

**RANCANG BANGUN SISTEM CATU DAYA DENGAN METODE  
*SWITCHING MODE POWER SUPPLY (SMPS)* BERBASIS  
ARDUINO UNTUK APLIKASI *ELECTROSPINNER***

**(Skripsi)**

**Oleh**

**KHOIRUL EFFENDI**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2019**

## ABSTRAK

### RANCANG BANGUN SISTEM CATU DAYA DENGAN METODE *SWITCHING MODE POWER SUPPLY (SMPS) BERBASIS ARDUINO UNTUK APLIKASI ELECTROSPINNER*

Oleh

**KHOIRUL EFFENDI**

Pada penelitian ini, telah dikembangkan catu daya dengan metode *switching mode power supply* (SMPS) berbasis Arduino. Catu daya dengan metode SMPS berbasis Arduino terdiri dari dua blok sistem, yaitu SMPS dan sistem kontrol. SMPS terdiri dari masukan tegangan AC, filter awal, penyearah, pembangkit sinyal PWM, *switcher*, transformator, penyearah akhir, filter akhir dan keluaran DC. Sementara sistem kontrol terdiri dari *voltage regulator*, *driver* pengontrol tegangan, arduino, *seven segment 4* digit dan sensor arus. Arduino digunakan untuk memproses masukan dari *keypad 4x4* dan menampilkan nilai tegangan serta arus keluaran dari catu daya kedalam *seven segment 4* digit. Arduino sebagai pembangkit *pulse width modulation* (PWM) digunakan untuk mengontrol tegangan keluaran catu daya dengan menggunakan teknik *duty cycle*. Hasil penelitian menunjukkan *duty cycle* mempengaruhi keluaran dari catu daya. Tegangan keluaran yang dihasilkan catu daya dapat dikontrol dari 0-100 V dengan arus sebesar 7,3 A dengan tingkat akurasi sebesar 98,19%, dan ralat sebesar 1,81%. Catu daya yang dihasilkan juga memiliki tegangan keluaran tambahan baik *single voltage* maupun *double voltage* sebesar 15 VDC. Catu daya dengan metode SMPS berbasis Arduino memiliki keunggulan seperti lebih efisien dalam segi dimensi, menghasilkan catu daya dengan keluaran stabil, daya keluaran yang besar, dan tegangan yang dapat diatur sesuai dengan kebutuhan beban.

**Kata kunci:** *Arduino, Catu Daya, Pulse Width Modulation, Switching Mode Power Supply*

## ABSTRACT

### DESIGN AND REALISATION OF POWER SUPPLY SYSTEM USING SWITCHING MODE POWER SUPPLY (SMPS) METHOD BASED AN ARDUINO FOR ELECTROSPINNER APPLICATIONS

By

**KHOIRUL EFFENDI**

*In this research, the power supply was designed with switching mode power supply (SMPS) method based an arduino. The power supply with SMPS method based an arduino consists of two system blocks, namely the SMPS and the control system. The SMPS consists of an AC voltage input, initial filter, rectifier, PWM signal generator, switcher, transformer, final rectifier, final filter and DC output. While the system control consists of a voltage regulator, a voltage controller driver, an arduino, seven segment 4 digits and a current sensor. Arduino used to process input from the 4x4 keypad and display the value of the output voltage and current from the power supply into 4 digits seven-segment. Arduino as a pulse width modulation (PWM) generator was used to control the output voltage of the power supply using the duty cycle technique. The results showed the duty cycle affects the output of the power supply. The output voltage generated by the power supply can be controlled from 0 to 100 V with a current of 7.3 A which has an accuracy rate of 98.19%, and error of 1.81%. The power supply generated also has an additional output voltage either single voltage or double voltage of 15 VDC. The power supply with SMPS method based an arduino has advantages such as being more efficient in terms of dimensions, producing power supplies with stable output, large output power, and voltage that can be adjusted according to load requirements.*

**Keywords:** *Arduino, Power Supply, Pulse Widht Modulation, Switching Mode Power Supply*

**RANCANG BANGUN SISTEM CATU DAYA DENGAN METODE  
SWITCHING MODE POWER SUPPLY (SMPS) BERBASIS  
ARDUINO UNTUK APLIKASI ELECTROSPINNER**

Oleh

**KHOIRUL EFFENDI**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
SARJANA SAINS**

**Pada**

**Jurusan Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2019**

Judul Skripsi : **Rancang Bangun Sistem Catu Daya dengan Metode *Switching Mode Power Supply (SMPS)* Berbasis Arduino untuk Aplikasi *Electrospinner***

Nama Mahasiswa : **Khoirul Effendi**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1417041043

Jurusan : Fisika

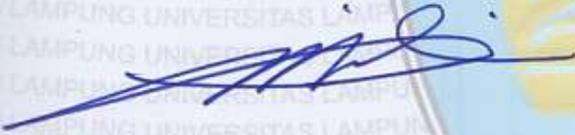
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

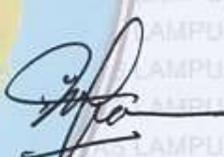
**MENYETUJUI**

**1. Komisi Pembimbing**

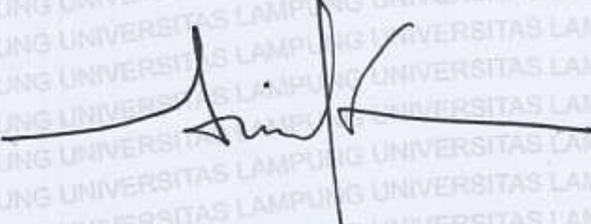
Pembimbing I

Pembimbing II

  
**Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc.**  
NIP. 19820618 200812 1 001

  
**Sri Wahyu Suciwati, S.Si., M.Si.**  
NIP. 19710829 199703 2 001

**2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA**

  
**Arif Surtano, S.Si., M.Si., M.Eng.**  
NIP. 19710909 200012 1 001

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

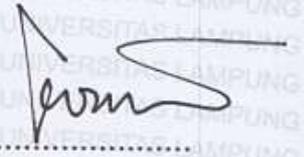
**Ketua : Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc.**



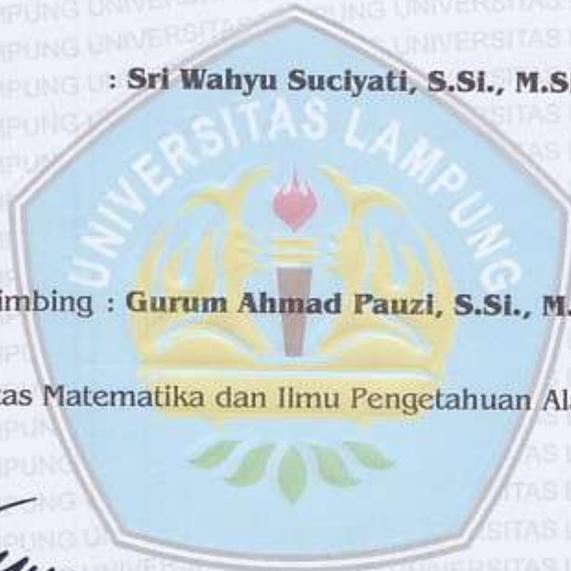
**Sekretaris : Sri Wahyu Suciyati, S.Si., M.Si.**



**Penguji  
Bukan Pembimbing : Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.**



**2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**Drs. Suratman, M.Sc.**  
NIP. 19640604 199003 1 002

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 28 Oktober 2019**

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepengetahuan saya tidak ada karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila ada pernyataan saya yang tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 12 November 2019



**Khoirul Effendi**  
NPM. 1417041043

## RIWAYAT HIDUP



**Khoirul Effendi** dilahirkan di Tanggamus, Provinsi Lampung pada 15 Januari 1996. Ia merupakan anak keempat dari enam bersaudara pasangan Bapak Ahmad Jaya dan Ibu Suyasmi. Penulis yang sering disapa “Khoirul” pernah menempuh pendidikan di MIMA Landbaw tahun 2002-2008, MTS MA Landbaw tahun 2008-2011, dan melanjutkan ke SMA Negeri 1 Sumberejo pada tahun 2011-2014.

Pada tahun 2014, penulis melanjutkan jenjang pendidikan tinggi tepatnya di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas Lampung dan mengambil konsentrasi dalam bidang Instrumentasi Fisika. Selama menjalani pendidikan tinggi tersebut, ia juga aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) sebagai pengurus di bidang Kaderisasi tahun 2015 dan pernah menjabat sebagai Ketua Bidang Kaderisasi pada kepengurusan tahun 2016.

Penulis pernah menempuh Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Way Rilau Kota Bandar Lampung dan melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Banjarnegeri, Kecamatan Gunung Alip, Kabupaten Tanggamus. Pengalaman menulis ilmiahnya yakni laporan PKL pada tahun 2017

tentang “Mekanisme Kinerja Pengadukan Hidrolisis Sebagai Koagulator dan Flokulator Berdasarkan Hasil *Jar Test*”.

**MOTTO**

***“Sugih Tanpo Bondo Digdoyo Tanpo Aji, Trimah Mawi Pasrah  
Sepi Pamrih Tebih Ajrih”***  
**(Sujiwo Tejo)**

***“Wani Dadi Opo-Opo Lan Wani Ora Dadi Opo-Opo, Yen  
Penting Manfaati Kangge Liyane”***  
**(Jancukers)**

***“Dengan Menghargai Orang Lain, Kita Tidak Kehilangan  
Apapun. Dengan Merendahkan Orang Lain Kita Akan  
Kehilangan Harga Diri”***  
**(Mustofa Bisri)**

***“Bekal Utama Hidup Bukanlah Ilmu, Melainkan *Tawadhlu’*,  
Rendah Hati dan Tahu Diri. *Biso Rumongso*  
Bukan *Rumongso Biso*”***  
**(Emha Ainun Najib)**

***“Gitu Aja Kok Repot”***  
**(Abdurrahman Wahid)**

## **PERSEMBAHAN**

**Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT, Karya ini  
dipersembahkan kepada:**

### *Kedua Orang Tua dan Keluarga Besar*

Terimakasih atas segala Doa, motivasi dan pengorbanan yang telah diberikan sehingga aku mampu menyelesaikan pendidikan di tingkat Universitas sebagai Sarjana.

### *Bapak-Ibu Guru*

Terimakasih atas segala ilmu pengetahuan dan budi pekerti yang telah membuka hati dan wawasanaku

### *Sahabat dan Teman Seperjuangan*

Terimakasih atas segala kebaikan dan kebersamaan kalian

### *Almamaterku Tercinta*

UNIVERSITAS LAMPUNG

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis ucapkan atas karunia dan kesempatan yang Allah SWT berikan hingga akhirnya dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Rancang Bangun Sistem Catu Daya dengan Metode *Switching Mode Power Supply* (SMPS) Berbasis Arduino untuk Aplikasi *Electrospinner*”**. Tujuan penulisan skripsi ini sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar S1 dan juga melatih mahasiswa untuk berpikir cerdas dalam penulisan karya ilmiah ini.

Penulis menyadari adanya kekurangan dalam penelitian maupun penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, adanya kritik dan saran dari pembaca sangat diharapkan untuk memperbaiki kekurangan tersebut. Semoga skripsi ini dapat menambah wawasan literasi keilmuan serta rujukan untuk mengembangkan riset selanjutnya yang lebih baik.

Bandar Lampung, 12 November 2019  
Penulis

Khoirul Effendi

## SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan atas karunia dan kesempatan yang Allah SWT berikan hingga akhirnya dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Rancang Bangun Sistem Catu Daya dengan Metode *Switching Mode Power Supply* (SMPS) Berbasis Arduino untuk Aplikasi *Electrospinner*”**. Berhasilnya penelitian dan penulisan skripsi ini tidak hanya dilakukan oleh penulis sendiri namun adanya kontribusi beberapa pihak yang turut menyukseskan dan membuat hasil karya ini menjadi lebih baik. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada pihak-pihak yang telah ikut serta membantu penulis, diantaranya:

1. Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan ilmu serta masukannya dalam pelaksanaan penelitian dan penulisan skripsi.
2. Sri Wahyu Suciwati, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing II atas segala ilmu, saran dan bimbingannya selama pelaksanaan penelitian dan penulisan skripsi.
3. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku dosen penguji dan Sekertris Jurusan Fisika yang telah memberikan masukan sehingga penulisan skripsi ini dapat lebih baik.
4. Drs. Pulung Karo Karo, M.Si. selaku dosen pembimbing akademik atas masukan dan bimbingan selama perkuliahan.

5. Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Fisika beserta dosen dan karyawan Jurusan Fisika atas ilmu pengetahuan yang diberikan sebagai penunjang bagi penulis dalam menyelesaikan pendidikan di Universitas Lampung dan bekal untuk masa mendatang.
6. Drs. Suratman, M.Sc. selaku Dekan serta staf dan karyawan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
7. Kedua Orang Tua dan keluarga besar yang telah banyak memberikan dukungan secara moril dan materil, senantiasa terus mendoakan dan memberi semangat.
8. Rekan penelitian, Yuliyani Dwi Prabowo, Angga Wahyu Pratama, Doni Mailana Pangestu, dan Hesti Wahyu Handani yang sudah berjuang sama-sama, saling memberi motivasi, dan selalu membantu.
9. Teman-teman seperjuangan Fisika 2014 dan #SahabatHimafi, yang telah membantu serta memberi makna tentang solidaritas, kepedulian dan kekeluargaan.

Serta berbagai pihak yang telah ikut serta membantu dalam menyelesaikan skripsi dan masa studi penulis yang tidak dapat disebutkan satu-persatu. Semoga Allah SWT membalas dengan kebaikan dan kemudahan dalam segala urusannya.

Bandar Lampung, 12 November 2019  
Penulis

Khoirul Effendi

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>ii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>iv</b>
<b>LEMBAR PERSETUJUAN .....</b>	<b>v</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>vi</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN.....</b>	<b>vii</b>
<b>RIWAYAT HIDUP .....</b>	<b>viii</b>
<b>MOTTO .....</b>	<b>x</b>
<b>PERSEMBAHAN.....</b>	<b>xi</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xii</b>
<b>SANWACANA .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xix</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	4
C. Tujuan Penelitian .....	4
D. Manfaat Penelitian .....	5
E. Batasan Masalah .....	5

## **II. TINJAUAN PUSTAKA**

A. Penelitian Terkait.....	6
B. Catu Daya .....	8
C. Perbandingan Catu Daya Regulator Linier dan Pensaklaran.....	9
D. <i>Flyback Converter</i> .....	11
E. Transformator .....	12
F. Desain Transformator <i>Flyback</i> .....	14
G. <i>Pulse Width Modulation (PWM)</i> .....	17
H. <i>Electrospinner</i> .....	19

## **III. METODE PENELITIAN**

A. Waktu dan Tempat.....	21
B. Alat dan Bahan .....	21
C. Prosedur Penelitian .....	23

## **IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

A. Perancangan Sistem .....	37
B. Pengujian dan Analisis Data.....	51

## **V. KESIMPULAN DAN SARAN**

A. Kesimpulan.....	59
B. Saran .....	60

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
Gambar 2.1 Rangkaian regulator linier .....	9
Gambar 2.2 Rangkaian regulator pensaklaran .....	10
Gambar 2.3 Topologi konverter <i>flyback</i> .....	11
Gambar 2.5 (a) Transformator dua lilitan, (b) transformator ideal .....	13
Gambar 2.6 Pulsa <i>Pulse Width Modulation</i> .....	17
Gambar 2.7 Perbandingan nilai <i>duty cycle</i> dengan nilai PWM 8 bit .....	19
Gambar 2.8 Sistem <i>electrospinner</i> .....	20
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	24
Gambar 3.2 Diagram blok perangkat keras SMPS.....	25
Gambar 3.3 Rangkaian SMPS dengan topologi <i>flyback converter</i> .....	28
Gambar 3.4 Diagram blok perangkat keras sistem kontrol .....	29
Gambar 3.5 Rangkaian sistem kontrol .....	30
Gambar 3.6 Diagram alir program .....	31
Gambar 3.7 Grafik hubungan antara jumlah lilitan dan diameter kawat terhadap keluaran SMPS .....	33
Gambar 3.8 Grafik hubungan antara tegangan masukan terhadap tegangan keluaran .....	34
Gambar 4.1 SMPS berbasis arduino dengan (a) blok SMPS dan (b) blok sistem kontrol .....	37
Gambar 4.2 <i>Switch Mode Power Supply</i> (SMPS). .....	38

Gambar 4.3	Sinyal keluaran UC 3843BN .....	39
Gambar 4.4	Realisasi <i>voltage regulator</i> 9 V dan 5 V .....	40
Gambar 4.5	Grafik pengujian stabilitas tegangan keluaran dari <i>voltage regulator</i> (a) 5 V dan (b) 9 V .....	41
Gambar 4.6	Realisasi rangkaian kontrol. ....	42
Gambar 4.7	Realisasi sistem kontrol.....	43
Gambar 4.8	Realisasi rangkaian <i>seven segment</i> MAX7219.....	46
Gambar 4.9	Grafik kalibrasi sensor arus ACS 712 30 A .....	48
Gambar 4.10	Grafik akurasi sensor arus ACS 712 .....	49
Gambar 4.11	Grafik hubungan <i>duty cycle</i> terhadap tegangan keluaran Arduino.....	50
Gambar 4.12	Grafik hubungan jumlah lilitan sekunder ( $d = 1,63$ mm) terhadap keluaran SMPS. ....	51
Gambar 4.13	Grafik hubungan jumlah lilitan sekunder ( $d = 1,83$ mm) terhadap keluaran SMPS. ....	52
Gambar 4.14	Grafik akurasi tegangan keluaran SMPS terhadap masukan tegangan.....	54
Gambar 4.15	Grafik stabilitas keluaran SMPS dengan beban 3 buah lampu pijar 100 watt.....	56
Gambar 4.16	Grafik stabilitas keluaran SMPS dengan beban 6 buah lampu pijar 100 watt.....	57

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
Tabel 3.1 Alat-alat Penelitian.....	21
Tabel 3.2 Bahan-bahan penelitian.....	22
Tabel 3.3 Perangkat lunak yang digunakan .....	23
Tabel 3.4 Pengaruh jumlah lilitan dan diameter kawat terhadap keluaran SMPS .....	32
Tabel 3.5 Pengujian tegangan masukan terhadap tegangan keluaran .....	33
Tabel 3.6 Pengujian stabilitas SMPS .....	35
Tabel 4.1 Fungsi masing-masing tombol pada <i>keypad</i> .....	44

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Peralatan elektronika saat ini telah menjadi bagian penting di dalam kehidupan manusia, terutama dalam membantu aktivitasnya. Pada umumnya, peralatan elektronika dapat berfungsi jika ada sumber daya listrik. Sumber daya listrik yang umum digunakan dapat berupa catu daya (*power supply*). Catu daya merupakan suatu rangkaian elektronik yang mengubah arus bolak-balik atau *alternating current* (AC) menjadi arus searah atau *direct current* (DC) untuk menyuplai peralatan elektronika.

