

TESIS

**SMD LED DRIVER CIRCUIT USING SWITCHED STRING
METHOD**

Disusun dan Diajukan oleh

SRY DEFI

D032182006



DOSEN PEMBIMBING :

Prof. Dr.-Ing. Faizal Arya Samman, ST., MT

Dr. Ir. Rhiza S. Sadjad, MSEE

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2022

ABSTRAK

Sry Defi. SMD LED Driver Circuit Using Switched String Method. (dibimbing oleh **Faizal Arya Samman** dan **Rhiza S. Sadjad**).

Penelitian ini bertujuan menguji efisiensi sebuah rangkaian pemasok daya LED untuk menyalakan lampu LED SMD tipe 3528 dengan spesifikasi arus 25mA dan tegangan 3,2V. Eksperimen menggunakan LED tipe ini menjadi acuan untuk pemilihan LED tipe D1N5765 dari pustaka peranti-lunak PSpice yang digunakan dalam simulasi. Rangkaian ini menggunakan metode switching dengan teknik modulasi lebar pulsa (pulse width modulation/PWM) yang mampu menghasilkan keluaran arus dan tegangan dengan efisiensi yang baik. PWM yang dibangkitkan dengan frekuensi switching 50Khz digunakan untuk menyala-padamkan MOSFET. Siklus tugas (duty cycle) diatur untuk memperoleh keluaran arus dan tegangan berdasarkan karakteristik LED. Hasil simulasi rangkaian menunjukkan efisiensi pada arus dan tegangan sesuai dengan spesifikasi LED yaitu 95,2% pada rangkaian pemasok daya LED. Berdasarkan variasi parameter induktor paling tinggi berada pada parameter 13.1 μH dengan efisiensi 75.1%. Variasi parameter kapasitor paling tinggi berada pada parameter 3.9 μF dengan efisiensi 72.7%. Variasi parameter frekuensi paling tinggi berada pada parameter 25 kHz efisiensi 71.9% sedangkan, untuk variasi parameter LED paling tinggi berada pada LED terhubung seri dengan efisiensi sebesar 86.9%. Berdasarkan pengujian simulasi dari variasi parameter frekuensi, induktor, kapasitor dan LED terhadap rangkaian efisiensinya lebih rendah dari efisiensi nominal rangkaian sebesar 95,2%.

Kata Kunci: Pemasok Daya LED, Teknik Modulasi Lebar Pulsa, Arus dan Tegangan Keluaran, Efisiensi.

ABSTRACT

Sry Defi. SMD LED Driver Circuit Using Switched String Method. (supervised by **Faizal Arya Samman** and **Rhiza S. Sadjad**).

This study aims to test the efficiency of an LED power supply circuit to power a 3528 SMD LED lamp with a current specification of 25mA and a voltage of 3.2V. Experiments using this type of LED became a reference for the selection of LED type D1N5765 from the PSpice software library used in the simulation. This circuit uses a switching method with pulse width modulation (PWM) technique which is able to produce current and voltage output with good efficiency. PWM generated with a switching frequency of 50Khz is used to turn on and off the MOSFET. The duty cycle is set to obtain a current and voltage output based on the characteristics of the LED. The results of the circuit simulation show the efficiency of current and voltage according to the LED specifications, which is 95.2% in the LED power supply circuit. Based on the variation of the inductor parameter, the highest parameter is 13.1 H with an efficiency of 75.1%. The highest variation of capacitor parameters is in the parameter 3.9 F with an efficiency of 72.7%. The highest frequency parameter variation is in the 25 kHz parameter, the efficiency is 71.9%, while for the LED parameter variation the highest is in the series-connected LED with an efficiency of 86.9%. Based on the simulation test of the variation of the frequency parameters, inductors, capacitors and LEDs on the circuit the efficiency is lower than the nominal efficiency of the circuit by 95.2%.

Keywords: Led Driver, Pulse Width Modulation, Current and Output Voltage, Efficiency.

KATA PENGANTAR

Segala puji hanya milik Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang telah memberikan rahmat, hidayah, taufik dan pertolongan-Nya dalam menyelesaikan proposal tesis yang berjudul "**SMD LED DRIVER CIRCUIT USING SWITCHED STRING METHOD**" sebagai salah satu syarat dalam menyelesaikan jenjang Pascasarjana pada Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Sholawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada Nabi Muhammad Shallallahu 'alaihi Wa Sallam, beserta keluarga dan para sahabatnya yang telah membimbing kita dari jalan kegelapan menuju jalan yang terang benderang.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dari berbagai pihak, sangatlah sulit untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karenanya, penulis berterima kasih kepada kedua orang tua **Mursalim Baharuddin.** dan **Syamsiah Djamaluddin, Bsc** yang senantiasa selalu memberikan dukungan moril maupun materil serta doa yang senantiasa terus dipanjatkan dan sekaligus menjadi pendengar yang baik dikala penulis ingin berbagi cerita terkait kendala maupun progres pada saat pengejaan tesis ini. Ucapan terima kasih juga kepada saudara - saudara saya yang turut memberikan dukungan dalam bentuk doa dan senda gurau serta semangat agar penulis tetap ceria dan semangat dalam menyelesaikan tesis ini.

Penulis juga menghaturkan ucapan terima kasih kepada Bapak **Prof. Dr.-Ing. Faizal Arya Samman, ST., MT** selaku pembimbing I dan Bapak **Dr. Ir. Rhiza S. Sadjad, MSEE.** selaku pembimbing II dalam kesediaannya menyisihkan waktu, tenaga, dan ilmu dalam segala permasalahan dalam

pembuatan tesis ini, serta seluruh tim penguji yang banyak memberikan arahan dan kritik yang membangun agar tesis ini semakin baik.

