik Industri Institute Teknologi Surabaya.

Sutrisno. 1986. *Elektronika Teori Dasar dan Penerapannya*. Bandung: ITB.

Lampiran 1. Hasil perhitungan rencana pembuatan transformator

1. Spesifikasi transformator

   Tegangan masukan atau $Vp = 220\ V$

   Tegangan keluaran atau $Vs = 32\ V$

   Arus keluaran atau $Is = 10\ A$

   Efisiensi = 80 %

2. Daya sekunder dan primer

   $Ps = Vs\ .\ Is$

   $= 32\ .\ 1$

   $= 320\ Watt$

   $Pp = 1{,}25\ .\ Ps$

   $= 1{,}25\ .\ 320$

   $= 400\ Watt$

   $Ip = \frac{Pp}{Vp} = \frac{400}{220} = 1{,}8\ A$

3. Inti Besi

   $$b = \sqrt[3]{\frac{1.5\ \times Pp}{9.9}} = \sqrt[3]{\frac{1.5\ \times 400}{9.9}} = 4 \cong 4{,}4$$

   $$h = \frac{4{,}4}{0{,}6561} = 6{,}7 \cong 7{,}3$$

   $$A = b \times h = 4{,}4 \times 7{,}3 = 32{,}5$$

4. Berat kern

   $W_b = 1{,}5 \times P_p \times 7{,}8$

   $= 1{,}5 \times 400 \times 7{,}8$

   $= 4680\ gram$

   $= 4{,}68\ kg$

5. Jumlah lilitan kawat

$$N_p = \frac{55}{32,5} \times 220 = 372,3 \cong 373$$

$$N_s = \frac{55}{32,5} \times 32 = 54,1 \cong 55$$

6. Diameter kawat

$$D_s = 0,7\sqrt{I_s}$$
$$= 0,7\sqrt{10}$$
$$= 2,2$$

$$D_p = 0,7\sqrt{I_p}$$
$$= 0,7\sqrt{1.8}$$
$$= 0,9$$

7. Berat kawat tembaga

$$b = 4,4$$

$$c = 4,4 + \frac{1}{4}\ 4,4 = 5,5$$

$$d = 4,4 + \frac{1}{2}\ 4,4 = 6,6$$

$$e = 4,4 + \frac{3}{4}\ 4,4 = 7,7$$

$$f = \frac{3}{2}\ 4,4 = 6,6$$

$$\rho = 8,92$$

a. Untuk lilitan kawat sekunder

$$JgI_s = \frac{0,9 \times f \times 10}{D_s} = \frac{0,9 \times 6,6 \times 10}{2,2} = 27\ \frac{lilitan}{lapis}\ L_s = \frac{N_s}{JgI_s} = \frac{55}{27}$$

$$= 2,03\ \ lapis$$

$$T_s = L_s \times (D_s + 0,2) = 2,03 \times (2,2 + 0,2) = 4,872\ \ mm$$

$$\bar{S}_s = 2 \times \left(c + h + \frac{1}{4}b\right) = 2 \times \left(5,5 + 6,7 + \frac{1}{4}4,4\right) = 26,6\ \ cm$$

$$S_s = N_s \times \bar{S}_s = 55 \times 26,6 = 1463\ \ cm$$

$$W_s = S_s \times \frac{\pi\left({D_s}/{10}\right)^2}{4} \times \rho = 1463 \times \frac{3,14\left({2,2}/{10}\right)^2}{4} \times 8,92$$

$$= 495,82\ \ gram = 0,5\ kg$$

b. Untuk lilitan kawat primer

$$JgI_p = \frac{0{,}9 \times f \times 10}{D_p} = \frac{0{,}9 \times 6{,}6 \times 10}{0{,}9} = 66\ \frac{lilitan}{lapis} L_p = \frac{N_p}{JgI_p} = \frac{373}{66}$$

$$= 5{,}65\ \ lapis$$

$$T_p = L_p \times \left(D_p + 0.2\right) = 5{,}65 \times (0{,}9 + 0{,}2) = 6{,}215\ \ \ mm$$