Saat ini, catu daya yang umum digunakan adalah catu daya konvensional atau catu daya linier. Catu daya linier adalah catu daya yang menggunakan trafo *step down* sebagai penurun tegangan AC. Kemudian tegangan disearahkan menjadi tegangan DC oleh diode penyearah. Setelah disearahkan, tegangan DC kemudian di filter untuk menghaluskan tegangan keluaran dan distabilkan menggunakan regulator. Catu daya linier menghasilkan tegangan yang stabil, akan tetapi frekuensi dan arus yang dihasilkan rendah. Arus yang dihasilkan oleh catu daya linier yaitu sekitar 1-10 A dan frekuensi sebesar 50/60 Hz (Pujiyatmoko dkk., 2014). Semakin besar arus dan frekuensi yang ingin dihasilkan, maka semakin besar juga dimensi trafo yang digunakan. Catu daya linier juga membutuhkan ruang yang besar untuk

menempatkan trafo. Pada saat ini piranti elektronik dituntut untuk lebih efisien baik dalam segi ruang maupun fungsi. Oleh karena itu catu daya linier kurang tepat digunakan untuk piranti elektronik yang membutuhkan frekuensi, arus, dan tegangan yang tinggi dengan bentuk yang minimalis.

Dewasa ini, telah banyak dilakukan pengembangan terhadap catu daya yaitu catu daya menggunakan metode pensaklaran atau *switching mode power supply* (SMPS). Menurut Sahu dan Pradhan (2016), SMPS merupakan catu daya yang menggunakan MOSFET sebagai saklar (*switch*). MOSFET sebagai saklar digunakan untuk mengatur frekuensi dan meneruskannya ke bagian induktor dan kapasitor yang kemudian disalurkan ke piranti elektronik. SMPS memiliki beberapa jenis topologi konverter, diantaranya: *buck converter*, *boost converter*, *flyback converter*, *forward converter*, *half bridge converter*, *full bridge*, dan *push-pull converter*. Masing-masing topologi mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing.

Dari beberapa topologi konverter diatas, pada penelitian ini topologi konverter yang digunakan adalah topologi *flyback converter*. Sebagaimana yang telah dilakukan oleh (Jagadish dan Jayapal, 2017), yang telah berhasil merancang suatu desain dan pengembangan catu daya dengan metode pensaklaran atau *switch mode power supply* (SMPS) universal. Pada penelitiannya, topologi yang digunakan adalah topologi *flyback converter*. Dari penelitian yang dilakukannya dihasilkan tegangan keluaran sebesar 12 V dengan arus sebesar 2A, dan frekuensi sebesar 66 kHz. Konverter dengan tipe topologi *flyback converter* tepat digunakan untuk konverter berdaya rendah. Selain itu, *flyback converter* lebih sederhana dari segi desain dan serbaguna karena tegangan keluaran dapat diatur sesuai dengan kebutuhan beban.

Catu daya dapat digunakan sebagai pencatu daya listrik bagi alat-alat elektronik maupun alat-alat dalam skala laboratorium, seperti *ultrasonic cleaner*, osiloskop, sumber tegangan tinggi (*high voltage*), dan khususnya *electrospinner*. *Electrospinner* merupakan instrumen yang digunakan untuk membuat serat nano dengan memanfaatkan pengaruh medan listrik dalam menghasilkan pancaran larutan atau lelehan polimer bermuatan listrik. *Electrospinner* terdiri dari beberapa komponen, yaitu catu daya, *high voltage* (0-30 kV), *syringe pump*, dan *collector drum*. Catu daya berfungsi sebagai penyuplai daya untuk *high voltage*, *syringe pump*, dan *collector drum* (Marno dkk., 2018). *High voltage* memerlukan tegangan masukan sebesar 0-24 VDC sebagai masukan tegangan *driver* transformator *flyback*. Tegangan 0-24 V kemudian dikonversi menjadi tegangan tinggi 0-21 kV dengan teknik *pulse width modulation* (PWM) (Prabowo, 2019). *Syringe pump* dan *collector drum* membutuhkan tegangan masukan sebesar 12 VDC (Marno, dkk., 2018). *Electrospinner* memerlukan catu daya yang memiliki keluaran stabil agar *electrospinner* dapat bekerja dengan baik walaupun digunakan dalam jangka waktu yang panjang. Hal ini dapat diatasi dengan membuat catu daya yang stabil, yang dibuat dengan menggunakan teknik pensaklaran atau *switching*.

Dari permasalahan di atas maka pada penelitian ini akan dibuat suatu piranti catu daya yang memiliki tegangan keluaran stabil dengan metode pensaklaran (*switching*). Catu daya yang akan dibuat berbasis Arduino tipe Nano sebagai pengendali PWM untuk mengontrol tegangan keluaran dari 0-100 VDC, sehingga dapat disesuaikan dengan kebutuhan. Pengaturan nilai tegangan dilakukan menggunakan keypad berukuran 4x4. Catu daya ini juga dilengkapi dengan sensor arus dan tegangan yang berfungsi untuk mendeteksi nilai arus dan tegangan

keluaran. Nilai dari arus dan tegangan yang terdeteksi ini kemudian ditampilkan ke *seven segment* 4 digit. Catu daya yang akan dibuat juga memiliki tegangan keluaran ekstra sebesar (+15 V, 0 V, - 15 V) dan 15 V.

## **B. Rumusan Masalah**

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan membangun catu daya dengan metode pensaklaran (*switching*) berbasis mikrokontroler Arduino.
2. Bagaimana mengetahui pengaruh jumlah lilitan dan diameter pada trafo ferit terhadap daya keluaran pada catu daya.
3. Bagaimana merancang dan membangun catu daya yang memiliki beberapa keluaran (*multiple output*).
4. Bagaimana mengontrol besar nilai tegangan keluaran catu daya menggunakan Arduino.

## **C. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan membangun catu daya dengan metode pensaklaran (*switching*) berbasis mikrokontroler Arduino.
2. Mengkarakterisasi trafo ferit terhadap jumlah lilitan dan diameter kawat yang digunakan.
3. Merancang dan membangun catu daya yang memiliki beberapa keluaran (*multiple output*).
4. Mengontrol nilai tegangan keluaran catu daya menggunakan Arduino.

#### **D. Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah diperolehnya catu daya yang mampu menghasilkan beberapa keluaran (*multiple output*) dengan arus dan tegangan keluaran yang stabil dengan tegangan yang dapat diatur menggunakan Arduino.

#### **E. Batasan Masalah**

Beberapa hal yang menjadi batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan topologi *flyback converter* untuk membuat SMPS.
2. Menggunakan mikrokontroler Arduino Nano untuk mengatur PWM tegangan keluaran, mengolah hasil sensor arus dan tegangan dari keluaran catu daya dan menampilkan kedalam seven segment 4 digit.
3. Membuat catu daya yang menghasilkan arus sebesar 10 A dan tegangan keluaran yang bersifat fleksibel dan *multiple output*, dengan keluaran sebesar (0-100 V), (+15V, 0 V, -15) dan 15 V.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Penelitian Terkait

Penelitian terkait tentang *switch mode power supply* (SMPS) ini telah banyak dilakukan, diantaranya yang telah dilakukan oleh Kwon dkk. (2014), yaitu tentang catu daya AC - DC dengan mode pensaklaran berefisiensi tinggi menggunakan rangkain konverter jembatan penuh (*full-bridge*). Pada penelitian ini menggunakan tiga konverter *full-bridge* yang terdiri dari dua sirkuit konverter dioda jembatan penuh dan satu konverter MOSFET jembatan penuh. Dua konverter jembatan penuh digunakan pada input utama (AC) untuk mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC. Konverter MOSFET jembatan penuh digunakan untuk mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC yang berfrekuensi tinggi. Tegangan AC tersebut kemudian akan diubah menjadi tegangan DC lain oleh transformator dan konverter dioda jembatan penuh sekunder.

Akan tetapi, konverter jembatan penuh konvensional memiliki batas rasio operasi normal, karena menghasilkan lebih banyak kerugian konduksi pada operasi beban ringan. Oleh karena itu, konverter pada penelitian ini menyelesaikan kekurangan konverter jembatan penuh konvensional menggunakan rangkaian jembatan penuh yang dimodifikasi dengan kapasitor penyangga tegangan DC pada bagian primer.

Dengan demikian, konverter yang diusulkan telah meningkatkan efisiensi dan kinerja total SMPS tersebut.

Penelitian lain terkait SMPS juga dilakukan oleh Amit dan Kumar (2013), yang merancang SMPS dengan sistem *multiple output voltage* (beberapa tegangan keluaran). Pada penelitian ini, dirancang sebuah catu daya yang menghasilkan tegangan keluaran (+15 V, 0 V, -15 V), (+5V, 0 V, -5 V), 3.3 V, dan 5 V yang digunakan untuk memenuhi peralatan yang menggunakan sistem *embedded* (sistem yang terdiri dari perangkat lunak dan keras). Tegangan masukan untuk catu daya ini adalah 48 VDC. Catu daya ini mampu memberikan perkiraan keluaran daya sebesar 40 W dengan efisiensi 80%. Catu daya pada penelitian ini menggunakan topologi *flyback converter*. *Flyback converter* adalah pilihan yang lebih baik dibandingkan dengan topologi lainnya untuk desain dengan daya rendah dan untuk menghasilkan beberapa tegangan keluaran (*multiple output*).

Penelitian lain juga dilakukan oleh Demon dkk. (2008), yang merancang *switch mode power supply* (SMPS) tegangan tinggi untuk sistem laser. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan catu daya yang memiliki risiko rendah dan memiliki efisiensi tinggi untuk pengoperasi sistem laser. Pada tahap awal, sinyal input dari 12 V yang diberikan menjadi pembanding yang bertindak sebagai peralih unit kontrol *drive*. MOSFET bekerja sebagai unit pensaklaran (*switching*). Hal ini membuat sinyal yang diberikan akan menjadi isolasi bagi transformator untuk mengubah ke tegangan 230 VAC. Rangkaian yang terdiri dari dioda dan kapasitor digunakan untuk memperbaiki tegangan keluaran menjadi sinyal DC yang

halus. Kinerja SMPS tegangan tinggi ini bergantung pada suplai arus dan frekuensi masukan, hambatan umpan balik, dan penguatan tegangan.

Pada penelitian ini akan dibuat catu daya dengan metode pensaklaran *switch mode power supply* (SMPS) berbasis arduino untuk aplikasi *electrospinner*. SMPS berbasis arduino dibangun dengan prinsip *fly-back converter* untuk mendapatkan tegangan *output* yang tinggi dan stabil. SMPS ini juga terintegrasi dengan arduino yang digunakan untuk mengatur frekuensi dengan menggunakan *pulse width modulation* (PWM) sebagai *adjustable* (pengatur) dari tegangan keluaran. SMPS juga dilengkapi dengan *keypad* 4x4 yang berfungsi untuk mengatur besarnya tegangan keluaran yang diinginkan. Selain itu, SMPS dilengkapi dengan sensor arus dan tegangan yang digunakan untuk pendeteksi arus dan tegangan yang kemudian ditampilkan pada *seven segment* 4 digit. SMPS ini dirancang untuk menghasilkan tegangan keluaran berupa tegangan keluaran variabel dengan besar tegangan (0-100 V), (+12, 0 V, -12 V), dan 15 V yang diharapkan dapat digunakan sebagai sumber daya listrik bagi piranti elektronika terutama piranti laboratorium khususnya *electrospinner*.

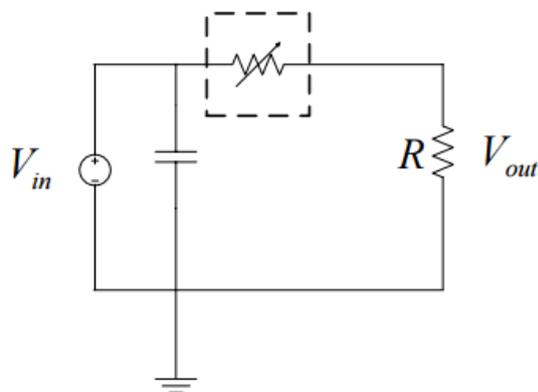
## **B. Catu Daya**

Catu daya (*power supply*) merupakan suatu piranti elektronik yang mengubah arus listrik bolak-balik menjadi arus listrik searah. Catu daya menjadi bagian yang penting dalam dunia elektronika yang berfungsi sebagai sumber tenaga listrik. Catu daya juga dapat digunakan sebagai perangkat yang memasok energi listrik untuk satu atau lebih beban listrik. Secara umum prinsip rangkaian catu daya terdiri atas komponen utama yaitu transformator, dioda dan kapasitor (Cahyadi dkk., 2016).

Catu daya merupakan piranti elektronik yang memiliki sifat sebagai pengubah (*altering*), pengendalian (*controlling*), atau pengaturan (*regulating*) daya listrik. Ada dua sumber catu daya yaitu sumber AC (*alternating current*) dan DC (*direct current*). Sumber AC merupakan sumber tegangan bolak-balik dan sumber DC merupakan sumber tegangan searah. Berdasarkan teknik regulasi, terdapat dua jenis catu daya, yaitu: catu daya dengan regulasi linier dan catu daya dengan regulasi pensaklaran (*switching*) (Yanis dkk., 2013).

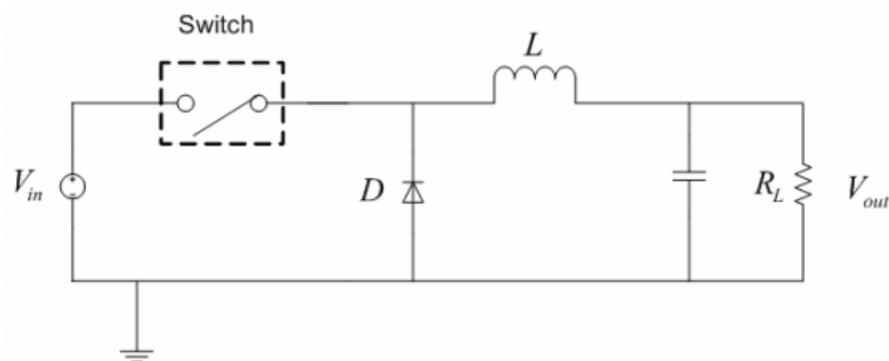
### C. Perbandingan Catu Daya Regulator Linier dan Pensaklaran

Regulator linier digunakan sebagai bagian dari catu daya sederhana untuk arus tinggi yang terdiri atas komponen pembangkit tegangan masukan, komponen pengendali, dan komponen pengatur daya. Pembangkit tegangan masukan ( $V_{in}$ ) menyediakan tegangan masukan yang tidak terpengaruh oleh perubahan tegangan masukan. Bagian kendali terdiri dari jaringan umpan balik dan penguat. Pada Gambar 2.1 hambatan dari regulator linier bervariasi sesuai dengan hambatan beban, sehingga menghasilkan tegangan keluaran yang konstan. Regulator linier menurunkan kelebihan tegangan dan mengurangi ripple yang dihasilkan oleh tegangan masukan.



**Gambar 2.1** Rangkaian regulator linier (Rahman, 2007)

Regulator linier dapat digunakan sebagai pengatur tegangan, namun perlahan-lahan digantikan dengan regulator pensaklaran (*switching*). Tidak seperti regulator linier, catu daya regulator pensaklaran atau yang lebih dikenal dengan *switched mode power supply* (SMPS) merupakan catu daya elektronik yang dapat menyediakan tegangan keluaran lebih tinggi atau lebih rendah dari tegangan masukan sesuai dengan kebutuhan (Pressman dkk., 2009). Pada Gambar 2.2, menunjukkan sebuah regulator pensaklaran sederhana.