Penulis tentu tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada teman – teman seperjuangan Angkatan 2018 atas kerjasama dan kekompakannya selama ini, serta teman – teman di *Laboratorium Elektronika dan Divais Departemen Teknik Elektro* yang telah berbaik hati berbagi pengalaman dan masukan. Semoga kedepannya kita tetap menjaga kekompakan ini.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari kata sempurna. Dengan demikian, penulis tetap mengharapkan saran dan kritik dengan harapan semoga tulisan ini bisa memberikan manfaat kepada seluruh pihak. Akhir kata penulis mendoakan semoga Allah Subhana Wa Ta'ala terus memberikan taufik dan hidayah – Nya kepada semua pihak untuk dapat terus melakukan terobosan – terobosan dan inovasi baru dalam peningkatan kualitas ilmu pengetahuan. Aamiin ya Rabbal Alamin

Makassar, Desember 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR SINGKATAN DAN SIMBOL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
A. LATAR BELAKANG	1
B. RUMUSAN MASALAH	3
C. TUJUAN PENELITIAN	3
D. MANFAAT PENELITIAN	3
E. BATASAN MASALAH	4
F. SISTEMATIKA PENULISAN	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
A. LANDASAN TEORI	7
1. LED (Light Emitting Diode)	7
2. Rangkaian Susunan LED	8
3. Rangkaian LED Susunan Seri	8
4. Rangkaian LED Susunan Paralel	10
5. Rangkaian LED Susunan Seri dan Paralel	13
6. LED Driver	15
7. Switching	15
B. STATE OF THE ART	20
BAB III METODE PENELITIAN	22
A. JENIS PENELITIAN	22
B. TAHAPAN PENELITIAN	22
C. DIAGRAM USULAN	23
D. DIAGRAM ALIR PENELITIAN	24
E. WAKTU DAN LOKASI PENELITIAN	25
F. INSTRUMEN PENELITIAN	25
G. POSISI PENELITIAN	26

H.KERANGKA PIKIR.....	27
BAB IV PEMBAHASAN	28
A. MODEL RANGKAIAN	28
B. KONFIGURASI RANGKAIAN	29
C. MODEL SIMULASI TEKS	30
D. HASIL EKSPERIMEN DAN SIMULASI	36
BAB V PENUTUP	42
A. KESIMPULAN	42
B. SARAN	43
DAFTAR PUSTAKA.....	44

DAFTAR TABEL

Tabel 1. State of The Art.....	20
Tabel 2. Parameter Rangkaian.....	29
Tabel 3. Parameter LED SMD 3528.....	29
Tabel 4. Hasil Pengambilan Data Berdasarkan Eksperimen Rangkaian	33
Tabel 5. Hasil Pengambilan Data Simulasi Rangkaian LED Tipe D1N576	34
Tabel 6. Tabel Perbandingan Model Berdasarkan Eksperimen Dan Simulasi....	36
Tabel 7. Hasil Simulasi Metode Switching Daya Spice.....	38
Tabel 8. Hasil Analisis Effisiensi Terhadap Rangkaian.....	38
Tabel 9. Pengaruh Kapasitor 50 μ F Terhadap Rangkaian	39
Tabel 10. Pengaruh Kapasitor 200 μ F Terhadap Rangkaian	40
Tabel 11. Pengaruh LED Di Seri Terhadap Rangkaian	40
Tabel 12. Pengaruh LED Di Paralel Terhadap Rangkaian	41
Tabel 13. Pengaruh Vs 4,5v (Tegangan Masukan) Pada Rangkaian	41

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Simbol LED	7
Gambar 2. Susunan Rangkaian LED Seri.....	8
Gambar 3. Susunan Rangkaian LED Paralel.....	11
Gambar 4. Rangkaian LED Paralel Dengan R Seri	12
Gambar 5. Rangkaian LED Susunan Seri dan Paralel	14
Gambar 6. Sinyal PWM dengan amplitudo tetap	16
Gambar 7. Pembangkitan PWM secara analog.....	18
Gambar 8. PWM dalam siklus kerja (duty cycle) yang berbeda	19
Gambar 9. Diagram sistem pengujian	23
Gambar 10. Diagram alir penelitian	24
Gambar 11. Diagram pelaksanaan penelitian	26
Gambar 12. Kerangka Pikir.....	27
Gambar 13. Rangkaian Pemasok Daya LED dengan node	28
Gambar 14. Rangkaian LED.....	32
Gambar 15. Rangkaian eksperimen LED dengan LED SMD tipe 3528	32
Gambar 16. Rangkaian simulasi LED dengan tipe D1N576.....	34
Gambar 17. Model LED	35
Gambar 18. Grafik berdasarkan tegangan keluaran VD LED.....	36
Gambar 19. Simulasi SPICE dari Rangkaian pemasok daya LED dengan metode switching.....	37

DAFTAR SINGKATAN DAN SIMBOL

SMD	-	Surface Mounted Device
DC	-	Direct Current
PWM	-	Pulse Width Modulation
<i>L</i>	-	Induktor
<i>D</i>	-	dioda
<i>M</i>	-	Mosfet
<i>C</i>	-	kapasitor
<i>I</i>	-	Arus
<i>V</i>	-	Tegangan
η	-	Effesiensi daya

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kebutuhan masyarakat akan listrik di Indonesia tiap tahunnya mengalami peningkatan yang sangat signifikan. Hal ini dipicu dengan percepatan pembangunan di berbagai bidang sehingga mendorong kebutuhan akan kelistrikan di Indonesia jauh lebih meningkat. Tahun kemarin percepatan pertumbuhan penjualan listrik diperkirakan mencapai angka 6.5% tetapi realisasinya hanya mampu mencapai 5.14%. Hal ini tidak lepas dari beberapa faktor yang menjadi penghambat antara lain kelangkaan bahan bakar minyak serta makin menipisnya ketersediaan bahan bakar fosil atau batu bara juga mengambil peran sehingga masalah ini menjadi hal menarik untuk dipecahkan.

Beberapa tahun terakhir, Light Emitting Diode (LED) telah meningkat di berbagai aplikasi, seperti rumah dan industri, lampu lalu lintas, atau aplikasi otomotif[1], karena menampilkan beberapa keunggulan dibandingkan sumber cahaya yang biasa digunakan seperti sebagai lampu pijar, halogen, atau lampu neon[2]. Keunggulannya dari segi masa pakai yang lebih lama, konsumsi daya rendah, ketahanan, komponen ramah lingkungan, peredupan halus, dan kemanjuran bercahaya yang luar biasa [3]. Sebagai hasil dari pertumbuhan pesat dalam aplikasi LED, permintaan

pada sirkuit driver yang sesuai telah meningkat. Sirkuit driver LED dibagi menjadi tipe linier dan tipe sakelar. Rangkaian linear hemat biaya dan lebih sederhana, namun efisiensinya tergantung dari rasio konversi tegangan. sirkuit ini digunakan untuk aplikasi daya rendah [4-5]. Sebaliknya, Rangkaian mode-sakelar dapat menaikkan efisiensi daya. sirkuit ini digunakan untuk aplikasi daya yang tinggi.