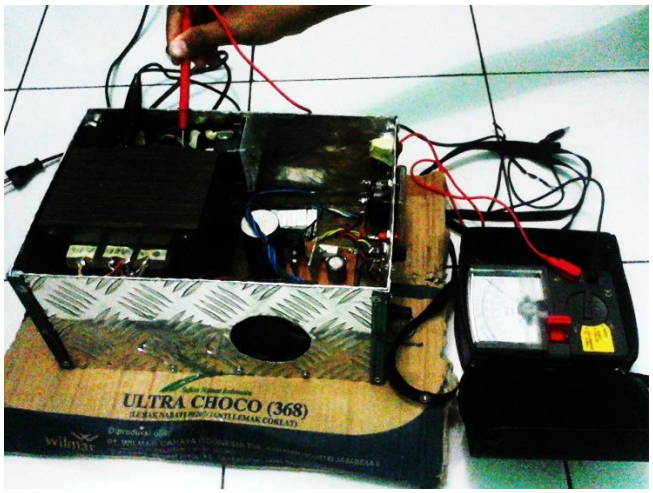
$$\bar{S}_p = 2 \times \left(e + h + \frac{1}{4}b\right) = 2 \times \left(7{,}7 + 6{,}7 + \frac{1}{4}4{,}4\right) = 35{,}4\ \ cm$$

$$S_p = N_p \times \bar{S}_p = 373 \times 35{,}4 = 13204{,}2\ \ \ cm$$

$$W_p = S_p \times \frac{\pi\left({D_p}/{10}\right)^2}{4} \times \rho = 13204.2 \times \frac{3{,}14\left({0{,}9}/{10}\right)^2}{4} \times 8{,}92$$

$$= 924{,}58\ \ gram = 1\ kg$$

Lampiran 2. Uji Tahanan Isolasi Transformator



Gambar 5.1 Pengujian tahanan isolasi pada bagian primer transformator.

Gambar 5.2 Pengujian tahanan isolasi pada bagian sekunder transformator.

Lampiran 3. Data uji kestabilan tegangan tanpa beban.

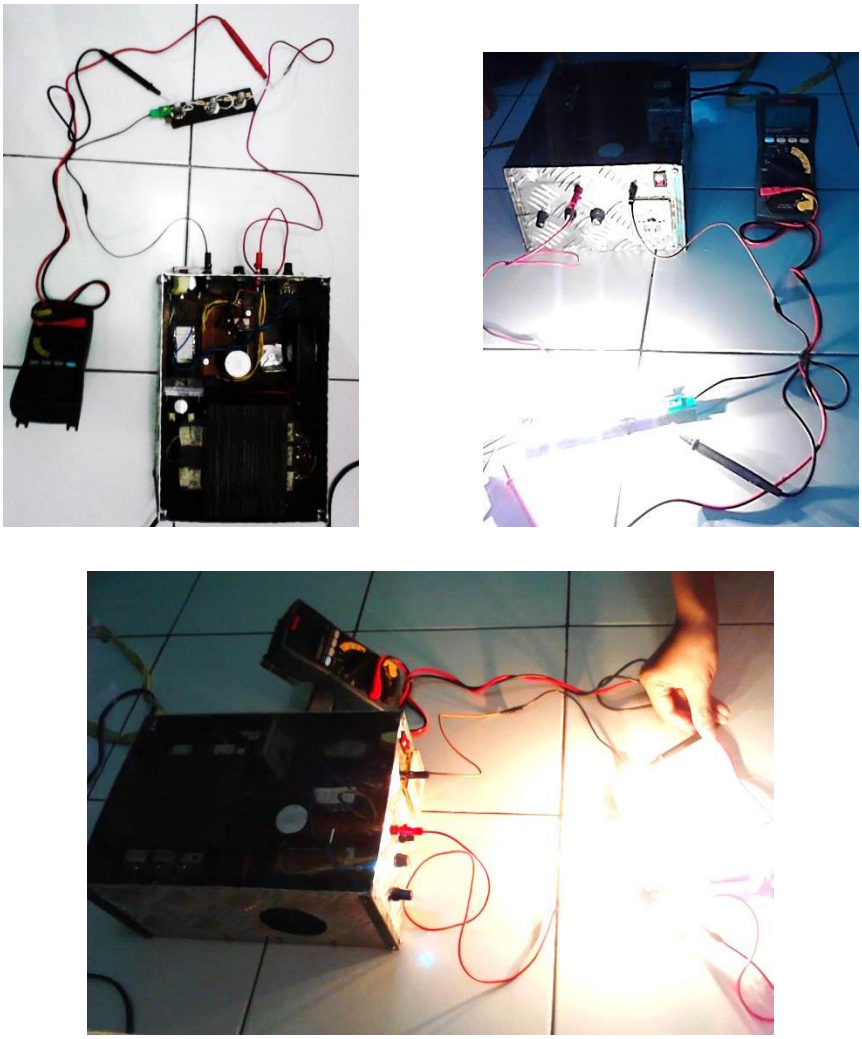
Tabel 5.1 Data uji kestabilan tegangan tanpa beban selama 24 jam.