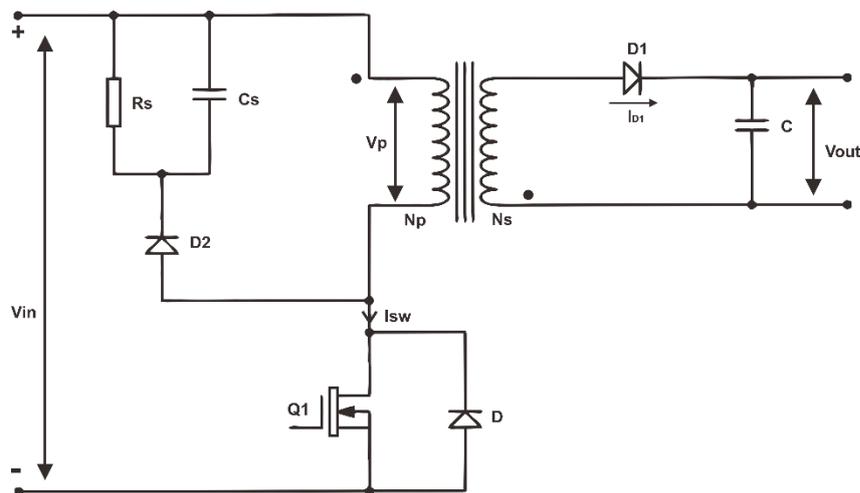
**Gambar 2.2** Ragkaian regulator pensaklaran (Rahman, 2007)

Pada saat saklar tertutup, maka arus induksi ( $I_L$ ) mengalir dari tegangan masukan ke beban ( $R_L$ ). Karena terdapat perbedaan tegangan antara tegangan keluaran ( $V_{out}$ ) dan tegangan masukan ( $V_{in}$ ), maka arus induksi akan naik. Pada saat saklar terbuka, maka energi yang tersimpan di dalam induktor ( $L$ ) memaksa agar tetap mengalir ke beban, sehingga arus induksi akan turun. Arus rata-rata yang melewati induktor sama dengan arus pada beban. Karena tegangan keluaran dijaga agar tetap konstan yang dilakukan oleh kapasitor ( $C$ ), maka arus keluaran ( $I_{out}$ ) yang dihasilkan akan konstan. Kondisi ini terus berulang sehingga menghasilkan suatu gelombang yang periodik dan operasi kerja regulator dalam kondisi kesetimbangan (*steady state*). Pada SMPS, arus keluaran tergantung pada kekuatan sinyal, daya masukan, unsur-

unsur penyimpanan dan topologi rangkaian. Keuntungan utama dari metode ini adalah efisiensi yang lebih besar dibandingkan regulator linear. Keuntungan lain dari 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) (Rahman, 2007).

#### D. *Flyback Converter*

*Flyback converter* sangat populer digunakan untuk *power supply* berdaya rendah (<500 W), dengan *multiple output* yang dapat dikembangkan dengan cara menambahkan jumlah lilitan sekunder pada transformator. *Flyback converter* merupakan salah satu konverter yang memiliki isolasi antara masukan dan keluarannya. Gambar 2.3 menunjukkan topologi konverter *flyback*.



**Gambar 2.3** Topologi konverter *flyback* (Hart, 1997)

Transistor bekerja sebagai sebuah saklar, *on* dan *off* saklar dikendalikan dengan pengendali tegangan pulsa atau *pulse width modulation* (PWM). Pada saat saklar

dalam kondisi *on*, tegangan primer pada trafo ( $V_p$ ) adalah sama dengan tegangan masukan ( $V_{in}$ ) yang menghasilkan arus primer ( $I_p$ ) yang meningkat secara linier. Pada fase ini, energi tersimpan pada inti trafo dan arus pada sisi sekunder akan bernilai nol karena dioda terbuka. Ketika saklar dalam kondisi *off*, arus pada primer ( $I_p$ ) dipotong dan tegangan pada trafo akan sesuai dengan hukum Faraday  $\left( v = L \frac{di}{dt} \right)$ . Pada fase ini, dioda dalam kondisi tertutup dan inti trafo yang bermuatan akan berpindah melalui dioda ke keluaran kapasitor (Miyandkk., 2012). Prinsip kerja *flyback converter* mirip seperti dasar kerja *buck-boost converter*. Energi disimpan pada induksi magnetik ( $L_m$ ) pada saat saklar tertutup, dan dipindahkan ke beban pada saat saklar dibuka.

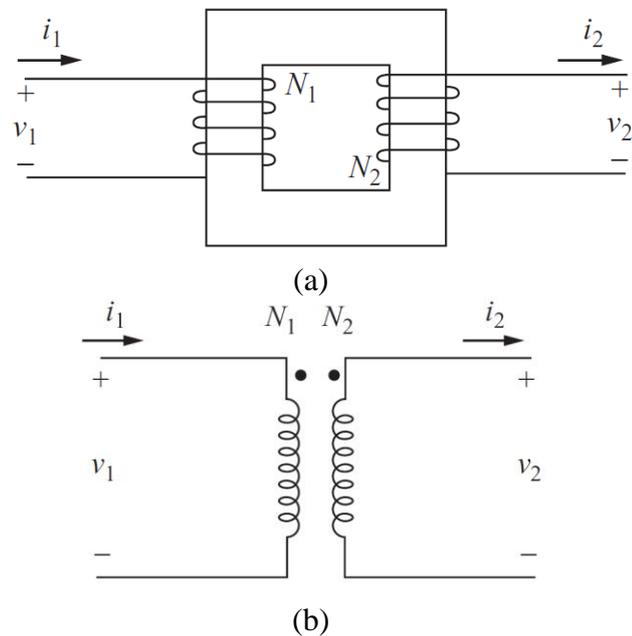
### **E. Transformator**

Transformator merupakan suatu peralatan listrik yang digunakan untuk mengubah besaran tegangan arus listrik bolak-balik (AC), seperti menaikkan atau, menurunkan tegangan listrik. 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 elektromagnet). Transformator terdiri atas sebuah inti yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan (lilitan kawat) yaitu lilitan primer dan lilitan sekunder.

Prinsip kerja transformator adalah berdasarkan hukum Ampere dan Faraday, yaitu arus listrik dapat menimbulkan medan magnet dan sebaliknya medan magnet dapat menimbulkan arus listrik. Jika salah satu kumparan pada transformator diberi arus

bolak-balik (AC), maka jumlah garis gaya magnet akan berubah-ubah. Akibatnya pada sisi primer terjadi induksi dan sisi sekunder menerima garis gaya magnet dari sisi primer yang jumlahnya berubah-ubah juga. Maka di sisi sekunder juga timbul induksi yang mengakibatkan beda tegangan pada dua ujung lilitan.

Transformator memiliki dua fungsi dasar, yaitu: untuk memberikan isolasi listrik dan meningkatkan atau menurunkan arus dan tegangan. Transformator dua lilitan dan ideal ditunjukkan pada Gambar 2.4.



**Gambar 2.4** (a) Transformator dua lilitan, (b) transformator ideal (Hart, 1997)

Transformator ideal memiliki hubungan antara input dan output sebagai berikut:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (2.1)$$

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{N_2}{N_1} \quad (2.2)$$

dimana: -  $v_1$  adalah sumber tegangan primer (V)

-  $v_2$  adalah sumber tegangan sekunder (V)

- $i_1$  adalah arus primer (A)
- $i_2$  adalah arus sekunder (A)

(Hart, 1997)

## F. Desain Transformator *Flyback*

Dalam transformator terdapat perhitungan untuk menentukan jumlah lilitan primer dan sekunder agar dapat dihasilkan keluaran dengan arus dan tegangan sesuai kebutuhan. Untuk mendesain trafo yang akan digunakan pada perancangan SMPS dengan topologi *flyback converter* dapat mengikuti beberapa langkah berikut ini.

### a. Menentukan tegangan masukan

Tegangan masukan sebuah SMPS adalah tegangan AC yang kemudian disearahkan menjadi tegangan DC dengan menggunakan diode *bridge*. Hasil dari penyearahan tegangan AC menjadi DC dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.3) berikut.

$$V_{DC} = \sqrt{2}xV_{AC} \quad (2.3)$$

- dengan:
- $V_{DC}$  = Tegangan DC hasil penyearahan (V)
  - $V_{AC}$  = Tegangan masukan AC (V)

### b. Menentukan arus masukan

Arus masukan ini digunakan untuk menentukan besarnya kawat dan induktansi pada lilitan primer. Untuk menentukan besarnya kawat pada lilitan primer dapat menggunakan Persamaan (2.4).

$$I_{in-av(max)} = \frac{P_{out}}{(\eta x V_{in(min)})} \quad (2.4)$$

- dengan: -  $I_{in-av(max)}$  = Rata-Rata arus masukan maksimum (A)

- $P_{out}$  = Daya keluaran (Watt)
- $\eta$  = Efisiensi topologi *flyback* (80-90%)
- $V_{in(min)}$  = Tegangan masukan DC minimum (V)

Besarnya  $I_{in-av(max)}$  menjadi landasan dasar untuk menentukan besarnya kawat yang digunakan dengan melihat datasheet kawat. Kemudian menentukan besarnya arus puncak yang digunakan untuk menghitung besarnya induktansi lilitan primer dengan menggunakan Persamaan (2.5).

$$I_{pk} = \frac{5 \times P_{out}}{V_{in(min)}} \quad (2.5)$$

- dengan:
- $I_{pk}$  = Arus puncak (A)
  - $P_{out}$  = Daya keluaran (Watt)
  - $V_{in(min)}$  = Tegangan masukan DC minimum (V)

#### c. Menentukan induktansi lilitan primer

Dalam menentukan besarnya induktansi primer dapat menggunakan Persamaan (2.6).

$$L_{primer} = \frac{\partial_{max} \times V_{in(min)}}{I_{pk} \times f_{max}} \quad (2.6)$$

- dengan:
- $L_{primer}$  = Induktansi primer (H)
  - $\partial_{max}$  = *Duty cycle* maksimum
  - $f_{max}$  = Frekuensi maksimum (Hz)

#### d. Menentukan celah (gap) trafo ferit

Pada dasarnya topologi *flyback converter* menggunakan trafo ferit yang mempunyai celah diantara inti ferit. Celah ini digunakan untuk menyimpan energi sementara

ketika saklar pada posisi *on*. Untuk menentukan besarnya celah dapat menggunakan Persamaan (2.7).

$$l_g = \frac{0,4\pi x L_p x I_{pk}^2 x 10^8}{A_e x B_{max}^2} \quad (2.7)$$

$$B_{max} = \frac{B}{2\sqrt{2}} \quad (2.8)$$

- dengan:
- $l_g$  = Celah inti ferit (cm)
  - $A_e$  = Core area ferit (cm<sup>2</sup>)
  - $B_{max}$  = Kerapatan fluks magnetik maksimum (Gauss)
  - $B$  = Kerapatan fluks magnetik (Gauss)

#### e. Menentukan lilitan primer

Untuk menentukan jumlah lilitan primer dapat menggunakan Persamaan (2.9).

$$N_{primer} = 1000 \sqrt{\frac{L_p}{A_L}} \quad (2.9)$$

- dimana:
- $N_{primer}$  = Lilitan primer (Lilit)
  - $L_p$  = Induktansi primer (H)
  - $A_L$  = Faktor induktansi (nH)

#### f. Menentukan lilitan sekunder

Untuk menentukan jumlah lilitan sekunder dapat menggunakan Persamaan ((2.10).

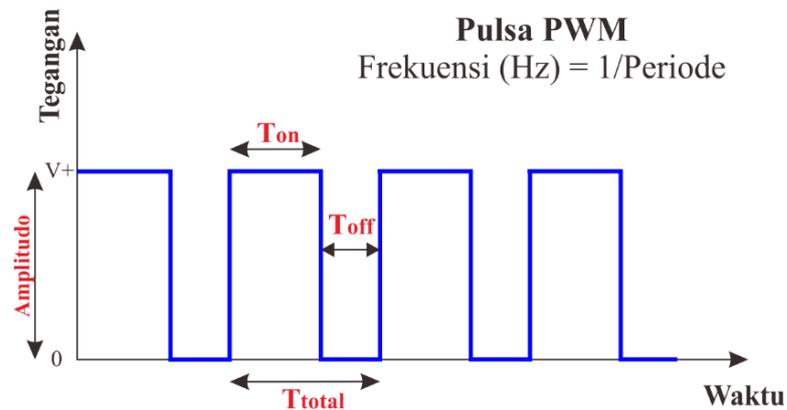
$$N_{sec} = \frac{(V_{out} + V_{fwd})(1 - \delta_{max})}{\delta_{max} x V_{in(min)}} x N_p \quad (2.10)$$

- Dengan:
- $N_{sec}$  = Lilitan sekunder (Lilit)
  - $V_{out}$  = Tegangan keluaran (V)
  - $V_{fwd}$  = Tegangan diode penyearah (V)

(Karthika dan George, 2014)

### G. *Pulse Width Modulation (PWM)*

PWM merupakan teknik modulasi dengan mengubah lebar pulsa dengan nilai amplitudo dan frekuensi yang tetap. PWM sering digunakan pada aplikasi seperti pengendali kecepatan motor DC/servo, pengontrolan daya atau tegangan yang masuk ke beban, *audio effect*, dan pengatur nyala terang LED (Supani dan Azwardi, 2015).



**Gambar 2.5** Pulsa *Pulse Width Modulation* (Santoso dkk., 2015)

Pulsa PWM berbentuk gelombang kotak yang terdiri dari dua kondisi yaitu kondisi aktif (*ON*) dan non-aktif (*OFF*). Ketika kondisi aktif, amplitudo bernilai maksimum, sedangkan ketika kondisi non-aktif, amplitudo pulsa bernilai nol. Periode (*T*) pulsa PWM adalah waktu yang dibutuhkan untuk membentuk satu pulsa, sedangkan Amplitudo pulsa PWM merupakan nilai tegangan pada saat kondisi aktif.

Perbandingan waktu pulsa saat kondisi *ON* dan waktu pulsa saat kondisi *OFF* dalam satu periode disebut sebagai *duty cycle*. Dengan mengatur lebar pulsa ketika *ON* dan *OFF* dari pulsa PWM akan didapatkan *duty cycle* yang dinyatakan dalam bentuk (%) dengan *range* 0-100%. *Duty cycle* ditentukan dengan Persamaan (2.11).

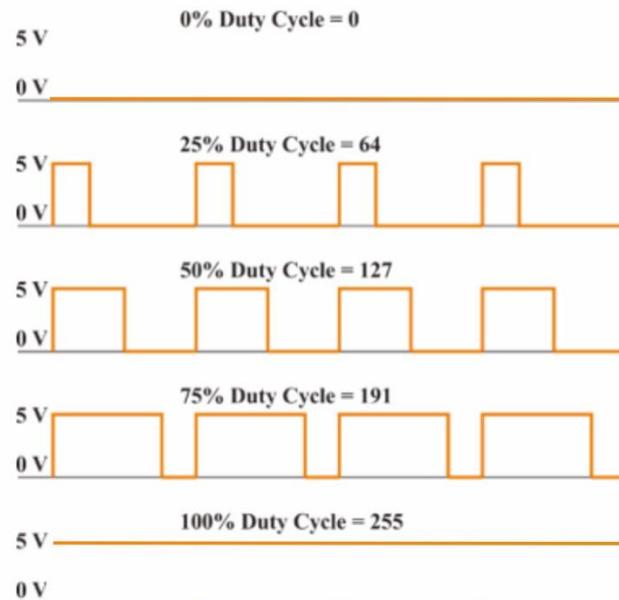
$$D = \left( \frac{T_{ON}}{T_{ON} + T_{OFF}} \right) \times 100\% \quad (2.11)$$

Dengan  $D$  adalah *duty cycle* (%),  $T_{ON}$  adalah waktu pulsa pada kondisi *ON* (s), dan  $T_{OFF}$  adalah waktu pulsa pada kondisi *OFF* (s). Jika pulsa berada dalam kondisi *ON* terus menerus artinya memiliki *duty cycle* sebesar 100%. Jika waktu pulsa saat kondisi *ON* sama dengan waktu pulsa saat kondisi *OFF*, maka sinyal mempunyai *duty cycle* sebesar 50%. Besarnya *duty cycle* dapat digunakan untuk menentukan tegangan keluaran yang dihasilkan. Tegangan keluaran merupakan presentasi *duty cycle* dari tegangan masukan yang diberikan, seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (2.12).

$$V_{OUT} = \left( \frac{T_{ON}}{T_{ON} + T_{OFF}} \right) \times V_{IN} \quad (2.12)$$

$V_{OUT}$  adalah tegangan keluaran (V) dan  $V_{IN}$  adalah tegangan masukan (V). Jika tegangan masukan yang masuk ke rangkaian sebesar 12 V dan *duty cycle* sebesar 10%, maka tegangan keluaran adalah 1,2 V. Dengan  $V_{IN}$  yang sama dan *duty cycle* sebesar 50%, maka tegangan keluaran adalah 6 V (Santoso dkk., 2015).

Pada metode digital di mikrokontroler, PWM dipengaruhi oleh resolusi dari PWM itu sendiri. Misalkan mikrokontroler memiliki kapasitas 8 bit, berarti PWM tersebut memiliki resolusi sebesar  $2^8=256$  yang mewakili nilai dari *duty cycle* 0–100% dari keluaran PWM. Hal tersebut di tunjukkan pada Gambar 2.6.



**Gambar 2.6** Perbandingan nilai *duty cycle* dengan nilai PWM 8 bit (Supani dan Azwardi, 2015)

Ketika pulsa memiliki *duty cycle* sebesar 100% maka nilai PWM digital sebesar 255. Jika *duty cycle* sebesar 50% maka nilai PWM digital sebesar 127 (Supani dan Azwardi, 2015).

#### H. *Electrospinner*

*Electrospinner* merupakan instrumen yang digunakan untuk membuat serat nano dengan memanfaatkan pengaruh medan listrik dalam menghasilkan pancaran larutan atau lelehan polimer bermuatan listrik. *Electrospinner* terdiri dari beberapa komponen, yaitu catu daya, *high voltage*, *syringe pump*, dan *collector drum*. Catu daya berfungsi sebagai penyuplai daya untuk *high voltage*, *syringe pump*, dan *collector drum*. Sistem *electrospinner* ditunjukkan pada Gambar 2.7.