Dalam hal efisiensi daya, menerapkan rangkaian driver mode-sakelar mempunyai kelebihan lebih besar dibandingkan dengan regulator linier [6]. Secara khusus, energi yang efisien dapat dilihat sebagai parameter kunci dalam merancang driver LED. Driver LED dapat melindungi LED dari fluktuasi tegangan atau arus. Perubahan tegangan dapat menyebabkan perubahan arus yang disuplai ke LED. Oleh karena itu, terlalu banyak atau terlalu sedikit arus dapat menyebabkan output cahaya bervariasi atau menurun lebih cepat karena suhu yang lebih tinggi di dalam LED.

Untuk memancarkan output cahaya yang seragam, dan akurasi tinggi dalam menjaga arus tetap konstan pada periode yang luas [7-8], maka akan dirancang sebuah sirkuit driver menggunakan metode switching dengan teknik Pulse width Modulation (PWM). PWM dipilih karena memberikan fleksibilitas peredupan lebih baik untuk LED dibandingkan dengan teknik peredupan DC lainnya [9].

B. Rumusan Masalah

Banyak penelitian yang telah mengusulkan rangkaian pemasok daya LED, tetapi hal ini belum mampu mengatasi kestabilan tegangan yang diinginkan dan daya yang lebih efisien pada pemasok daya LED dalam sistem pembangkit listrik ramah lingkungan photovoltaic.

Dalam penelitian ini tegangan keluaran dan arus yang efisien merupakan hal penting yang ingin diperoleh pada rangkaian pemasok daya LED dengan arus dan daya yang mampu menghasilkan efisiensi rangkaian yang teruji, sehingga pengujian berbasis simulasi dilakukan dalam penelitian ini menggunakan software Pspice. Pengujian berdasarkan kendali PWM dilakukan dengan lima parameter simulasi yaitu frekuensi, inductor, kapasitor, dan jumlah LED.

C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian berdasarkan rumusan masalah yang telah dijabarkan diatas antara lain:

1. Menghasilkan rangkaian pemasok daya LED dengan efisiensi yang baik.
2. Mengetahui pengaruh nilai komponen terhadap rangkaian berdasarkan pengujian yang dilakukan dengan empat parameter simulasi.

D. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Manfaat terhadap masyarakat, mendorong pengiritan energi sebagai bahan penghemat energi listrik dirumah.
2. Manfaat bagi peneliti, berguna untuk menambah pengetahuan dan kemampua skill mengenai proses atau kinerja dari LED Driver itu sendiri.
3. Manfaat terhadap dunia akademik
Sebagai bahan masukan atau referensi untuk pengembangan ilmu pengetahuan khususnya ilmu elektronika daya.

E. Batas-Batas Masalah

Mengingat luasnya ruang lingkup penelitian ini, maka penelitian ini dibatasi pada:

1. Pengujian dilakukan terhadap rangkaian LED Driver yang dirancang untuk disimulasikan.
2. Parameter penentu yang digunakan sebagai data analisis berupa arus dan tegangan
3. Beban yang digunakan adalah beban Resistif
4. Pengujian menggunakan program PSpice A/D Lite, untuk mensimulasikan rangkaian LED Driver tersebut.

F. Sistematika Penulisan

Adapun Sistematika penulisan pada penelitian ini adalah :

Bab I Pendahuluan

Bab I berisi penjelasan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah penelitian sehingga dapat memberigambaran tentang penelitian yang dilakukan. Penjelasan tentang urutan dan isi setiap bagian dalam laporan penelitian ini dijelaskan di bagian sistematika penulisan.

Bab II Tinjauan Pustaka

Bab II berisi penjelasan tentang landasan teori yang digunakan dalam penelitian dan kerangka pemikiran. Diuraikan pula tentang tinjauan pustaka yang merupakan penjelasan tentang hasil-hasil penelitian lainnya yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan. Landasan teori merupakan suatu penjelasan tentang sumber acuan terbaru dari pustaka primer seperti buku, artikel, jurnal, prosiding dan tulisan asli lainnya untuk mengetahui perkembangan penelitian yang relevan dengan judul atau tema penelitian yang dilakukan dan juga sebagai arahan dalam memecahkan masalah yang diteliti.

Bab III Metode Penelitian

Bab III ini merupakan penjelasan tentang tahapan – tahapan yang dilakukan dalam proses penelitian dan metode yang akan digunakan.

Bab IV Hasil Dan Pembahasan

Pada bab IV ini menjelaskan tentang hasil dan pembahasan penelitian serta implikasi dari penelitian yang dilakukan. Hasil merupakan suatu

penjelasan tentang data kuantitatif yang dikumpulkan sesuai dengan metodologi yang telah ditetapkan. Pembahasan merupakan suatu penjelasan tentang pengolahan data dan interpretasinya, baik dalam bentuk deskriptif ataupun penarikan inferensinya. Implikasi penelitian merupakan suatu penjelasan tentang tindak lanjut penelitian yang terkait dengan aspek sistem, maupun aspek penelitian lanjutan.

Bab V Kesimpulan Dan Saran

Pada bab V ini berisi ringkasan temuan, rangkuman kesimpulan dan saran. Kesimpulan merupakan pernyataan secara general atau spesifik yang berisi hal-hal penting dan menjadi temuan penelitian yang bersumber pada hasil dan pembahasan. Saran merupakan pernyataan atau rekomendasi peneliti yang berisi hal-hal penting sebagaimana yang telah disampaikan.