No.	Pukul	V_p	No.	Pukul	V_p
1.	17. 30	46.1	25.	05. 30	50.2
2.	18. 00	45.7	26.	06. 00	48.2
3.	18. 30	47.5	27.	06. 30	48.8
4.	19. 00	48	28.	07. 00	48
5.	19. 30	47.4	29.	07. 30	47.8
6.	20. 00	47.9	30.	08. 00	47.7
7.	20. 30	47.7	31.	08. 30	47.5
8.	21. 00	47.5	32.	09. 00	47.4
9.	21. 30	47.6	33.	09. 30	47.5
10.	22. 00	48.2	34.	10. 00	48.6
11.	22. 30	48.2	35.	10. 30	48.4
12.	23. 00	48.4	36.	11. 00	47.6
13.	23. 30	48.4	37.	11. 30	48.2
14.	00. 00	49.3	38.	12. 00	48.5
15.	00. 30	50.3	39.	12. 30	48
16.	01. 00	50.8	40.	13. 00	48.4
17.	01. 30	51.2	41.	13. 30	49.2
18.	02. 00	51.8	42.	14. 00	48.1
19.	02. 30	52	43.	14. 30	49.1
20.	03. 00	52.3	44.	15. 00	49.1
21.	03. 30	51.9	45.	15. 30	49.5
22.	04. 00	52.2	46.	16. 00	48.1
23.	04. 30	51.6	47.	16. 30	48.9
24.	05. 00	51.7	48.	17. 00	48.2

Lampiran 4. Uji kestabilan tegangan dengan beban

Table 5.2. Data uji kestabilan tegangan dengan beban.

No.	R_L (ohm)	Vo (Volt)	I_L (Ampere)
1.	11,52	41,4	3,59
2.	17,28	43	2,49
3.	23,04	43,2	1,88
4.	28,80	43,4	1,51
5.	34,56	43,9	1,20



Gambar 5.3 Pengujian kestabilan tegangan dengan beban.

Lampiran 5. Hasil perhitungan konsentrasi larutan NaCl

Konsentrasi Larutan NaCl, dengan Mr NaCl = 58 dan kadar 95% :

$$M = \frac{mol}{volume} \quad dengan \ mol = \frac{gr}{Mr} \quad sehingga \quad M = \frac{gr/Mr}{Volume}$$

1. $Konsentrasi = 0{,}2\ M$

$$0{,}2 = \frac{gr/58}{1\ liter}$$
$$0{,}2 = \frac{gr}{58}$$
$$gr = 11{,}6$$
$$gr = 11{,}6 \div 95\%$$
$$gr = 12{,}21\ gram$$

2. $konsentrasi = 0{,}4\ M$

$$0{,}4 = \frac{gr/58}{1\ liter}$$
$$0{,}4 = \frac{gr}{58}$$
$$gr = 23{,}2$$
$$gr = 23{,}2 \div 95\%$$
$$gr = 24{,}42\ gram$$

3. $Konsentrasi = 0{,}6\ M$

$$0{,}6 = \frac{gr/58}{1\ liter}$$
$$0{,}6 = \frac{gr}{58}$$
$$gr = 34{,}8$$
$$gr = 34{,}8 \div 95\%$$
$$gr = 36{,}63\ gram$$

4. $Konsentrasi = 0{,}8\ M$

$$0{,}8 = \frac{gr/58}{1\ liter}$$
$$0{,}8 = \frac{gr}{58}$$
$$gr = 46{,}4$$
$$gr = 46{,}4 \div 95\%$$
$$gr = 48{,}84\ gram$$

5. $Konsentrasi = 1\ M$

$$1 = \frac{gr/58}{1\ liter}$$
$$1 = \frac{gr}{58}$$
$$gr = 58$$
$$gr = 58 \div 95\%$$
$$gr = 61{,}05\ gram$$

Lampiran 6. Alat yang digunakan selama proses penelitian

Gambar 5.4 Alat yang digunakan selama proses penelitian.