**Gambar 2.7** Sistem *electrospinner* (Marno dkk., 2018)

Pada sistem *electrospinner* ini *high voltage* yang diperlukan sebesar 0-30 kV. Salah satu cara mendapatkan *high voltage* adalah menggunakan trafo *flyback*. Pada mesin *electrospinner*, *high voltage* merupakan sumber tegangan yang berfungsi sebagai penyuplai tegangan tinggi yang diberikan pada jarum, agar larutan menjadi bermuatan listrik dan tertarik ke arah kolektor sehingga memungkinkan terbentuknya serat. *Syringe pump* merupakan alat yang digunakan sebagai pendorong larutan dengan laju alir tertentu yang dapat diatur melalui *controller* motor DC. *Syringe Pump* dibuat menggunakan as drat dan bearing, sehingga akan meminimalisir terjadinya slip dan gesekan pada saat berputar. Selain dapat mendorong, *syringe pump* juga dapat bergerak ke kanan-kiri. Suntikan standar yang digunakan pada *syringe pump* memiliki kapasitas 5 ml. *Collector* digunakan sebagai penampung serat nanofiber, jenis *collector* yang digunakan berbentuk plat plastik berbentuk tabung. Pada permukaan *collector* dilapisi dengan aluminium foil yang dihubungkan dengan kabel negatif dari tegangan tinggi, sehingga serat nanofiber akan menempel pada *collector*. *High voltage* yang diperlukan dalam sistem *electrospinner* sebesar 0-30 kV (Marno dkk., 2018).

### III. METODE PENELITIAN

#### A. Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan pada bulan Januari 2019 sampai April 2019. Perancangan alat dilakukan di Laboratorium Elektronika Dasar Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

#### B. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Alat-alat Penelitian

No.	Nama	Fungsi
1.	Multimeter dan LCR meter	Digunakan untuk mengukur tegangan, arus, tahanan dan induktansi.
2.	Osiloskop	Digunakan untuk melihat gelombang dari sistem yang dibuat
3.	PC atau Laptop	Digunakan untuk merancang rangkaian
4.	Solder	Digunakan untuk memasang atau membongkar komponen elektronika yang terdapat pada papan PCB.
5.	Bor PCB	Digunakan untuk melubangi <i>pad</i> papan PCB.
6.	Peralatan kerja lainnya	Digunakan untuk mendukung dalam membuat alat ini, peralatan tersebut meliputi timah, Obeng, tang, gergaji, dan lain-lain.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3.2

**Tabel 3.2** Bahan-bahan penelitian

No.	Nama	Fungsi
1.	<i>Diode</i>	Digunakan sebagai penyearah tegangan dan proteksi dari tegangan balik.
2.	Kapasitor	Digunakan untuk menyimpan tegangan dan sebagai filter dari sistem.
3.	Resistor	Digunakan sebagai tahanan dan pembagi tegangan.
4.	IC UC3843BN	Digunakan sebagai pembangkit sinyal PWM pada sistem SMPS
5.	Emi filter	Digunakan sebagai filter awal tegangan masukan AC
6.	MOSFET	Digunakan sebagai <i>switching</i> yang dapat memutuskan dan menghubungkan tegangan dengan sangat cepat sehingga menghasilkan frekuensi pada tegangan DC yang memungkinkan arus mengalir dan menginduksi lilitan primer.
7.	Transistor	Digunakan sebagai penguat, baik penguat sinyal maupun penguat daya
8.	Trafo ferit	Digunakan untuk menaikkan atau menurunkan daya agar menghasilkan daya yang dapat disesuaikan sesuai kebutuhan.
9.	Kawat email	Digunakan untuk melilit trafo
10.	<i>Keypad</i> 4x4 dan I2C PCF8574	Digunakan untuk memberi masukan ke Arduino berupa nilai tegangan tinggi dan waktu kerja yang akan dikeluarkan.
11.	<i>Seven segment shift register</i> MAX7219	Digunakan untuk menampilkan tegangan dan waktu kerja sumber tegangan tinggi.
12.	Sensor arus ACS712	Digunakan untuk mendeteksi arus keluaran
13.	<i>Heat sink</i>	Digunakan sebagai peredam panas pada <i>fast switching</i> MOSFET.
14.	Kipas pendingin	Digunakan untuk mendinginkan komponen (Transistor, MOSFET, dan IC) dan <i>heat sink</i>

Perangkat lunak digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3.3.

**Tabel 3.3** Perangkat lunak yang digunakan

No.	Nama	Fungsi
1.	Diptrace	Digunakan untuk membuat desain PCB layout rangkaian.
2.	Eagle	Digunakan untuk membuat desain PCB layout rangkaian.
3.	Proteus 8 Professional	Digunakan untuk membuat desain skematik dan simulasi rangkaian.
4.	IDE Arduino	Digunakan untuk membuat, membuka dan mengedit program yang akan dimasukkan ke board Arduino.
5.	Microsoft Office Word 2010	Digunakan untuk menulis laporan penelitian
6.	Microsoft Office Visio 2010	Digunakan untuk membuat diagram blok dan <i>flowchart</i> penelitian.
7.	Origin Lab 8	Digunakan untuk membuat grafik
8.	Corel Draw X7	Digunakan untuk mendesain kotak dan cover dari alat yang akan dibuat.

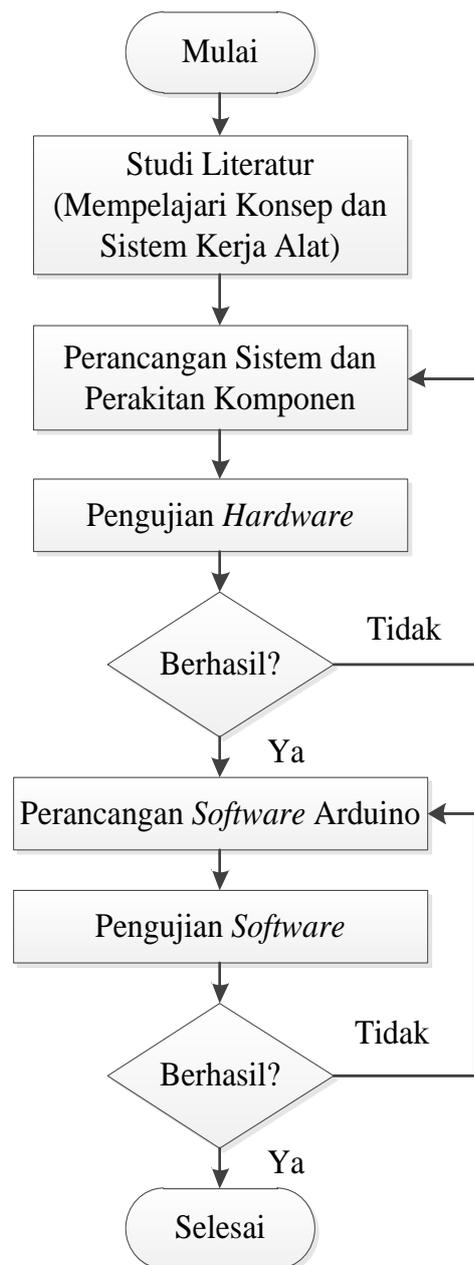
### C. Prosedur Penelitian

Secara garis besar penelitian ini dibagi menjadi tiga bagian, yaitu:

1. Perancangan perangkat keras (*Hardware*);
2. Perancangan perangkat lunak (*Software*);
3. Pengujian alat.

Pada penelitian ini dilakukan beberapa langkah dalam perancangan alat dengan tujuan untuk mengetahui tahapan-tahapan dalam mengerjakan alat sampai dengan selesai. Tahapan pertama yaitu mempelajari konsep dari sistem alat yang akan dibuat, perancangan sistem dan perakitan komponen, dan pengujian *hardware*. Jika *hardware* berhasil dibuat maka dilanjutkan ke tahapan pembuatan *software* pada Arduino. Pada tahapan pembuatan *software* terdiri dari perancangan dan

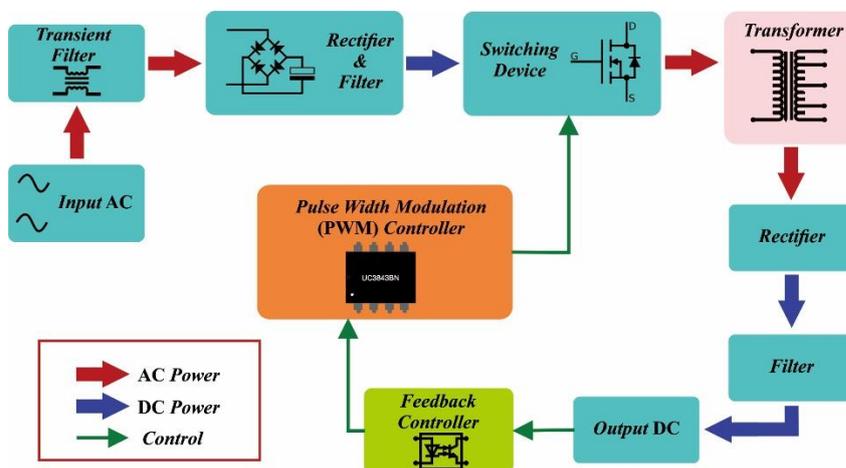
pemrograman *software* pada Arduino IDE sebagai penguatur PWM untuk mengatur besarnya tegangan masukan dan keluaran, kemudian dilakukan pengujian alat. Apabila telah berhasil maka tahapan dilanjutkan dengan pengujian alat secara keseluruhan, pengambilan data dan penyusunan laporan. Adapun langkah-langkah kerja pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.1.



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

### C.1. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras merupakan tahap penyusunan komponen-komponen elektronika menjadi satu kesatuan sistem agar dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan. Perancangan ini dilakukan sebelum realisasi keperangkat keras. Pada perancangan perangkat keras dibagi menjadi dua perancangan, yaitu perancangan SMPS dan perancangan sistem kontrol. Secara umum rancangan perangkat keras SMPS ini ditunjukkan pada diagram blok Gambar 3.2 dan untuk rancangan sistem kontrol ditunjukkan pada diagram blok Gambar 3.4.



**Gambar 3.2** Diagram blok perangkat keras SMPS

Terlihat pada blok diagram Gambar 3.2 bahwa pada perancangan perangkat keras SMPS terdiri dari beberapa subsistem, yaitu masukan (*input*) AC, filter awal (*transient filter*), penyearah dan filter (*rectifier and filter*), pensaklar (*switching device*), trafo (*transformer*), penyearah akhir (*rectifier*), filter akhir (*filter*), keluaran (*output*), kontrol PWM (*PWM controller*) dan kontrol tegangan atau arus balik (*feedback controller*). Masing-masing subsistem tersebut memiliki fungsi yang berbeda-beda dan saling terhubung dengan subsistem yang lain. Berikut ini penjelasan dari masing-masing subsistem dari perancangan perangkat keras SMPS:

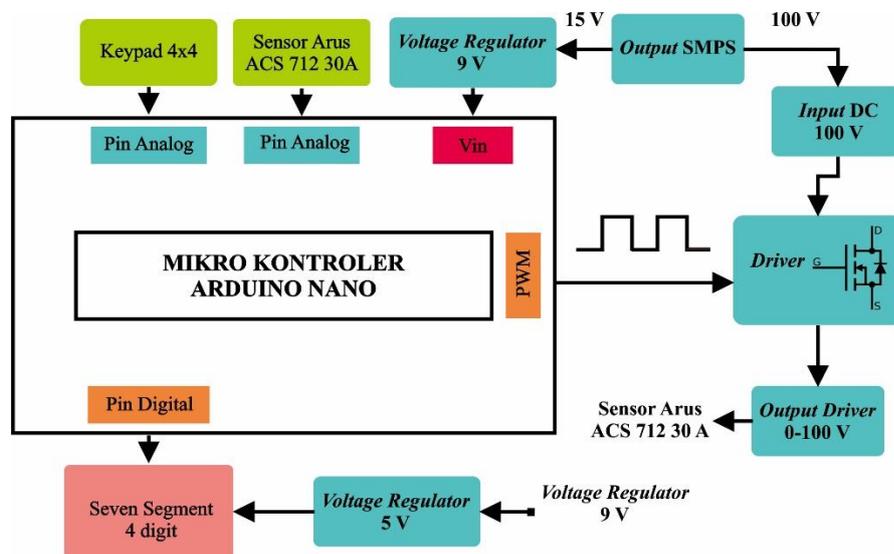
1. Sumber tegangan AC sebelum disearahkan menjadi tegangan DC terlebih dahulu difilter untuk menghilangkan *noise* atau *ripple*.
2. Tegangan AC hasil filter awal kemudian disearahkan melalui rangkaian penyearah, yang kemudian menghasilkan tegangan DC yang tinggi, karena sebelum disearahkan arus arus/tegangan tidak diturunkan terlebih dahulu menggunakan transformator *step down*. Sehingga tegangan DC yang dihasilkan memiliki nilai yang tinggi.
3. Pada proses *switching* akan terjadi pencacahan tegangan DC masukan dari proses penyearahan. Pencacahan ini menggunakan prinsip “*power switch on-off*” yang dilakukan secara cepat sehingga menghasilkan tegangan pulsa-pulsa DC dengan frekuensi yang tinggi.
4. PWM sebagai pembangkit pulsa berfungsi sebagai driver pengontrol tegangan yang akan diteruskan menuju trafo. Besar dan kecilnya tegangan yang akan diteruskan dapat diatur dengan menggunakan PWM yang dalam hal ini menggunakan ICUC3843BN sebagai pembangkit pulsa atau PWM.
5. Tegangan DC yang telah dicacah mempunyai karakteristik tegangan AC, sehingga dapat dilewatkan sebuah trafo atau induktor untuk dinaikan atau diturunkan tegangannya.
6. Tegangan keluaran dari trafo masih berupa pulsa-pulsa yang mempunyai frekwensi tinggi. Kemudian dirubah menjadi tegangan DC kembali menggunakan dioda penyearah cepat.
7. Tegangan hasil penyearahan kembali difilter untuk mendapatkan tegangan yang bebas dari *noise* dengan menggunakan kapasitor.

8. *Feedback controller* berfungsi sebagai umpan balik atau isolasi agar keluaran yang didapatkan stabil dan sebagai proteksi apabila terjadi hubungan singkat tegangan keluaran.
9. Hasil keluaran yang berupa tegangan dan arus akan dibaca oleh sensor yang kemudian diolah oleh mikrokontroler arduino dan ditampilkan kedalam *seven segment*.

Perancangan perangkat keras SMPS pada penelitian ini menggunakan topologi rangkaian *flyback converter* yang ditunjukkan pada Gambar 3.3.

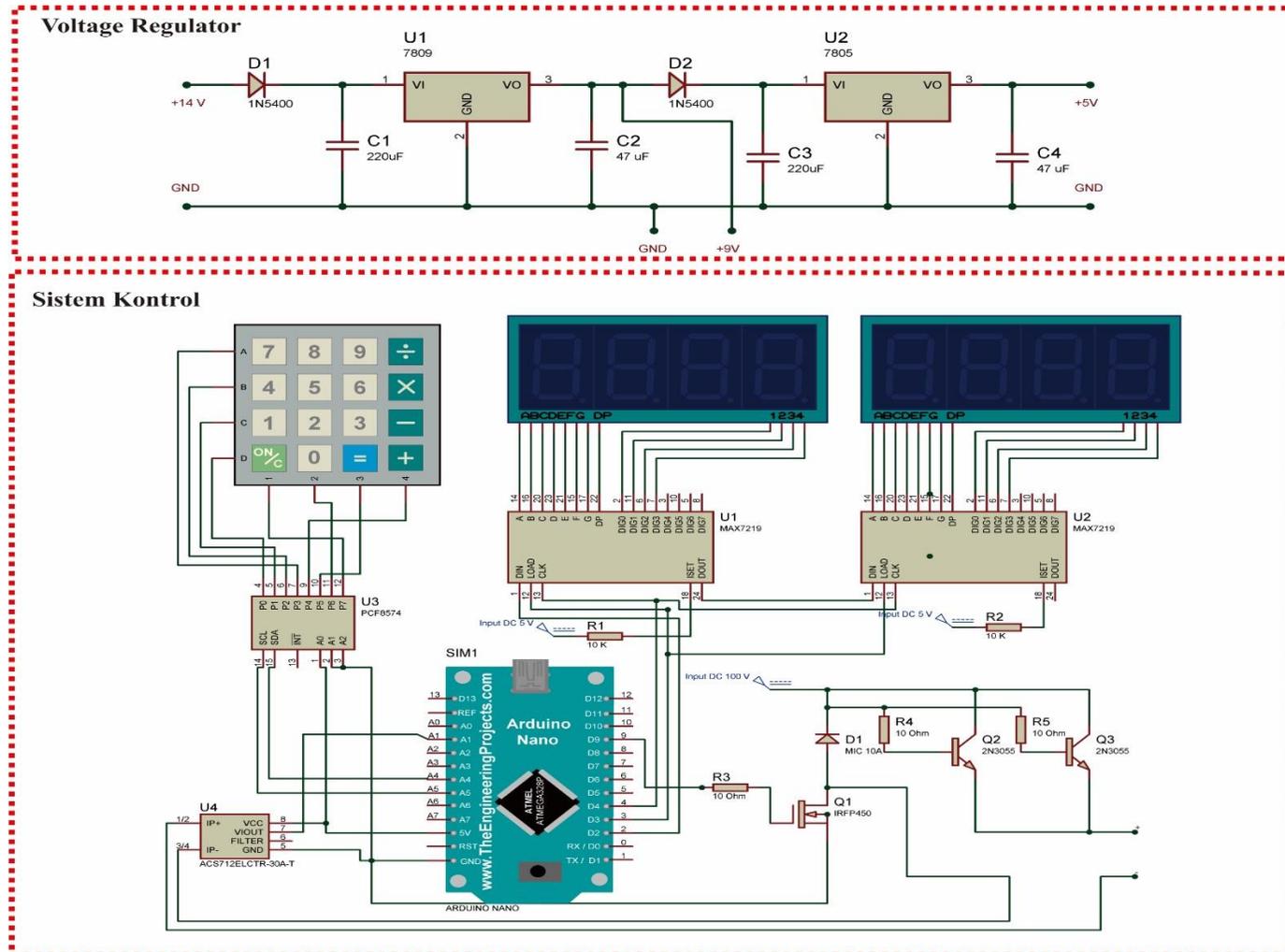


Perancangan perangkat keras sistem kontrol ditunjukkan pada Gambar 3.4.