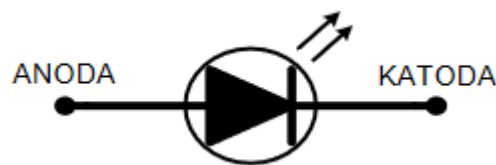
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Landasan Teori

1. LED (Light Emitting Diode)

Light Emitting Diode atau sering disingkat dengan LED adalah komponen elektronika yang dapat memancarkan cahaya monokromatik ketika diberikan tegangan maju. LED merupakan keluarga Dioda yang terbuat dari bahan semikonduktor. Simbol LED terlihat pada gambar 1



Gambar 1 Simbol LED

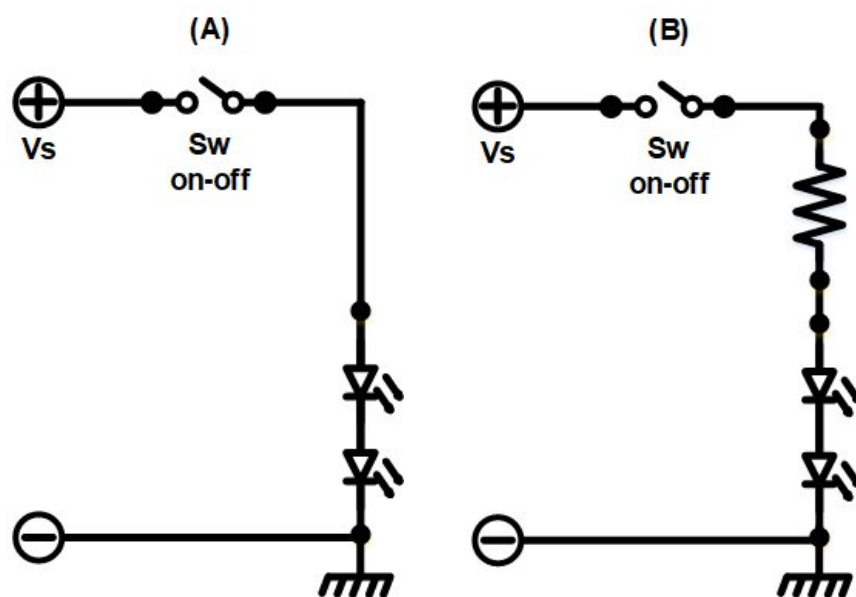
LED memiliki kaki 2 buah seperti dengan dioda yaitu kaki anoda dan kaki katoda. Pada gambar diatas kaki anoda memiliki ciri fisik lebih panjang dari kaki katoda. Pada gambar diatas kaki anoda memiliki ciri fisik lebih panjang dari kaki katoda ada saat masih baru, kemudian kaki katoda pada LED ditandai dengan bagian body yang dipapas rata. Pemasangan LED agar dapat menyala adalah dengan memberikantegangan bias maju yaitu dengan memberikan tegangan positif ke kaki anoda dan tegangan negatif ke kaki katoda. Konsep pembatas arus pada dioda adalah dengan memasang resistor secara seri pada salah satu kaki LED.

2. Rangkaian Susunan LED

Untuk mencatu LED pada umumnya digunakan sumber tegangan DC untuk masing-masing LED tergantung pada jenis dan spesifikasinya dengan kisaran antara 3,2 volt hingga 3,6 volt. Namun dalam beberapa rangkaian karena disesuaikan dengan kebutuhan daya dan intensitas cahayanya diperlukan suatu susunan agar semua LED bisa saling menyala sehingga dihasilkan akumulasi daya dan cahaya sesuai dengan yang diinginkan. Ada berbagai jenis rangkaian diantaranya rangkaian seri, paralel dan kombinasi seri paralel.

3. Rangkaian LED Susunan Seri

Dua LED yang disusun secara seri akan membutuhkan tegangan dua kali lebih besar. Jika ada tiga Led yang disusun seri maka tegangan yang dibutuhkannya akan menjadi tiga kali lebih besar, dan seterusnya.



Gambar 2 Susunan Rangkaian LED Seri

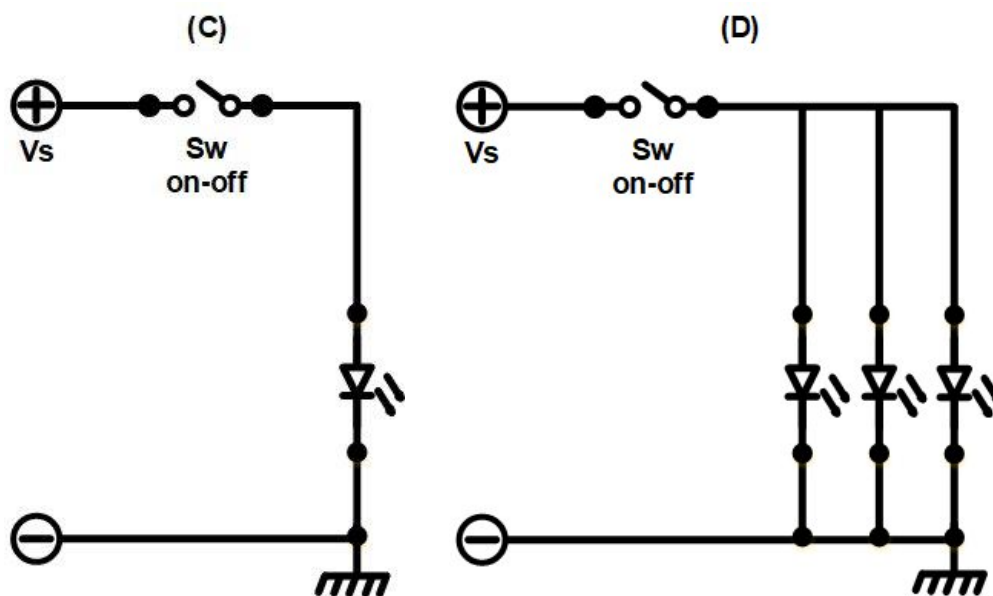
Pada gambar 2(A) tampak LED yang disusun secara seri. Jika satu LED membutuhkan tegangan 3,1V (untuk LED topi/payung), maka untuk dua LED yang disusun seperti itu V_s perlu sebesar 6,2V. Karena itu LED yang disusun seri seperti pada gambar 2(A) bisa langsung diterapkan pada V_s yang bertegangan 6V, misalnya dari baterai atau accu 6V tanpa memerlukan resistor lagi. Apabila V_s bertegangan 12V maka diperlukan resistor R seperti tampak pada gambar 2(B).