Lampiran 7. Data uji EDM dengan variasi ketebalan plat.

Tabel 5.3 Data uji EDM pada plat baja dengan tebal 1,22 mm

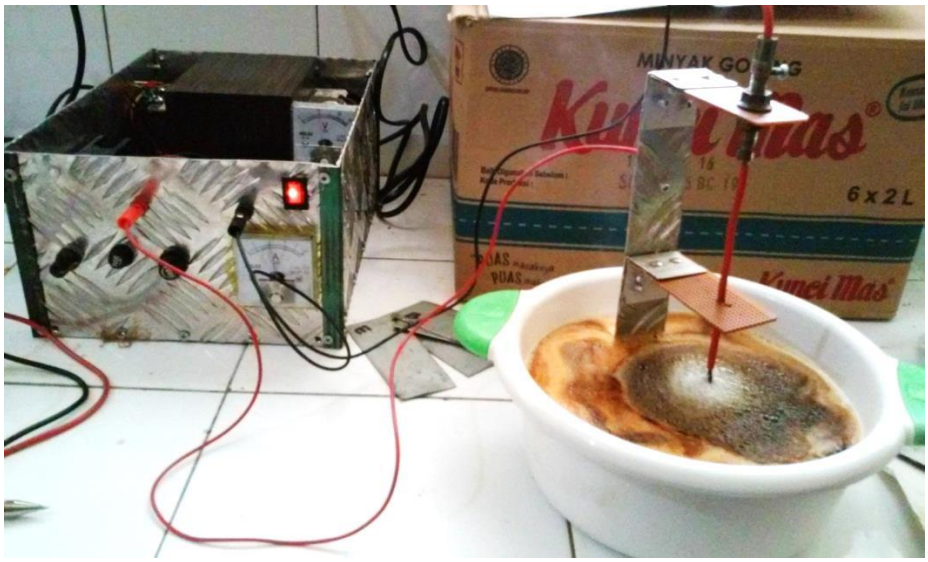
No.	Waktu (menit)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)
1.	0	34,8	8
2.	5	37,9	4
3.	10	38	4
4.	13	38,1	4
5.	15	38,3	3,8
6.	18	38	4
7.	20	37	4,8

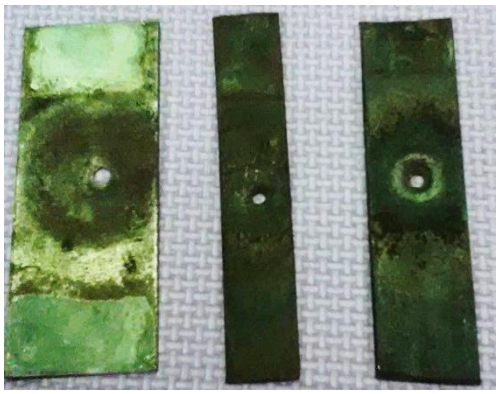
Tabel 5.4 Data uji EDM pada plat baja dengan tebal 2,41 mm

No.	Waktu (menit)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)
1.	0	35,2	6
2.	5	38	4
3.	10	38,2	4
4.	15	38,6	3,8
5.	20	39	3,4
6.	25	39,2	3
7.	30	39,5	3
8.	35	39,6	3
9.	40	40	2,8
10.	45	40,2	2,8
11.	50	40,5	2,6
12.	55	41	2,2
13.	60	41,7	2
14.	65	38,6	3,6
15.	70	38,4	3,8
16.	75	37,2	4
17.	80	37,2	4

Tabel 5.4 Data uji EDM pada plat baja dengan tebal 2,41 mm

No.	Waktu (menit)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)
1.	0	35	6
2.	5	37,3	4
3.	10	37	4
4.	15	38	3,6
5.	20	38,2	3,4
6.	25	38,4	3,2
7.	30	38,9	3
8.	35	39	3
9.	40	39	3
10.	45	39,1	3
11.	50	39	3
12.	55	38,8	3
13.	60	39,3	3
14.	65	40,2	2,5
15.	70	40,6	2,4
16.	75	41	2,1
17.	80	41	2
18.	85	40,8	2
19.	90	40,9	2
20.	95	38,7	3,4
21.	100	37	3,6
22.	105	37	4
23.	110	37,2	4





Gambar 5.5 Proses dan hasil uji EDM