**Gambar 3.4** Diagram blok perangkat keras sistem kontrol

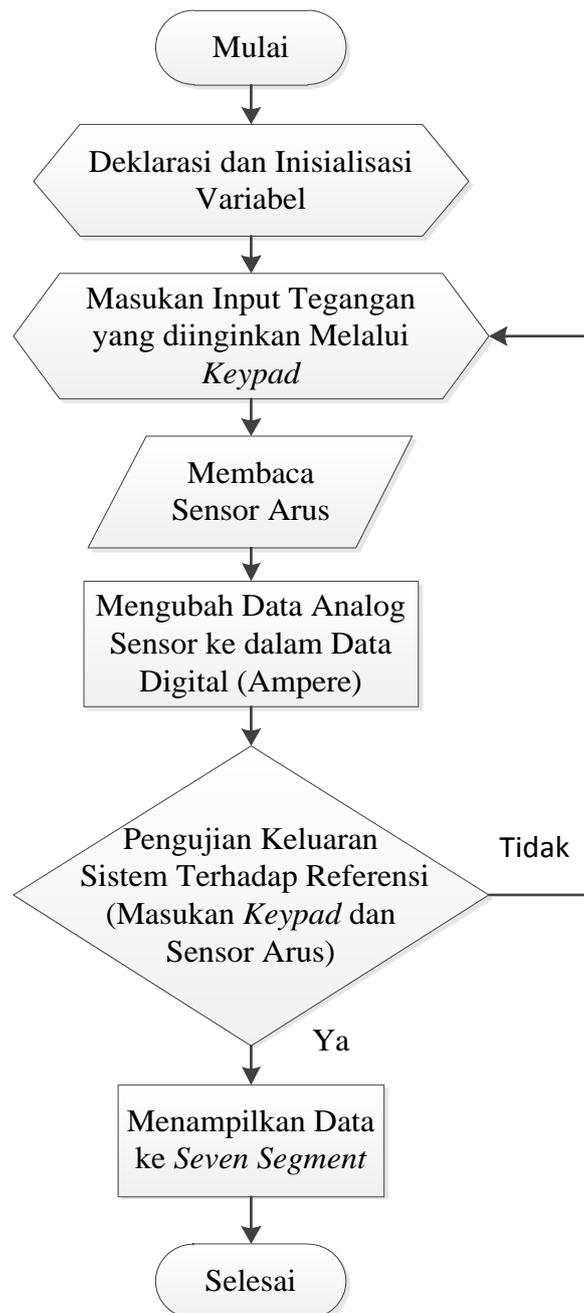
Terlihat pada blok diagram Gambar 3.4 bahwa pada perancangan perangkat keras sistem terdiri dari beberapa subsistem, yaitu arduino nano, *keypad* 4x4, sensor arus ACS 712 30 A, *voltage regulator* 9 V dan 5 V, *seven segment* 4 digit, dan *driver*. Masing-masing subsistem tersebut juga memiliki fungsi yang berbeda-beda dan saling terhubung dengan subsistem yang lain. Arduino berfungsi sebagai pembangkit pulsa PWM berdasarkan nilai masukan dari *keypad* 4x4. PWM kemudian akan diteruskan ke *driver* untuk mengontrol tegangan keluaran dari 0-100 V. *Driver* sistem kontrol menggunakan MOSFET sebagai saklar untuk mengatur tegangan keluaran berdasarkan nilai masukan PWM. Nilai masukan PWM dari *keypad* ke Arduino, akan dibandingkan dengan hasil pengukuran tegangan keluaran. Hasil perbandingan tersebut digunakan untuk mendapatkan nilai tegangan keluaran sebenarnya. Selain untuk mengontrol nilai masukan PWM, arduino juga berfungsi untuk mengolah data analog hasil bacaan sensor arus. Hasil tegangan dan arus keluaran kemudian akan ditampilkan pada *seven segment* 4 digit.



Gambar 3.5 Rangkaian sistem kontrol

## C.2. Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak dibuat dengan aplikasi Arduino IDE. Aplikasi Arduino IDE berfungsi untuk membuat dan mengolah program yang akan dimasukkan ke *board* Arduino Nano. Diagram alir perancangan perangkat lunak ditunjukkan pada Gambar 3.6.



**Gambar 3.6** Diagram alir program

### C.3. Pengambilan dan Pengujian Data

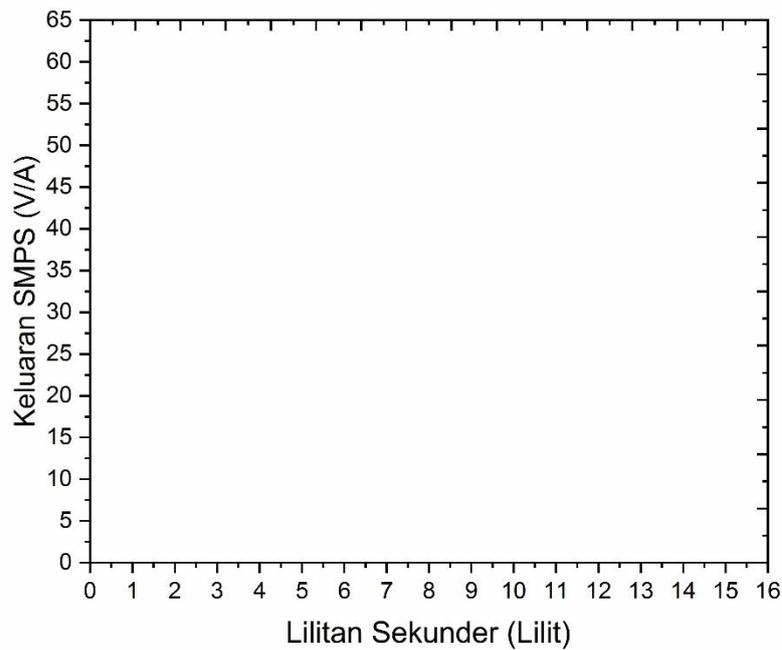
Proses pengambilan dan pengujian data dilakukan dengan menjalankan seluruh sistem baik *hardware* maupun *software*, dengan harapan dihasilkan catu daya atau SMPS yang mempunyai tegangan keluaran yang dapat diatur dari 0-100 V. Pengambilan dan pengujian data meliputi: pengaruh jumlah lilitan dan diameter kawat terhadap keluaran SMPS, tegangan masukan terhadap tegangan keluaran, dan stabilitas keluaran SMPS.

#### a. Pengujian pengaruh jumlah lilitan dan diameter kawat terhadap keluaran SMPS

Pengujian ini dilakukan dengan mengukur tegangan keluaran SMPS menggunakan multimeter. Pengujian dilakukan dengan beberapa variasi lilitan dan diameter kawat pada sisi sekunder trafo yang digunakan pada SMPS. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui pengaruh jumlah lilitan dan diameter kawat terhadap keluaran SMPS. Data ditulis pada Tabel 3.4 dan dibuat menjadi grafik seperti grafik pada Gambar 3.7.

**Tabel 3.4** Pengaruh jumlah lilitan dan diameter kawat terhadap keluaran SMPS

No.	Jumlah Lilitan d=...mm (Lilit)	Keluaran SMPS		Referensi	
		Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)
1.	4				
2.	6				
3.	8				
4.	10				
5.	12				



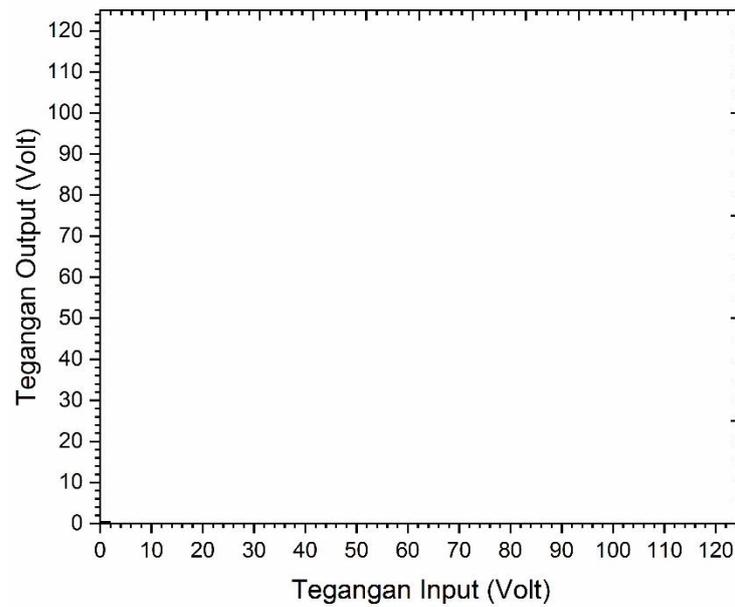
**Gambar 3.7** Grafik hubungan antara jumlah lilitan dan diameter kawat terhadap keluaran SMPS

**b. Pengujian tegangan masukan terhadap tegangan keluaran**

Proses pengujian dilakukan dengan memberi tegangan masuk dengan menggunakan *keypad* kemudian mengukur tegangan keluaran dari SMPS menggunakan multimeter. Tujuannya adalah untuk mengetahui tingkat kesalahan (*error*), akurasi, dan presisi dari SMPS yang dibuat. Data ditulis pada Tabel 3.5 dan dibuat menjadi grafik seperti Gambar 3.8.

**Tabel 3.5** Pengujian tegangan masukan terhadap tegangan keluaran

No.	Tegangan masukan (V)	Tegangan Keluaran (V)					Rata-Rata
		Data 1	Data 2	Data 3	Data 4	Data 5	
1	0						
-	1						
-	2						
-	-						
-	-						
-	-						
-	-						
101	100						



**Gambar 3.8** Grafik hubungan antara tegangan masukan terhadap tegangan keluaran

Data hasil pengukuran tersebut digunakan untuk menghitung persentase kesalahan (*error*), akurasi dan presisi sumber tegangan tinggi menggunakan persamaan (3.1), (3.2), dan (3.3).

$$\% \text{ Kesalahan} = \left| \frac{Y - \bar{X}_n}{Y} \right| \times 100\% \quad (3.1)$$

$$\text{Akurasi} = \left( 1 - \left| \frac{Y - \bar{X}_n}{Y} \right| \right) \times 100\% \quad (3.2)$$

dengan:

$Y$  = Tegangan referensi

$X_n$  = Tegangan hasil pengukuran

$\bar{X}_n$  = Rata-rata tegangan hasil pengukuran

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (X_n - \bar{X}_n)^2}{n-1}}$$

$$KV(\%) = \frac{SD}{\bar{X}_n} \times 100\% \quad (3.3)$$

dengan:

SD = Standard Deviasi

n = Jumlah sampel

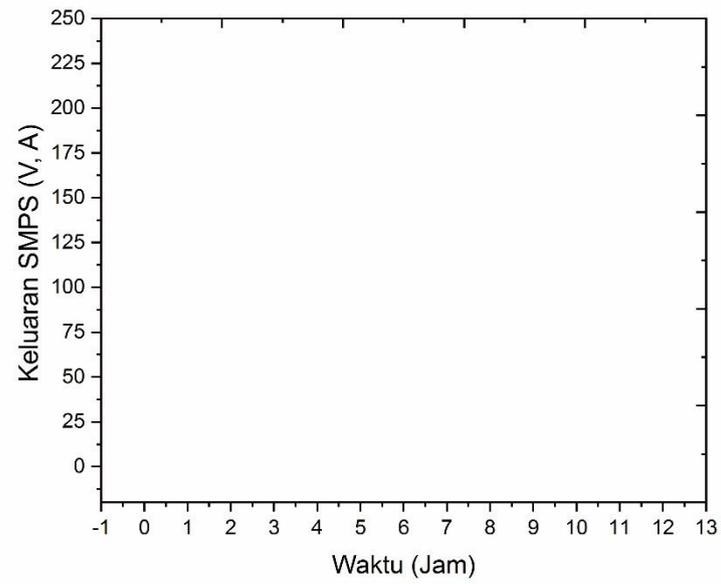
KV = Koefisien Variasi

### c. Pengujian stabilitas SMPS

Pengujian ini dilakukan untuk melihat tingkat stabilitas dari SMPS yang dibuat. Pengujian dilakukan dengan mengidupkan SMPS dengan tegangan masukan maksimum (100 V) kemudian dilakukan pengukuran pada keluaran SMPS selama 24 jam dengan selang waktu pengukuran setiap 30 menit. Pengujian selama 24 jam dibagi menjadi 2 bagian, yaitu: pengujian dengan beban 3 buah lampu pijar 100 watt dirangkai seri, dan dirangkai paralel. Masing-masing pengujian dilakukan selama 12 jam. Data ditulis pada Tabel 3.6 dan dibuat menjadi grafik seperti Gambar 3.9.

**Tabel 3.6** Pengujian stabilitas SMPS

No.	Waktu (Jam)	Tegangan AC (V)	Tegangan Arduino	Voltage Regulator		Keluaran SMPS	
				9 V	5 V	Tegangan (V)	Arus (A)
1	0,0						
2	0,5						
3	1,0						
-	-						
-	-						
-	-						
-	-						
25	12						

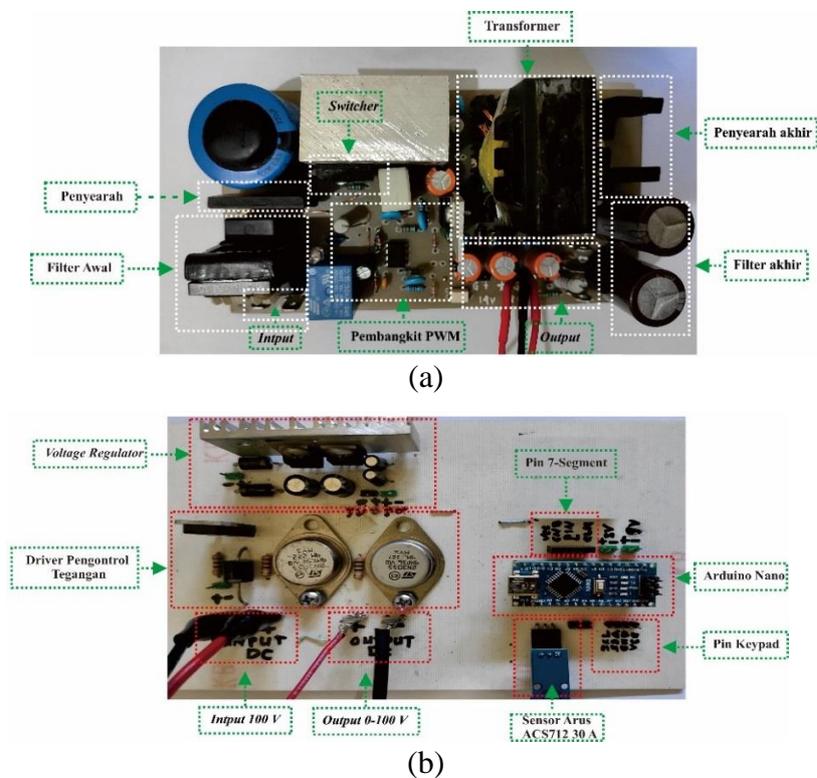


**Gambar 3.9** Grafik stabilitas SMPS

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Perancangan Sistem

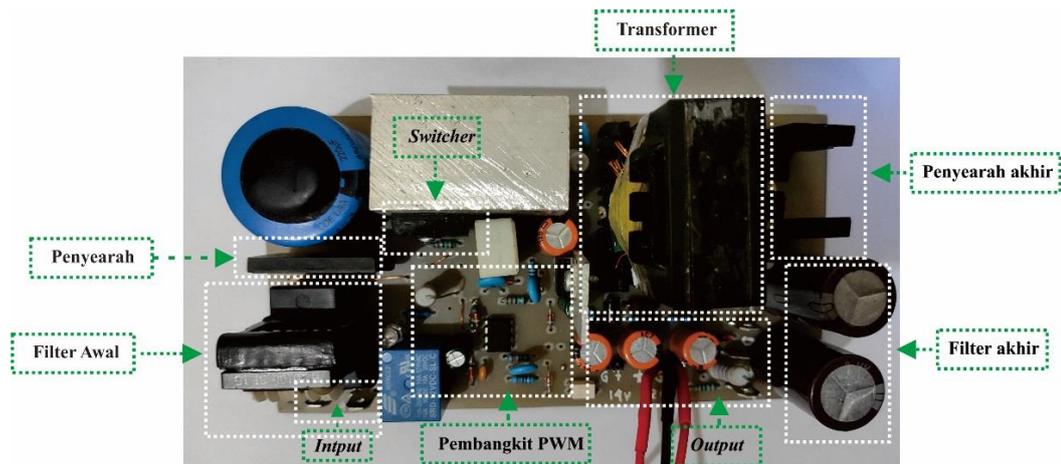
Telah direalisasikan rancangan catu daya dengan metode *switching mode power supply* (SMPS) berbasis Arduino. SMPS berbasis Arduino terdiri dari beberapa bagian utama, yaitu filter awal, penyearah, pembangkit sinyal PWM, *switcher*, transformer, penyearah akhir, filter akhir, output dan rangkaian kontrol seperti di tunjukkan pada Gambar 4.1.