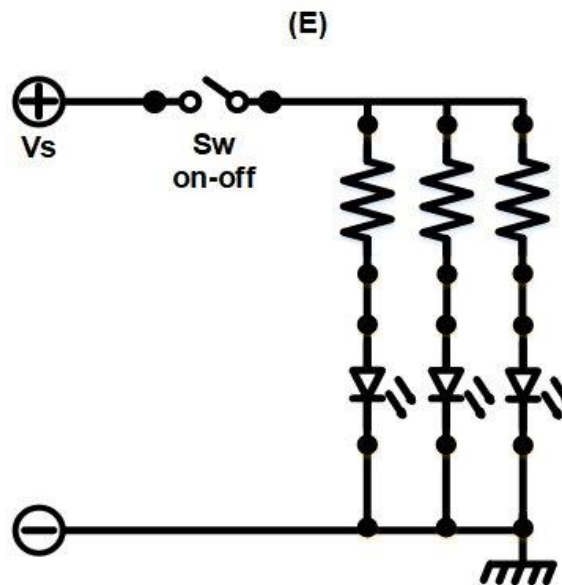
Di sini VLED adalah penjumlahan tegangan dua LED, sedangkan ILED adalah arus yang ditarik oleh LED. Karena LED disusun secara seri, maka arus yang melalui LED pertama adalah arus yang melalui LED kedua juga, sehingga di sini arus LED adalah tetap untuk perhitungan satu LED, yaitu 20mA (tidak menjadi dua kali lipat). Sekalipun (misalnya) ada seratus LED yang disusun secara seri, arusnya tetap saja 20mA, hanya tegangannya saja yang menjadi perlu lebih besar sesuai dengan banyaknya LED yang disusun. Namun perlu diperhatikan bahwa dengan menyambungkan secara seri, ada kemungkinan terjadi ketidak sinkronan kerja di antara LED tersebut. Semua LED yang terlibat dalam sambungan seri haruslah mempunyai karakteristik yang benar-benar sama, tidak boleh ada yang berbeda. Jika dalam satu barisan seri ada LED yang berbeda karakteristik (misalnya ada perbedaan jenis atau perbedaan tegangan majunya karena berlainan pabrik/merk atau manufaktur) maka tegangan yang terbagi kepada setiap LED akan berlain-lainan pula. Ini bisa menyebabkan terjadinya pelimpahan tegangan yang berlebihan kepada

salah satu LED, dan jika LED tersebut tidak mampu bertahan maka ia akan segera rusak. Dalam susunan seri, jika ada satu LED yang mati karena rusak, maka semua LED lainnya di dalam satu barisan seri tersebut akan ikut tidak menyala.

4. Rangkaian LED Susunan Paralel

LED yang disusun secara paralel tidaklah membutuhkan tegangan berkali lipat sebagaimana banyaknya LED. Jika satu LED membutuhkan tegangan 3,1V, maka sepuluh LED tetap hanya membutuhkan tegangan 3,1V. Sekalipun ada seratus LED disusun secara Paralel, tegangan yang dibutuhkan tetap saja 3,1V.





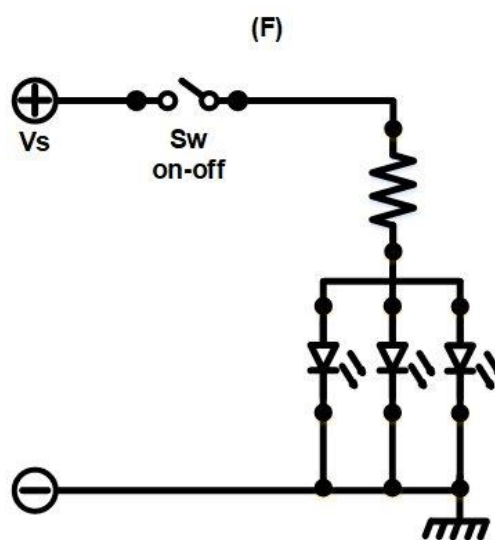
Gambar 3 Susunan Rangkaian LED Paralel

Namun arus yang dikonsumsi akan menjadi berlipat sebagaimana banyaknya LED. Perhatikan gambar 3(C) dan 3(D) di atas, pada gambar 3(C) tampak sebuah LED yang disambungkan kepada sumber tegangan V_s . Pada rangkaian ini akan menarik arus sebesar 20mA. Pada gambar 3(D) tiga buah LED disusun secara paralel, maka arus yang dikonsumsi oleh ketiga LED secara keseluruhan adalah $3 \times 20\text{mA} = 60\text{mA}$.

LED yang disusun secara paralel seperti pada gambar 3(C) dan 3(D) hanya dimungkinkan jika V_s bertegangan sebagaimana tegangan kerja (tegangan maju) LED, seperti misalnya dari sebuah baterai HP (Hand Phone) yang hanya bertegangan 3,7V. Apabila LED hendak dihubungkan dengan tegangan yang lebih tinggi, maka setiap LED Harus diseri dengan resistor R sebagaimana pada gambar 3(E). Mengenai perhitungan nilai R

untuk setiap LED telah dibahas pada ulasan sebelumnya, jadi, tidak perlu dibahas ulang di sini.