**Gambar 4.1** SMPS berbasis arduino dengan (a) blok SMPS dan (b) blok sistem kontrol

### A.1. Realisasi *Switch Mode Power supply* (SMPS)

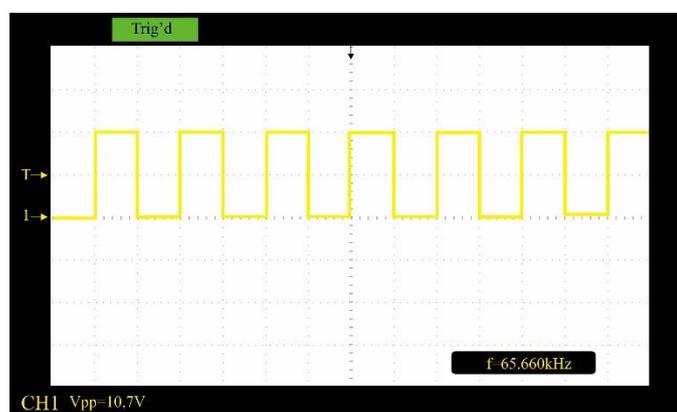
*Switch Mode Power supply* (SMPS) berfungsi mengubah arus AC menjadi arus DC. SMPS terdiri dari beberapa subsistem, yaitu: *input*, filter awal, penyearah, *switcher*, transformer, penyearah, filter akhir, dan *output* seperti di tunjukkan pada Gambar 4.2.



**Gambar 4.2** *Switch Mode Power Supply* (SMPS).

Awalnya SMPS bekerja dengan menggunakan tegangan masukan PLN 220 VAC, dengan frekuensi yang sama dengan sumber PLN yaitu 50Hz. Tegangan masukan AC di filter untuk menghilangkan noise dan diubah menjadi tegangan DC dengan menggunakan diode penyearah jembatan (*bridge*), tegangan yang dihasilkan sebesar  $220\sqrt{2} \approx 311,13$  VDC (secara teori). Tegangan yang diperoleh pada saat pengujian sebesar  $224\sqrt{2} \approx 316,78$  VDC. Tegangan yang telah disearahkan ini akan menyuplai kapasitor. Fungsi kapasitor untuk memperbaiki bentuk gelombang tegangan yang dihasilkan oleh diode penyearah. Tegangan yang telah diperbaiki gelombangnya oleh kapasitor 330  $\mu$ F/400 V, kemudian dihubungkan ke resistor, yang mana resistor tersebut berfungsi sebagai pembagi tegangan yang dapat menghasilkan tegangan sebesar 14 V. Tegangan 14 V dapat digunakan untuk menyuplai osilator (IC UC3843BN) sementara. Pada SMPS ini menggunakan

resistor sebesar  $680\text{ K}\Omega$  dan  $33\text{ K}\Omega$  yang dihubungkan ke kaki 7 dari UC3843BN. Adapun fungsi dari UC3843BN adalah sebagai pembangkit sinyal atau sering disebut dengan *pulse width modulation* (PWM). Setelah UC3843BN membangkitkan frekuensi yang terkendali, kemudian pada kaki 6 dari UC3843BN akan memberikan sinyal ke Gate dari MOSFET 20N60C3. Adapun kaki *source* dari MOSFET 20N60C3 terhubung dengan tahanan ( $R_s$ )  $0,2\ \Omega$  5 Watt dan kaki drain terhubung dengan salah satu ujung lilitan primer dari trafo. Bentuk gelombang pembangkit sinyal ditunjukkan pada **Gambar 4.3**.



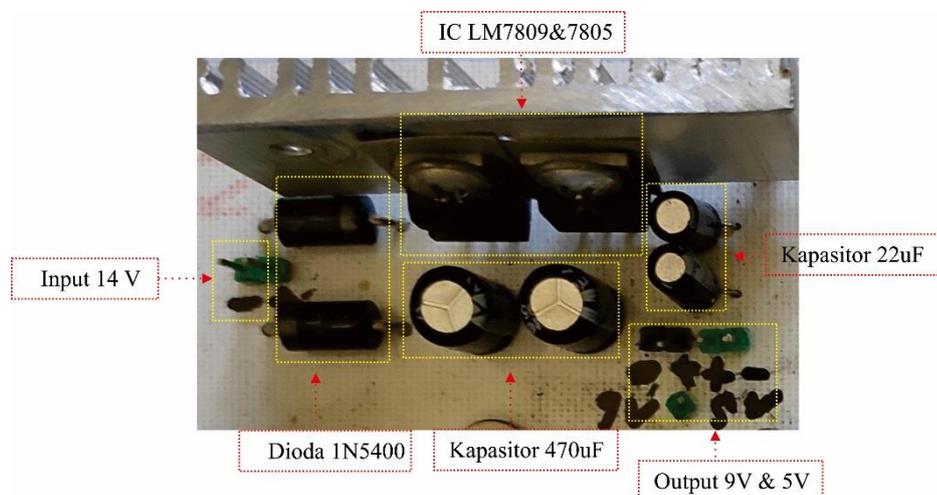
**Gambar 4.3** Sinyal keluaran UC 3843BN

Pada Gambar 4.3 menunjukkan bentuk gelombang keluaran sinyal dari UC3843BN. Sinyal tersebut mempunyai frekuensi sebesar  $65,66\text{ kHz}$  dan tegangan sebesar  $10,7\text{ V}$  yang digunakan untuk proses *switching* MOSFET 20N60C3. Oleh karena tegangan DC yang mengalir pada sisi primer memiliki frekuensi yang telah dibangkitkan oleh osilator UC 3843BN. Maka sifat dari trafo yaitu hanya dapat bekerja pada tegangan yang berfrekuensi akan tercapai. Hal inilah yang mendasari terbangkitnya induksi magnetik pada lilitan primer dan sekunder sehingga dapat menghasilkan beda potensial atau tegangan pada lilitan sekunder.

Dalam trafo, jumlah lilitan primer dan sekunder menentukan besarnya tegangan keluaran dari SMPS. Sedangkan diameter dari kawat menentukan besarnya arus keluaran dari SMPS. Pada SMPS ini tegangan keluaran yang telah direalisasikan adalah 50 VCT dengan besar arus sebesar 7,3 A. Dan mempunyai ekstra tegangan keluaran sebesar (+15 V, 0 V, -15 V) dengan besar arus sebesar 2 A dan 15 V dengan besar arus sebesar 0,44 A. Keluaran SMPS ini digunakan untuk menyuplai rangkaian kontrol.

### A.2. *Voltage Regulator*

Tegangan dari SMPS sebesar 14 V diturunkan menjadi 9 V dan 5 V menggunakan IC *regulator* L7809 dan L7805. Tegangan 9 V ini digunakan untuk memberikan *supply* ke Arduino nano, dan tegangan 5 V digunakan untuk *supply* ke *seven segment*. Realisasi rangkaian kontrol ditunjukkan pada Gambar 4.4.

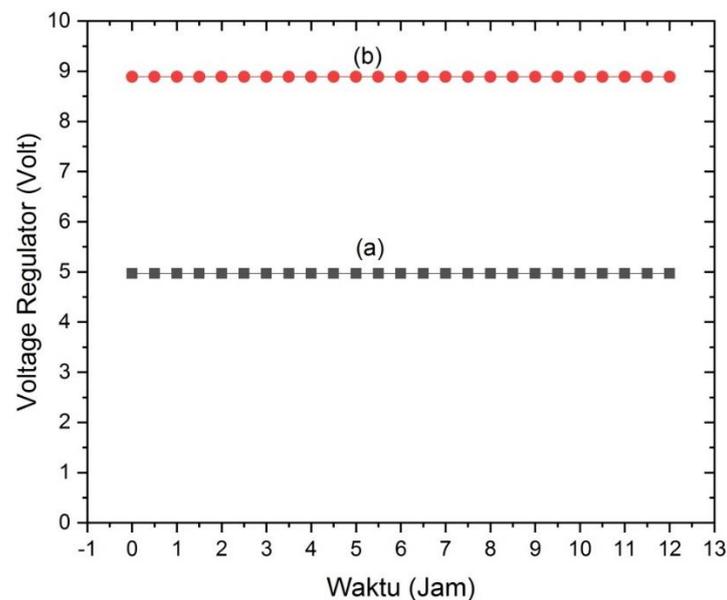


**Gambar 4.4** Realisasi *voltage regulator* 9 V dan 5 V

Komponen utama dari *voltage regulator* ini adalah IC LM7809 dan LM7805. IC tersebut berfungsi sebagai regulator tegangan masukan 14 V menjadi 9 V dan 5 V.

Untuk memproteksi IC dari tegangan balik digunakan diode 1N5400. Dan untuk filter tegangan masukan dan keluaran digunakan kapasitor 470 uF dan 22 uF.

Kestabilan dari *voltage regulator* ini sangat penting agar Arduino dapat bekerja dengan baik dan tidak merusak komponen pada Arduino. Untuk menguji tingkat kestabilan keluaran dari *voltage regulator*, dilakukan dengan mengukur tegangan keluaran dari *voltage regulator* menggunakan multimeter dalam jangka waktu tertentu. Hasil pengujian tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.5.

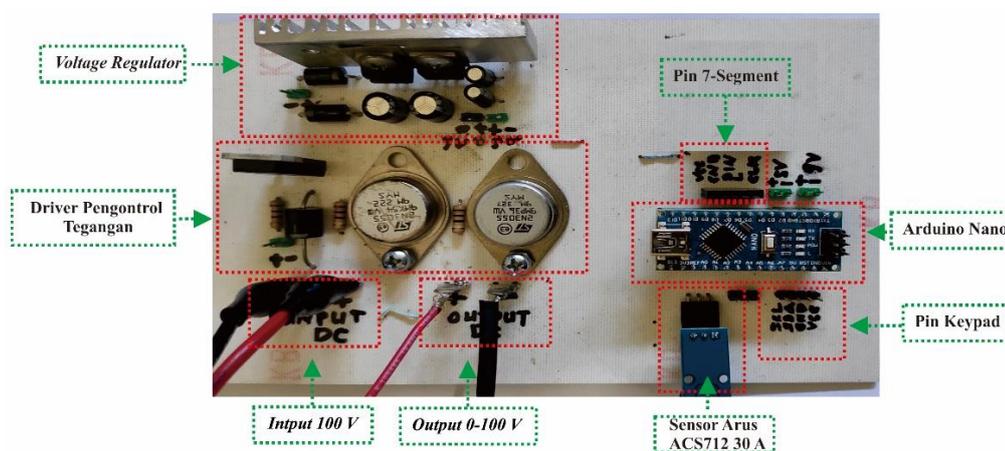


**Gambar 4.5** Grafik pengujian stabilitas tegangan keluaran dari *voltage regulator* (a) 5 V dan (b) 9 V

Gambar 4.5 (a) memperlihatkan uji stabilitas tegangan keluaran dari *voltage regulator* 5 V dan (b) uji stabilitas tegangan keluaran *voltage regulator* 9 V. Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa tegangan keluaran dari *voltage regulator* memiliki tingkat kestabilan yang baik, terbukti pada setiap pengukuran di selang waktu yang berbeda tegangan keluaran stabil pada 4,9 V dan 8,89 V. Oleh karena itu, *voltage regulator* dapat digunakan untuk *supply* Arduino.

### A.3. Rangkaian Kontrol

Rangkaian kontrol digunakan untuk mengatur tegangan SMPS dari 0 sampai 100 V. Rangkaian kontrol ini menggunakan teknik pensaklaran (*switching*) pada MOSFET. Untuk mengendalikan *switching* menggunakan sinyal PWM yang berasal dari Arduino. Realisasi rangkaian kontrol ditunjukkan pada Gambar 4.6.



**Gambar 4.6** Realisasi rangkaian kontrol.

Komponen utama dari rangkaian kontrol ini adalah MOSFET IRFP450 dan Transistor 2N3055. Pulsa PWM yang dihasilkan oleh Arduino akan menggerakkan MOSFET dan menjadikan MOSFET sebagai saklar (*switch*) yang dapat memutus dan menghubungkan tegangan dengan sangat cepat. Oleh karena itu dibutuhkan MOSFET yang memiliki kapasitas pensaklaran cepat (*fast-switching*).

Pada rangkaian kontrol ini yang berfungsi sebagai *switching* adalah MOSFET IRFP450, sedangkan Transistor 2N3055 sebagai penguat. MOSFET IRFP450 memiliki kapasitas tegangan pada *drain - source* ( $V_{DS}$ ) sebesar 500 VDC dan arus pada *drain* ( $I_D$ ) sebesar 14 A. Sedangkan Transistor 2N3055 memiliki kapasitas tegangan pada *colector-emitor* ( $V_{CE}$ ) sebesar 100 VDC, dan arus pada *colector* ( $I_C$ ) sebesar 15 A. SMPS yang digunakan sebagai *supply* tegangan utama pada

rangkaian pengontrol ini memiliki kapasitas tegangan dan arus sebesar 100 V dan 8 A. Karena kualitas MOSFET yang berada di pasaran kurang baik, sehingga dapat mempengaruhi dari segi kualitas kerja dan kapasitas MOSFET. Oleh karena itu, untuk mencegah terjadinya kerusakan MOSFET, digunakan 2 buah Transistor 2N3055 yang dirangkai secara paralel dengan MOSFET untuk membagi arus yang masuk kedalam MOSFET. Dengan demikian rangkaian kontrol dapat bekerja dengan baik dan MOSFET tidak panas ketika beban pada keluaran memiliki daya yang besar.

#### A.4. Sistem Kontrol

Sistem kontrol berfungsi untuk mengontrol seluruh kerja dari SMPS berbasis Arduino. Sistem kontrol terdiri dari Arduino Nano, *Keypad 4x4 - I2C PCF8574*, *seven segment (SS)*, *shift register MAX7219*, dan sensor arus ACS712 30A. Arduino sebagai komponen utama berfungsi sebagai pengendali sistem. Program Arduino diatur agar dapat membangkitkan pulsa PWM (*duty cycle dan frekuensi*), menampilkan nilai tegangan dan arus keluaran dari SMPS. Realisasi sistem kontrol ditunjukkan ditunjukkan pada Gambar 4.7.



**Gambar 4.7** Realisasi sistem kontrol

### a. Keypad 4x4 dengan I2C PCF8574

*Keypad* merupakan kumpulan tombol yang berfungsi sebagai antarmuka antara pengguna dan perangkat. Pada SMPS, *keypad* berfungsi untuk mengatur tegangan masukan. Setiap tombol pada *keypad* mewakili suatu fungsi tertentu. Fungsi dari masing-masing tombol *keypad* ditunjukkan pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Fungsi masing-masing tombol pada *keypad*

No.	Tombol	Fungsi
1.	0-9	Memasukkan nilai dalam bentuk angka 0-9
2.	A	Tidak berfungsi
3.	B	Tidak berfungsi
4.	C	- Mulai ( <i>Start</i> )
5.	D	Tekan 1x: - Menghentikan sementara ( <i>Pause</i> ) Tekan 2x: - Mengatur ulang ( <i>Reset</i> )
6.	*	Memberikan nilai desimal “koma”
7.	#	Mengatur ulang nilai tegangan masukan

Pada sistem kontrol ini, *keypad* dihubungkan dengan modul I2C PCF8574 untuk mengurangi jumlah penggunaan pin ke Arduino. Program berikut ini digunakan untuk membaca nilai yang diberikan *keypad*.

```
char key = kpd.getKey();
switch (key){
    case '0'...'9':
        kpad = kpad*10 + (key-'0');
        count = kpad;
        break;

    case 'A':
        break;

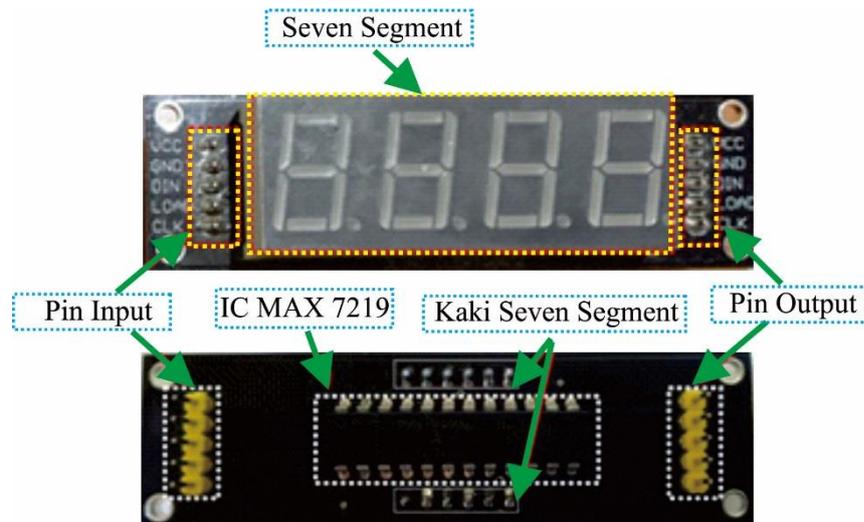
    case 'B':
        break;
```

```
case 'C':  
break;  
  
case 'D':  
break;  
  
case '*':  
break;  
  
case '#':  
break;  
}
```

Tipe data yang digunakan pada program ini adalah *char* dengan proses pembacaan dilakukan dengan logika *switch* and *case*, yaitu dengan membagi nilai masukan menjadi beberapa kelas. Pembagian kelas didasarkan pada karakter tombol seperti angka, simbol atau huruf. Setiap fungsi tombol *keypad* diawali dengan sintak program *case* dan diakhiri dengan sintak *break*.

#### **b. Seven segment MAX7219**

*Seven segment* (SS) digunakan untuk menampilkan nilai tegangan dan arus keluaran dari SMPS. SS yang digunakan adalah SS 8-digit yang dilengkapi dengan IC *shift register* MAX7219. Penggunaan SS dengan IC MAX7219 hanya membutuhkan 3 pin (DIN, LOAD, CLK) dari Arduino dan pin VCC terhubung dengan *voltage regulator* 5 V dan GND terhubung dengan GND arduino dan GND *voltage regulator*. Penggunaan IC ini dapat menghemat penggunaan pin pada Arduino. *Seven segment* MAX7219 ditunjukkan pada Gambar 4.8. Gambar 4.8



**Gambar 4.8** Realisasi rangkaian *seven segment* MAX7219

Proses kerjanya adalah ketika Arduino menerima masukan dari *keypad*, Arduino akan memproses nilai tersebut. Selanjutnya data tersebut akan dikirimkan ke SS melalui pin data DIN, CLK dan LOAD yang ada pada IC MAX7219. Setelah itu akan ditampilkan oleh SS sesuai dengan masukan.