Berbeda dengan penyusunan LED secara seri, pada penyusunan LED secara paralel seperti ini arus yang dikonsumsi menjadi tiga kali lipat (sesuai banyaknya LED) padahal tegangannya adalah sama. Bandingkanlah antara tiga LED yang disusun secara seri dengan tiga LED yang disusun secara paralel dengan sumber tegangan V_s sebesar 12V. Pada bagian sebelumnya telah diketahui bahwa tiga LED yang disusun secara seri dengan akan mengkonsumsi daya sebesar arus yang melalui rangkaian seri dikalikan dengan tegangan total LED. Sedangkan pada rangkaian paralel daya yang dikonsumsi adalah tegangan V_s dikalikan dengan arus total yang dikonsumsi masing-masing LED. Selain penyusunan sebagaimana diperlihatkan pada gambar di atas, ada cara lain untuk penyusunan LED secara paralel. Perhatikan gambar berikut :



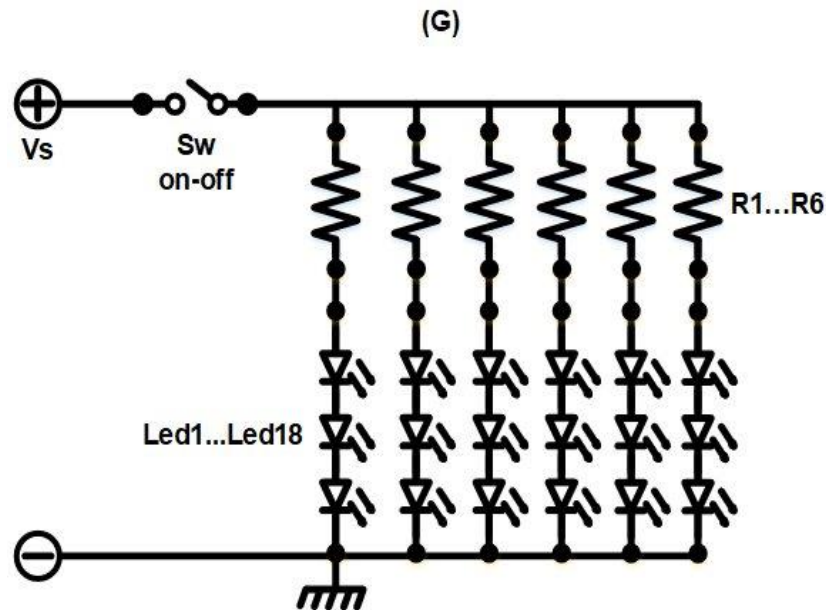
Gambar 4 Rangkaian LED Paralel Dengan R Seri

Tiga LED disusun secara paralel dengan langsung, lalu ketiga LED itu disambungkan kepada sumber tegangan V_s melalui sebuah resistor (gambar 4(F)). Ini berarti ketiga LED (yang disusun secara paralel) di-seri dengan resistor R_1 . Dengan penyusunan seperti ini arus yang melalui resistor adalah jumlah besaran arus dari ketiga LED. Jika satu LED menarik arus 20mA, maka arus yang melalui resistor adalah $3 \times 20\text{mA} = 60\text{mA}$.

Perlu diketahui bahwa dengan susunan paralel yang seperti ini ketiga LED sebaiknya mempunyai karakteristik yang benar-benar sama. Jika tidak, tegangan yang terlimpahkan kepada LED tersebut bisa menyimpang dari yang diperhitungkan dan bisa saja mengakibatkan kerusakan pada sebagian LED.

5. Rangkaian LED Susunan Seri dan Paralel

LED yang banyak yang hendak dinyalakan sebagai lampu penerangan bisa disusun dengan menggabungkan sambungan seri dan paralel seperti diperlihatkan pada gambar 5(G) berikut ini.



Gambar 5 Rangkaian LED Susunan Seri dan Paralel

Pada gambar 5(G) tampak bahwa setiap barisan seri terdiri dari sebuah resistor dan tiga buah LED, semuanya ada 6 barisan. Berarti susunan secara keseluruhan adalah susunan seri R dengan 3 LED seri yang diparalel sebanyak 6 baris. Dengan demikian perhitungan untuk menentukan nilai resistansi seri adalah sama dengan persamaan di atas. Sedangkan besarnya nilai daya yang diserap oleh LED adalah pada setiap baris arus yang melalui LED seri dikalikan tegangan total LED rangkaian seri. Sedangkan daya total yang diserap oleh LED adalah daya setiap baris dikalikan jumlah barisnya [10].

6. Led driver

Driver LED adalah catu daya yang menampilkan output sesuai dengan karakteristik listrik array LED. Driver LED dirancang untuk dapat memberikan arus dan tegangan konstan dalam pengoperasian berbagai LED. LED merupakan system pencahayaan yang mengandalkan sirkuit penggerak untuk terus beroperasi.

7. Switching

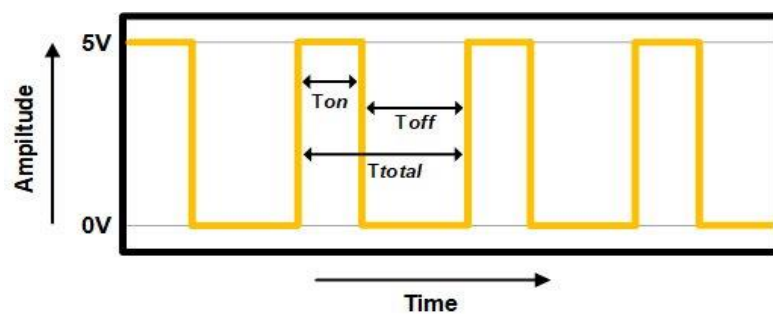
Pada sistem penyaklaran terdapat beberapa jenis teknik modulasi yang digunakan. Namun pada penelitian kali ini teknik modulasi yang digunakan adalah pulse width modulation (PWM).

a. Pengaturan Pulse Width Modulation (PWM)

Metode Pulse Width Modulation (PWM) adalah metode yang cukup efektif untuk mengatur nilai keluaran rangkaian. PWM ini bekerja dengan cara membuat gelombang persegi yang memiliki perbandingan pulsa tinggi terhadap pulsa rendah yang biasanya diskalakan dari 0 hingga 100%. Gelombang persegi ini memiliki frekuensi tetap (biasanya max 10 KHz) namun terdapat lebar pulsa tinggi dan rendah dalam 1 periode yang akan diatur. Perbandingan pulsa tinggi terhadap pulsa rendah ini akan menentukan jumlah daya yang diberikan ke beban (R).