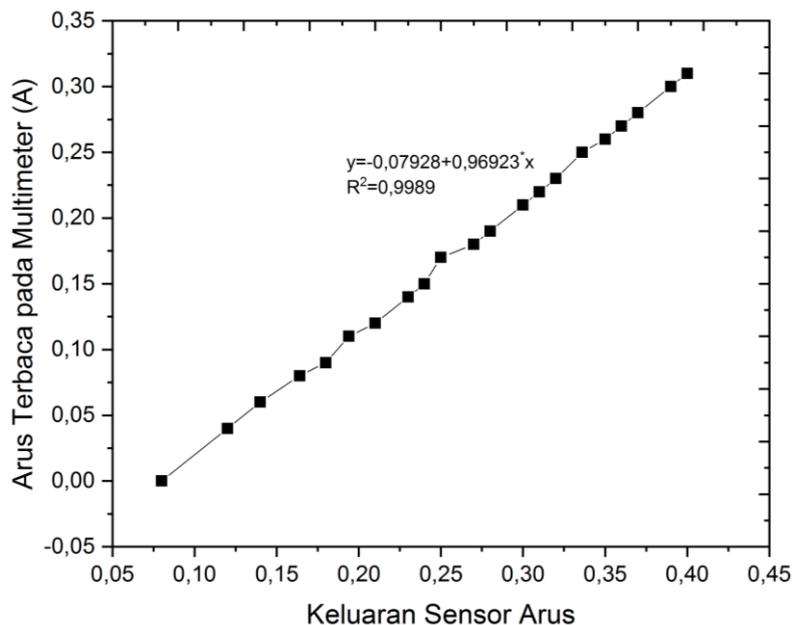
### c. Sensor Arus ACS712 30 A

Sensor arus ACS712 adalah sensor arus yang bekerja berdasarkan efek medan. Sensor arus ini dapat digunakan untuk mengukur arus AC atau DC. Modul sensor ini telah dilengkapi dengan rangkaian penguat operasional, sehingga sensitivitas pengukuran arusnya meningkat dan dapat mengukur perubahan arus yang kecil. Sensor arus ACS712 30 A mempunyai sensitivitas sebesar 66 mV/A. Saat arus yang mengalir 0 A, IC ini mempunyai output tegangan 2,5 V. Nilai tegangan akan bertambah berbanding lurus dengan nilai arus. Program berikut ini digunakan untuk membaca nilai arus pada SMPS.

```
Voltage = (5/1024 * analogRead(A1));  
Current = (Voltage -2.5) / 0.066;
```

Fungsi dari sintak program “Voltage” adalah untuk mengkonversi data analog yang terbaca ke dalam data digital berupa tegangan dengan rentang 5 V. Sedangkan sintak program “Current” untuk mengkalkulasi arus yang terbaca oleh sensor dengan membagi hasil pengurangan antara Voltage dan 2,5 V dengan sensitivitas dari sensor arus yang digunakan yaitu 0,066.

Cara kerja sensor ini adalah arus yang mengalir melalui kabel tembaga yang terdapat di dalamnya yang menghasilkan medan magnet. Medan magnet kemudian ditangkap oleh integrated Hall IC dan diubah menjadi tegangan. Tegangan kemudian diubah lagi menjadi arus keluaran. Sebelum sensor digunakan, sensor terlebih dahulu dikalibrasi untuk melihat sensitivitas dan akurasi dari sensor arus. Proses kalibrasi dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sensor arus dan hasil pengukuran dengan menggunakan multimeter. Pengujian dilakukan dengan menggunakan beban lampu pijar 100 watt yang diberi tegangan 0-100 V dengan interval tegangan masukan sebesar 5 V. Proses pengukuran pada kalibrasi dilakukan sebanyak lima kali pengulangan. Hasil dari kalibrasi sensor arus ditunjukkan pada Gambar 4.9.



**Gambar 4.9** Grafik kalibrasi sensor arus ACS 712 30 A

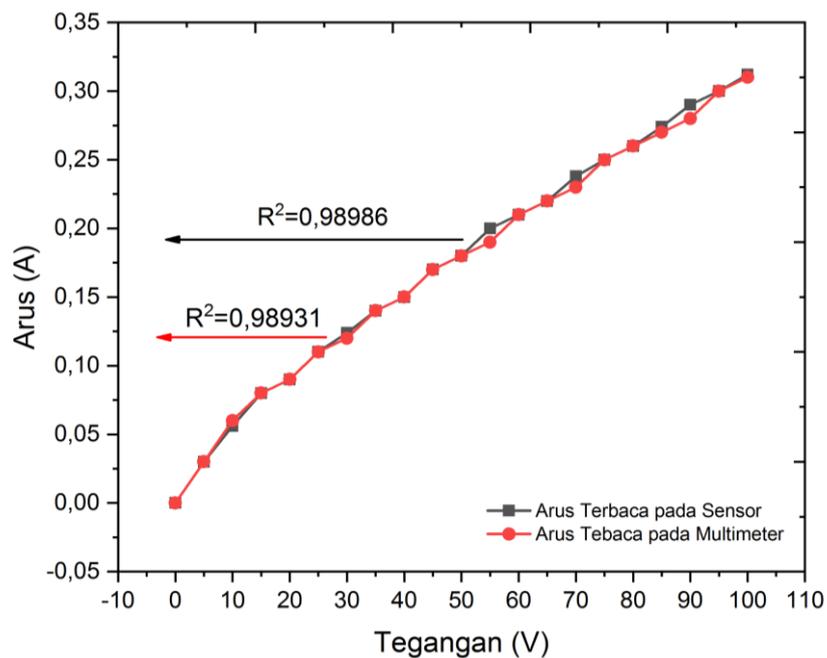
Gambar 4.9 merupakan grafik kalibrasi dari sensor arus ACS 712 30 A. Dari hasil kalibrasi yang dilakukan terdapat perbedaan antara arus terbaca dengan keluaran dari sensor arus. Perbedaan yang didapatkan cukup besar yaitu sebesar  $\pm 0,08$  A. Perbedaan yang terjadi menunjukkan bahwa keluaran dari sensor arus belum sesuai atau akurat dengan besarnya arus yang terukur pada multimeter. Oleh karena itu untuk menyesuaikan keluaran dari sensor arus, maka dilakukan pengujian linieritas dengan proses *fitting* pada grafik dan didapatkan nilai  $R^2 = 0,99898$  dan persamaan linieritas seperti yang ditunjukkan pada persamaan (4.1)

$$y = -0,07928 + 0,96923 * x \quad (4.1)$$

Persamaan linieritas yang didapatkan ini kemudian dimasukkan kedalam program arduino untuk mengolah hasil bacaan dari sensor arus. Berikut ini potongan program yang telah dimasukkan persamaan linieritas.

```
Voltage = (5/1024 * analogRead(A1));
x = (Voltage - 2.5) / 0.066;
Current = -0,07928 + 0,96923 * x
```

Untuk melihat tingkat akurasi sensor arus setelah dilakukan kalibrasi maka dilakukan kembali pengujian perbandingan antara hasil pembacaan sensor arus dengan hasil pembacaan dari multimeter. Pengujian ini dilakukan dengan memberi tegangan masukan dari 0-100 V dan beban lampu pijar 100 watt. Hasil pengujian akurasi sensor ditunjukkan pada Gambar 4.10 dan Lampiran 7.

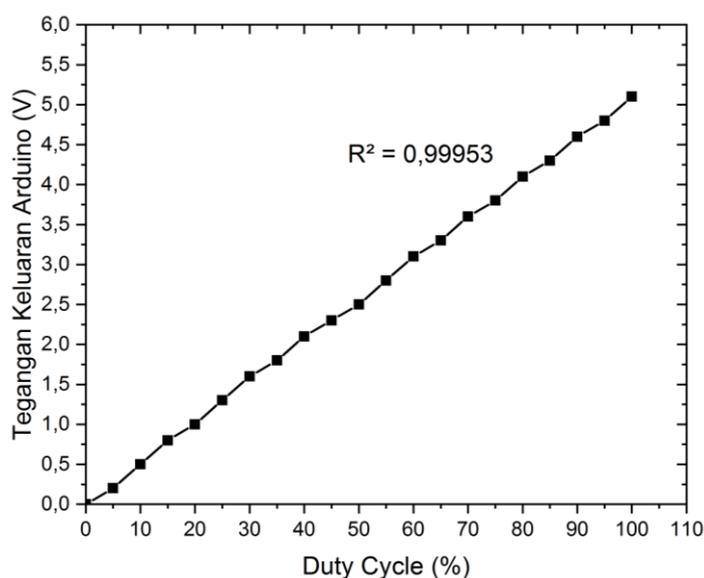


**Gambar 4.10** Grafik akurasi sensor arus ACS 712

Gambar 4.10 menunjukkan bahwa arus yang terbaca pada sensor arus ACS 712 dan multimeter berbanding lurus dengan tegangan dan memiliki tren linieritas yang sangat baik dengan  $R^2$  sebesar 0,98986 untuk sensor arus dan  $R^2$  sebesar 0,98931 untuk multimeter. Nilai  $R^2$  merupakan tingkat kesesuaian persamaan garis yang diperoleh terhadap variasi data. Nilai  $R^2$  terletak antara 0-1, dengan nilai idealnya adalah 1 yang menunjukkan bahwa persamaan garis yang didapat sesuai dengan variasi data. Dalam hal ini adalah kesesuaian antara arus yang terbaca oleh sensor dan arus yang terbaca oleh multimeter dengan tegangan masukan. Dari pengujian yang dilakukan juga didapatkan tingkat akurasi dari sensor arus sebesar 98,79 %

dan tingkat kesalahan sebesar 1,21 %. Hal ini menunjukkan sensor arus memiliki tingkat akurasi yang baik dan dapat digunakan untuk mendeteksi arus keluaran dari SMPS.

Sistem kontrol bekerja dengan tegangan dari *voltage regulator* yang tergabung dengan rangkaian kontrol. Rangkaian kontrol membangkitkan sinyal PWM yang berasal dari Arduino yang memiliki rentang tegangan dari 0-5 V. Rentang tegangan ini ditentukan oleh persentase *duty cycle*. Hubungan antara tegangan keluaran Arduino terhadap *duty cycle* harus memiliki linieritas yang baik. Tegangan keluaran dari Arduino mempengaruhi keluaran tegangan pada rangkaian kontrol. Oleh karena itu perlu dilakukan pengujian pada tegangan keluaran Arduino untuk melihat linieritas antara tegangan keluaran Arduino terhadap *duty cycle*. Hasil pengujian tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.11 dan Lampiran 3.



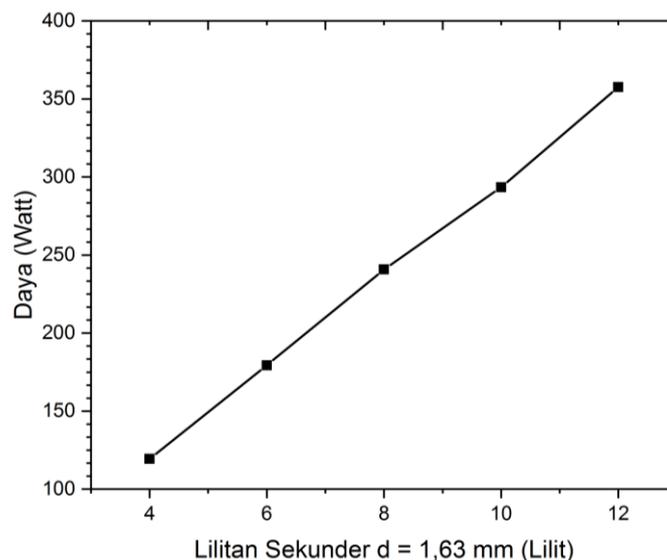
**Gambar 4.11** Grafik hubungan *duty cycle* terhadap tegangan keluaran Arduino

Gambar 4.11 menunjukkan bahwa *duty cycle* berbanding lurus dengan tegangan keluaran Arduino dan memiliki linieritas yang sangat baik dengan  $R^2$  sebesar 0,99953.

## B. Pengujian dan Analisis Data

### B.1. Pengaruh jumlah lilitan sekunder dan diameter kawat pada trafo terhadap keluaran SMPS.

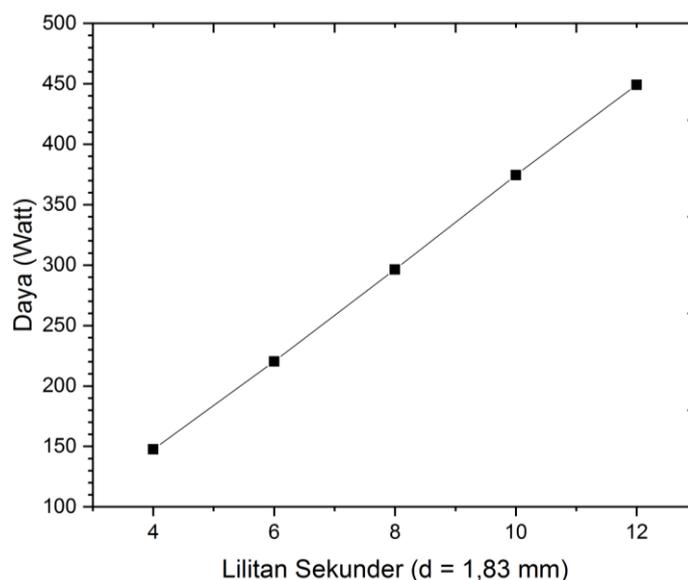
Proses pengujian diawali dengan mencari pengaruh jumlah lilitan dan diameter kawat sekunder terhadap tegangan keluaran dari SMPS. Pengujian dilakukan dengan mengukur keluaran dari SMPS yang berupa tegangan dan arus. Pengujian dilakukan dengan variasi jumlah lilitan sekunder sebanyak 4, 6, 8, 10 dan 12 lilit pada trafo dengan diameter kawat 1,63 mm dan 1,83 mm. Hasil pengujian dengan variasi jumlah lilitan sekunder sebanyak 4, 6, 8, 10 dan 12 lilit dengan diameter kawat 1,63 mm ditunjukkan pada Gambar 4.12.



**Gambar 4.12** Grafik hubungan jumlah lilitan sekunder ( $d = 1,63$  mm) terhadap keluaran SMPS.

Gambar 4.12 menunjukkan hubungan jumlah lilitan sekunder dan diameter kawat terhadap keluaran SMPS dengan menggunakan variasi jumlah lilitan 4, 6, 8, 10, dan 12 dengan diameter kawat sebesar 1,63 mm. Dapat dilihat pada Gambar 4.12 dengan variasi jumlah lilitan 4, 6, 8, 10, dan 12 lilit dengan diameter kawat 1,63

mm dihasilkan daya keluaran secara berurutan sebesar 118,9;180,54; 239,54; 293,48 dan 358,13 watt. Sementara untuk hasil pengujian dengan variasi jumlah lilitan sekunder sebanyak 4, 6, 8, 10 dan 12 lilit dengan diameter kawat 1,83 mm ditunjukkan pada Gambar 4.13.



**Gambar 4.13** Grafik hubungan jumlah lilitan sekunder (d =1,83 mm) terhadap keluaran SMPS.

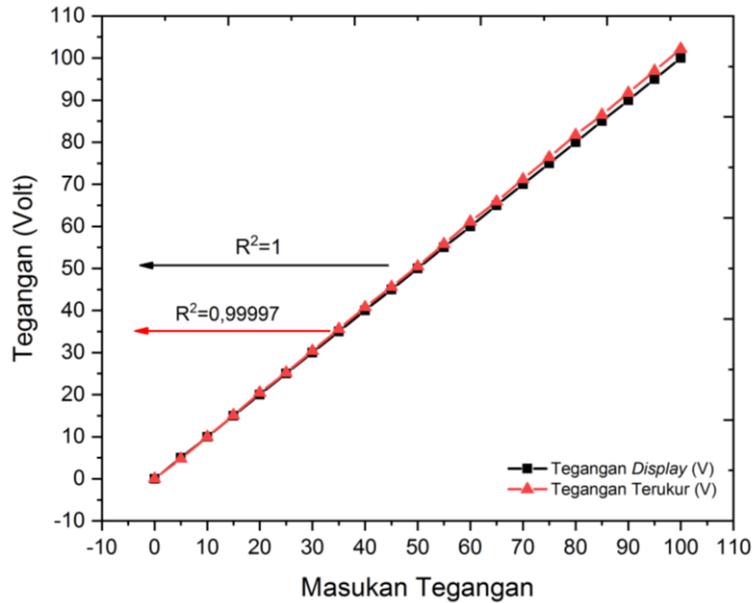
Gambar 4.13 menunjukkan hubungan jumlah lilitan sekunder dan diameter kawat terhadap keluaran SMPS dengan menggunakan variasi jumlah lilitan 4, 6, 8, 10, dan 12 dengan diameter kawat sebesar 1,83 mm. Dapat dilihat pada Gambar 4.13 dengan variasi jumlah lilitan 4, 6, 8, 10, dan 12 lilit dengan diameter kawat 1,83 mm dihasilkan daya keluaran secara berurutan sebesar 148,32; 218,88; 297,84; 374,44 dan 448,44 watt. Dari kedua pengujian yang ditunjukkan pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13 dapat disimpulkan bahwa semakin banyak jumlah lilitan dan besar diameter kawat, maka keluaran yang dihasilkan SMPS semakin besar.