Secara umum PWM adalah sebuah cara memanipulasi lebar sinyal atau tegangan yang dinyatakan dengan pulsa dalam suatu perioda, yang akan digunakan untuk mentransfer data pada telekomunikasi ataupun

mengatur tegangan sumber yang konstan untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda. Penggunaan PWM sangat banyak, mulai dari pemodulasian data untuk telekomunikasi, pengontrolan daya atau tegangan yang masuk ke beban, regulasi tegangan (voltage regulation), efek audio (audio effect) dan penguatan (gain), serta aplikasi-aplikasi lainnya.



Gambar 6 Sinyal PWM dengan amplitudo tetap

Terlihat pada Gambar 6, pengaturan PWM adalah sinyal digital yang amplitudonya tetap, namun lebar siklus kerja (duty cycle) yang aktif setiap periode dapat diubah-ubah. Periodenya adalah waktu pulsa tinggi (1) T_{on} ditambah waktu pulsa rendah (0) T_{off} , sehingga didapat :

$$T_{total} = T_{on} + T_{off} \quad (2.1)$$

Siklus kerja adalah lamanya pulsa tinggi (1) T_{on} dalam satu perioda. Jika

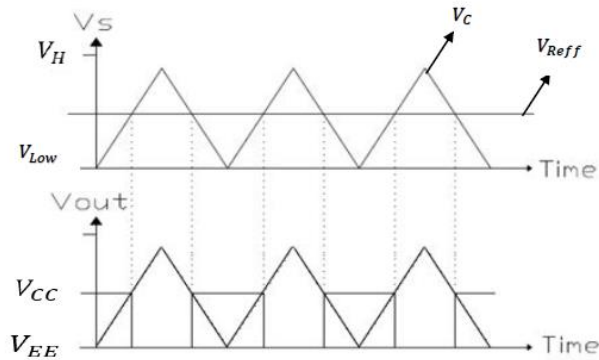
$f(t)$ adalah sinyal PWM, maka besar siklus kerja (duty cycle) adalah :

$$D = \frac{T_{on}}{(T_{on}+T_{off})} = \frac{T_{on}}{T_{total}} \quad (2.2)$$

b. Sinyal Pulse Width Modulation (PWM)

PWM atau Pulse Width Modulation adalah salah satu cara untuk mendapatkan tegangan yang memiliki kondisi terbuka penuh (on) atau tertutup penuh (off). Cara paling sederhana untuk mendapatkan sinyal PWM adalah dengan metode interseksi, yang membutuhkan gelombang gergaji atau gelombang segitiga sebagai gelombang pembawa dan gelombang DC sebagai komparator atau gelombang referensi seperti terlihat pada Gambar 7. Frekuensi gelombang gergaji akan sama dengan frekuensi PWM. Komparator digunakan sebagai penghasil gelombang kotak dengan membandingkan masukannya.

Saat masukan sinyal segitiga masih lebih rendah dari sinyal DC pembandingnya maka keluaran komparator akan rendah, dan ketika sinyal segitiga telah lebih tinggi dari sinyal DC maka keluaran komparator akan tinggi. Pada saat mengubah nilai tegangan DC, maka akan mempengaruhi perbandingan panjang gelombang tinggi (V_H) dan rendah (V_{Low}) atau yang disebut dengan siklus kerja (duty cycle) D .



Gambar 7 Pembangkitan *PWM* secara analog

Kondisi on dan off pada PWM digunakan sebagai pengendali saklar elektronis semikonduktor yang berpengaruh pada pengendalian tegangan dan arus yang mengalir melalui beban yang dituliskan dengan :

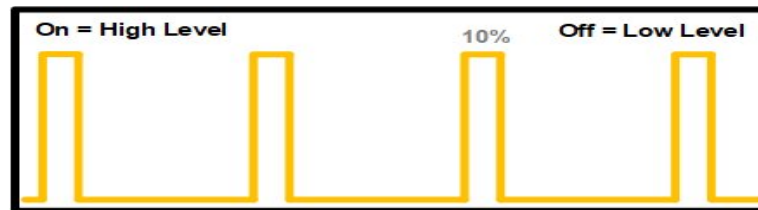
$$V_{out} = \frac{T_{on}}{T_{total}} \times V_{in} \quad (2.3)$$

Sehingga,

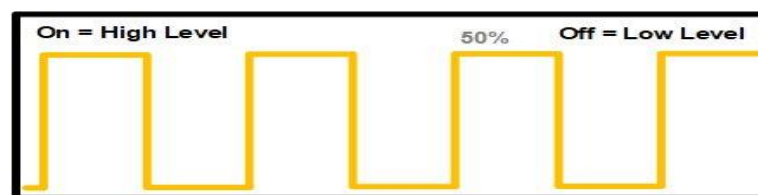
$$V_{out} = D \times V_{in} \quad (2.4)$$

Pada Gambar 9, tegangan referensi (V_{Reff}) adalah tegangan yang dapat dinaik-turunkan dan gelombang pembawa (V_C), sehingga pada grafik

yang ditunjukkan pada Gambar 8 dihasilkan gelombang PWM dengan siklus kerja (duty cycle) berbeda.



(a) Rendah



(b) Menengah



(c) Tinggi

Gambar 8 PWM dalam siklus kerja (duty cycle) yang berbeda

Pada Gambar 8 grafik PWM (a) terlihat bahwa sinyal tinggi per periodenya, sangat kecil (hanya 10%). Pada grafik PWM (b) terlihat sinyal tingginya hampir sama dengan sinyal rendah-nya (50%), sedangkan pada grafik PWM (c) terlihat bahwa sinyal tinggi-nya lebih besar dari sinyal rendah-nya (90%).

Jika dimisalkan tegangan masukan yang melalui rangkaian tersebut sebesar 10 V. Maka jika digunakan grafik PWM (a), nilai tegangan keluaran rata-ratanya sebesar 1 V (10% dari V masukan), jika digunakan grafik PWM (b), maka tegangan keluaran rata-ratanya sebesar 5 V (50%), sedangkan jika menggunakan grafik PWM (a), maka tegangan keluaran rata-ratanya sebesar 9 V (90%).