Hasil pengujian yang didapatkan kemudian dibandingkan dengan referensi untuk melihat kesalahan (*error*) dan didapatkan rata-rata *error* untuk variasi dengan

diameter 1,63 mm sebesar 1% dan diameter 1,83 mm sebesar 0,3%. *Error* ini dapat terjadi karena kurangnya akurasi dalam melilit trafo yang dipengaruhi oleh proses melilit trafo yang masih manual. *Error* ini dapat dihindari dengan menggunakan alat penggulung trafo otomatis. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa semakin banyak jumlah lilitan dan besar diameter kawat yang digunakan maka daya yang dihasilkan semakin besar.

## **B.2. Pengujian Tegangan Masukan Terhadap Tegangan Keluaran SMPS**

Proses pengujian tegangan masukan terhadap tegangan keluaran SMPS dilakukan dengan memasukkan nilai tegangan pada sistem kontrol dari 0-100 V dengan interval 1. Pada masing-masing tegangan dilakukan pengulangan sebanyak 5 kali. Proses pengulangan dilakukan dengan arah yang berlawanan dimana pengulangan 1, 3 dan 5 diukur dari minimum (0) sampai maksimum (100) sedangkan pengulangan 2 dan 4 diukur dari maksimum ke minimum. Fungsinya adalah untuk melihat penyimpangan yang mungkin terjadi ketika dilakukan pengukuran dari dua arah berlawanan atau disebut sebagai histeresis. Pengujian keluaran SMPS terhadap masukan tegangan bertujuan untuk melihat tingkat akurasi, presisi, dan kesalahan (*error*) dari SMPS yang telah dibuat. Hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.14.



**Gambar 4.14** Grafik akurasi tegangan keluaran SMPS terhadap masukan tegangan

Gambar 4.14 merupakan grafik akurasi tegangan keluaran SMPS terhadap masukan tegangan. Grafik tersebut menunjukkan bahwa alat yang telah dibuat memiliki responsi yang sangat baik terbukti dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,9997 pada tegangan terukur. Hasil perhitungan nilai kesalahan (*error*) pada masing-masing tegangan masukan ditunjukkan pada Lampiran 8. Data dihitung menggunakan Persamaan (3.1) dan diperoleh rata-rata keseluruhan *error* sebesar 1,81%. Dari hasil perhitungan persentase *error*, dapat dihitung tingkat akurasi tegangan keluaran alat menggunakan Persamaan (3.2). Hasil perhitungan diperoleh rata-rata akurasi alat secara keseluruhan yaitu sebesar 98,19%.

*Error* yang terjadi disebabkan karena pada saat masukan tegangan lebih dari 50 V, tegangan keluaran lebih besar dari masukan tegangan sehingga terjadi selisih diantara masukan tegangan dengan tegangan keluaran seperti yang ditunjukkan pada grafik pada Gambar 4.14. Nilai *error* yang dihasilkan menunjukkan bahwa *error* dapat ditoleransi karena *error* yang dihasilkan masih dibawah 10%, didukung

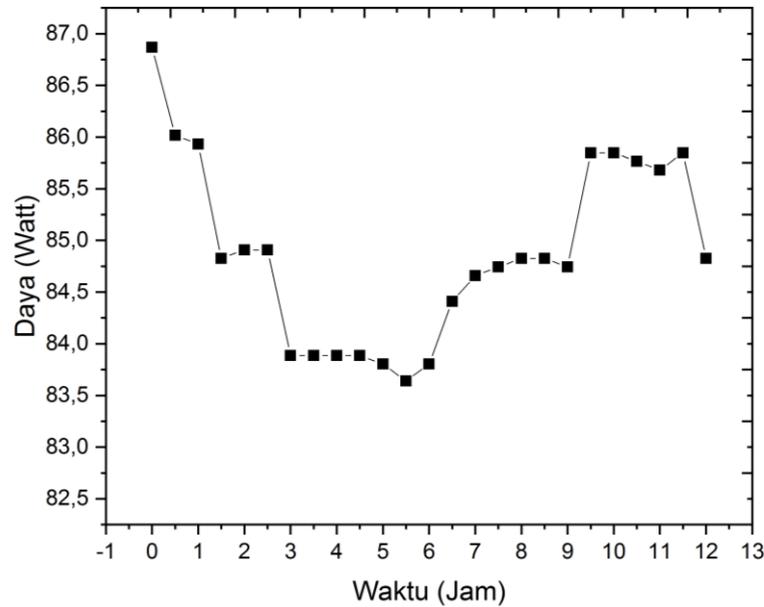
dengan nilai akurasi yang besar. Semakin kecil persentase *error* yang dihasilkan maka kinerja alat akan semakin baik, sebaliknya semakin besar persentase akurasi yang dihasilkan maka kinerja alat akan semakin baik (Halim dkk., 2016).

Selain tingkat *error* dan akurasi, pada pengujian ini juga dihitung tingkat presisi tegangan keluaran yang dinyatakan dengan nilai koefisien variasi (KV). Perhitungan presisi dapat menggunakan Persamaan (3.3). Hasil perhitungan diperoleh nilai KV rata-rata sebesar 0,02%. Nilai KV tersebut menunjukkan hasil yang baik, karena semakin kecil nilai KV maka tingkat presisi alat semakin baik (Persada, 2017).

### **B.3. Pengujian Stabilitas Keluaran SMPS**

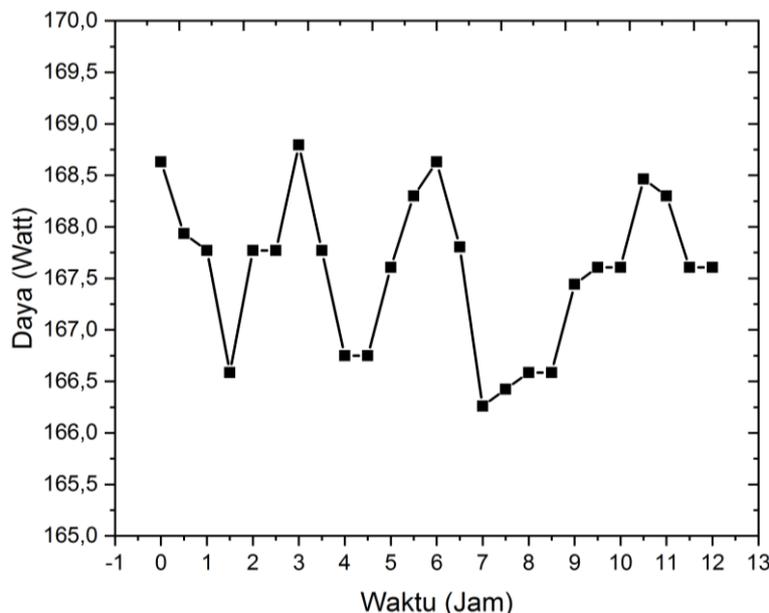
Pengujian dilakukan untuk mengetahui tingkat stabilitas keluaran SMPS jika digunakan dalam jangka waktu tertentu. Hal ini sangat penting karena penggunaan SMPS baik untuk keperluan riset maupun keperluan laboratorium digunakan dalam jangka waktu yang cukup lama. Seperti yang dilakukan oleh Purnawati dkk. (2000) yang menggunakan sumber tegangan tinggi sebesar 15 kV selama 3 jam untuk membuat nanofiber Polyvinyl Alkohol (PVA) dengan metode *Electrospinning*. Dalam hal ini SMPS digunakan untuk menyuplai sumber tegangan tinggi. Oleh karena itu, dilakukan pengujian stabilitas SMPS dengan mengukur keluaran SMPS yang diberi beban lampu pijar 100 watt sebanyak 3 dan 6 buah selama 24 jam. Pada pengujian stabilitas ini tegangan masukan yang digunakan adalah tegangan maksimum (100 V). Pengujian dilakukan dengan pembagian waktu 12 jam untuk pengujian dengan beban 3 buah lampu pijar dan 12 jam untuk pengujian dengan beban 6 buah lampu pijar dengan proses pengambilan data setiap 30 menit. Hasil

pengujian dengan menggunakan beban 3 buah lampu pijar 100 watt ditunjukkan pada Gambar 4.15 dan Lampiran 1.



**Gambar 4.15** Grafik stabilitas keluaran SMPS dengan beban 3 buah lampu pijar 100 watt

Gambar 4.15 menunjukkan grafik stabilitas keluaran SMPS dengan beban 3 buah lampu pijar 100 watt. Grafik tersebut menunjukkan bahwa SMPS memiliki tingkat kestabilan yang baik walaupun terjadi penurunan daya di beberapa waktu pengukuran. Penurunan daya paling besar yang terjadi sebesar 3,2 watt dari daya maksimum sebesar 86,87 watt. Kemudian untuk hasil pengujian dengan menggunakan beban 6 buah lampu pijar 100 watt ditunjukkan pada Gambar 4.16 dan Lampiran 2.



**Gambar 4.16** Grafik stabilitas keluaran SMPS dengan beban 6 buah lampu pijar 100 watt

Gambar 4.16 menunjukkan grafik stabilitas keluaran SMPS dengan beban 6 buah lampu pijar 100 watt. Grafik pada Gambar 4.16 juga menunjukkan bahwa SMPS memiliki tingkat kestabilan yang baik walaupun terjadi penurunan daya di beberapa waktu pengukuran. Penurunan daya paling besar yang terjadi sebesar 2,37 watt dari daya maksimum sebesar 168,63 watt. Penurunan daya yang ditunjukkan pada Gambar 4.15 dan Gambar 4.16 bisa diabaikan karena ada kenaikan dan penurunan daya pada pengujian stabilitas tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa SMPS memiliki respon yang baik terhadap perubahan yang terjadi selama 24 jam dihidupkan walaupun dihubungkan dengan beban.

Dari perancangan sistem telah direalisasikan, catu daya dengan metode SMPS memiliki beberapa keluaran tegangan dengan salah satu keluaran tegangannya yang dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. Keluaran yang telah direalisasikan diantaranya: tegangan yang dapat diatur dari 0-100 V dengan besar arus maksimal sebesar 7,3 A. Kemudian tegangan ekstra sebesar (+15 V, 0 V, -15 V) dengan besar

arus maksimal sebesar 2 A, dan tegangan ekstra 15 V dengan besar arus maksimal sebesar 0,44 A. Beberapa keluaran tegangan ini dapat digunakan untuk menyuplai piranti elektronika yang menggunakan sistem *embedded* (sistem yang terdiri dari perangkat lunak dan keras) seperti *electrospinner*. *Electrospinner* memerlukan beberapa suplai tegangan untuk mengoperasikan beberapa komponen yang ada pada *electrospinner*. Komponen yang ada pada *electrospinner* diantaranya: *high voltage*, *syringe pump*, dan *collector* (Marno dkk., 2018).

*High voltage* sebesar 0-30 kV dapat direalisasikan dengan menggunakan metode transformator *flyback*, seperti penelitian yang telah dilakukan oleh Prabowo (2019). Pada penelitiannya, *high voltage* yang telah direalisasikan sebesar 21 kV dengan keluaran yang dapat diatur dari 0-21 kV dengan menggunakan teknik PWM. Teknik PWM ini digunakan untuk mengatur tegangan keluaran catu daya yang digunakan untuk menyuplai *high voltage*. Catu daya yang digunakan untuk menyuplai *high voltage* sebesar 24 V, yang kemudian diatur tegangannya menjadi 0-24 V dengan menggunakan teknik PWM. Sedangkan untuk *syringe pump* dan *collector* memerlukan suplai tegangan sebesar 12 V. Dari beberapa kebutuhan suplai tegangan yang diperlukan oleh *electrospinner* ini dapat dipenuhi dengan menggunakan catu daya dengan metode SMPS berbasis arduino sebagaimana yang telah direalisasikan pada penelitian ini.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengukuran, pengamatan, dan pengujian pada penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Telah direalisasikan catu daya dengan metode SMPS berbasis arduino yang memiliki *multiple output* dengan keluaran 0-100 V, (+15 V, 0 V, -15 V), dan 15 V.
2. Pada variasi jumlah lilitan 4, 6, 8, 10, dan 12 dengan diameter kawat 1,63 mm dihasilkan daya keluaran secara berurutan sebesar 118,9;180,54; 239,54; 293,48 dan 358,13 watt. Sementara dengan diameter kawat 1,83 mm dihasilkan daya keluaran secara berurutan sebesar 148,32; 218,88; 297,84; 374,44 dan 448,44 watt. Maka dapat disimpulkan semakin banyak jumlah lilitan dan besar diameter kawat yang digunakan, maka daya yang dihasilkan semakin besar.
3. Keluaran catu daya dengan *multiple output* yang telah direalisasikan memiliki tingkat presisi yang sangat baik yaitu sebesar 99,98% yang dinyatakan dengan koefisien variasi (KV) sebesar 0,02%, semakin kecil nilai KV maka tingkat presisi alat semakin baik.
4. Pengontrolan tegangan keluaran dilakukan dengan teknik PWM yang dibangkitkan dengan Arduino yang digunakan untuk menggeakkan MOSFET

sebagai saklar, sehingga tegangan masukan 100 V dapat dikontrol menjadi 0-100 V sebagai tegangan keluaran dari catu daya.

## **B. Saran**

Saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Perlu adanya proteksi pada keluaran sistem kontrol agar MOSFET sebagai pengontrol utama tidak rusak ketika terjadi hubungan singkat (*short*) pada tegangan keluaran SMPS.
2. Perlu adanya sensor tegangan keluaran yang mampu mendeteksi secara akurat agar tegangan keluaran dapat dimonitoring secara langsung tanpa harus diukur dengan multimeter terlebih dahulu.
3. Menggunakan Arduino sebagai pembangkit PWM pada blok SMPS.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amit dan Kumar, M. 2013. Design And Implementation Of Multiple Output Switch Mode Power Supply. *International Journal of Engineering and Technology (IJETT)*, 4(10): 4540–4545.
- Cahyadi, M., Nasrullah, E. dan Trisanto, A. 2016. Rancang Bangun Catu Daya DC 1V – 20V Menggunakan Kendali P-I Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro (Electrician)*, 10(2).
- Demon, S.Z.N., Tamuri, A.R. dan Bidin, N. 2008. High voltage Switch Mode Power Supply for laser system. *Department of Physics, Centre of Foundation Studies, National Defense University Malaysia*, 1–4.
- Halim, F.R., Suwandi dan Suhendi, A. 2016. Rancang Bangun Syringe Pump menggunakan Motor Stepper Berbasis Arduino. *e-Proceeding of Engineering*, 3(2): 2078–2085.
- Hart, D.W. 1997. *Power Electronics*. Indiana: McGraw-Hill.
- Jagadish dan Jayapal, R. 2017. Design and Development of Universal Impedance Analyzer. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 6(8): 2278–8875.
- Karthika dan George, N.S. 2014. Design of a Power Supply Using Fly-Back Converter. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 3(5): 403–408.
- Kwon, S., Yoo, D., Jeong, G. dan Korea, S. 2014. High- Efficiency AC-DC Switch Mode Power Supply Using Full-Bridge Converter Circuit. *International Journal of Control and Automation*, 7(6): 189–200.
- Marno, Widiyanto, E., Sumarjo, J. dan Santosa, A. 2018. Perancangan dan Pengembangan Sistem Electrospinning sebagai Teknologi dalam Pembuatan Nanofiber. *Inovasi Vokasional dan Teknologi*, 18(2): 101–108.
- Miyan, H., Tavade, C.M., Deshpande, L.M. dan Prashanth, R.S. 2012. Design and implementation of high frequency transformer for SMPS based flyback DC-DC converter. *International Journal of Engineering and Technology(IJET)*, 4(6): 494–499.
- Persada, E.M. 2017. *Presisi dan Akurasi*. Tersedia di <http://www.eralika.com/article/presisi-dan-akurasi/>. Diakses pada 20 April

2019.

- Prabowo, Y.D. 2019. Rancang Bangun Sumber Tegangan Tinggi (High Voltage) 20 Kv dengan Teknik Pulse Width Modulation (Pwm) Berbasis Arduino untuk Aplikasi Mesin Pemintal Serat Nano. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Pressman, A.I., Billings, K. dan Morey, T. 2009. *Switching Power Supply Design, Third Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Pujiyatmoko, H., Facta, M. dan Warsito, A. 2014. Resonansi Berbasis Kumparan Tesla. *TRANSIENT*, 3.
- Purnawati, D., Nugraheni, A.D., Laraswati dan Shalihah, H. 2000. Pembuatan Nanofiber Polivinil Alkohol ( PVA ) dengan Metode Electrospinning sebagai Masker Debu Vulkanik. *Journal Fisika Indonesia*, 21(1): 24–26.
- Rahman, M.S. 2007. *Buck Converter Design Issues. Division of Electronic Devices*. Linkopings Institute of Technology. Tersedia di <http://liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:24104/FULLTEXT01>.
- Sahu, A. dan Pradhan, M.K. 2016. A unity power factor multiple isolated outputs switching mode power supply using a single switch.pdf. *International Journal of Research in Advent Technology*, 4(3): 177–184.
- Santoso, W.B., Santoso, B., Sukandar dan Susila, I.P. 2015. Pengatur Catu Daya Tegangan Tinggi Perangkat Mammografi MX-13 Berbasis Pulse Width Modulation. *Jurnal Perangkat Nuklir*, 9(2): 91–101.
- Supani, A. dan Azwardi 2015. Penerapan Logika Fuzzy dan Pulse Width Modulation untuk Sistem Kendali Kecepatan Robot Line Follower. *INKOM*, 9(1): 1–10.
- Yanis, R., Mamahit, D.J., Sherwin, R.U.A. dan Elektro-ft, J.T. 2013. Perancangan Catu Daya Berbasis Up-Down Binary Counter Dengan. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 1–12.