B. State Of the Art

Tabel 1 State of the art

No	Peneliti	Judul	Tahun	Metode	Hasil
1	Sangani Prasanth, Udaya Bhasker Manthathi, Vishnu Sidharthan P dan Srinivas Punna	Efficient Interleaved Buck Converter Driver for LED Applications	2019	Metode Interleaved buck converter (IBC)	Interleaved Buck Converter (IBC) untuk meningkatkan kinerja LED. Interleaved buck converter (IBC) beroperasi dengan arus input kontinu, riak arus output yang rendah dengan induktansi kecil dan frekuensi operasi tinggi. Konverter prototipe dengan input 20 V dan output 6,5V–5A diimplementasikan untuk memverifikasi analisis teoretis.
2	Ravindranath Tagore dan Dr. Anuradha	Efficiency Analysis of Quadratic Buck Converter for LED Lamp Driver Applications	2017	Menggunakan metode Quadratic Buck Converter	Tujuan makalah ini memverifikasi kinerja Quadratic buck converter (QBC) sebagai driver LED. Pengoperasian frekuensi switching yang lebih tinggi mengurangi ukuran komponen tetapi dengan konsekuensi kerugian switching yang meningkat dan efisiensi yang berkurang. Hasil simulasi, mengkonversi 311V-170V dan analisis efisiensi diperoleh kisaran 70-80%.

3	Mahsa Shirinzad, Saeed Soleimani, dan Ehsan Adib	A Single Soft Switched Resonant LED Driver Circuit	2016	Menggunakan Metode Switched	Makalah ini menyajikan Sirkuit Driver LED Resonan Soft Switched Tunggal, Menggunakan topologi satu tahap dan mengurangi jumlah komponen, membuat driver LED yang diusulkan ini cocok untuk aplikasi yang sensitif terhadap biaya. Hasil simulasi yang disajikan memverifikasi analisis teoritis converter 12V/60V disajikan.
4	Mithali Manohar dan Dr. R.B. Lohani	Low Cost-Efficient Buck Converter Gate Driver for LED Lights for Solar Applications	2018	Menggunakan metode closed-loop current-controlled buck	membahas konfigurasi sederhana untuk driver LED PWM arus konstan. Tiga persyaratan biaya, efisiensi, dan keamanan dicapai oleh rangkaian driver FET gerbang sederhana yang menggunakan komponen yang tersedia secara umum. Efisiensi 90% dicatat selama pengujian.
5	Dênis C. Pereira, Wesley J. de Paula, Pedro L. Tavares	Current Multilevel Pfc Buck Rectifier Applied To A High-Power Cob Led Driver	2017	Metode multilevel (N-cell, N-inductor)	Karya ini mengusulkan driver LED berdasarkan konsep NCNI untuk mencapai fluks bercahaya ekstra tinggi pada lampu sorot luar ruang. Analisis simulasi fokus pada kelayakan konverter untuk aplikasi arus tinggi. Driver ini telah menghadirkan efisiensi keseluruhan hampir 90%.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan inovasi dari penelitian penelitian terdahulu. Metode yang digunakan dalam penelitian ini merupakan metode simulasi menggunakan pemrograman Pspice. Penelitian ini menampilkan hasil simulasi dari rangkaian DC-DC LED Driver yang telah dirancang untuk menyalakan lampu LED SMD 3528. Dalam hal ini rangkaian yang telah dirancang, dimodelkan terlebih dahulu berdasarkan pemberian titik sambung (node) disetiap komponen. Kemudian uji coba dilakukan berdasarkan parameter, mengujicoba pengaruh frekuensi, induktor, kapasitor, jumlah LED paralel, jumlah LED seri, dan tegangan masukan terhadap rangkaian. Hasil simulasi rangkaian yang dirancang dengan tegangan keluaran stabil dan efisiensi yang baik akan diusulkan dalam sistem pemasok daya LED sebagai implementasi dari hasil pengujian.

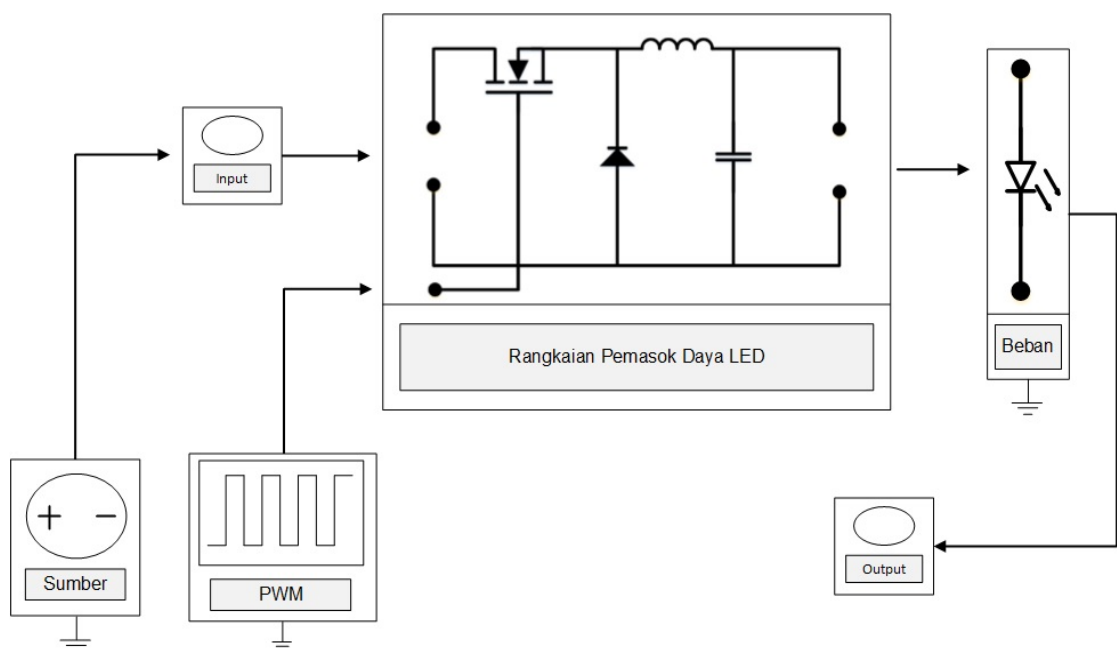
B. Tahapan Penelitian

1. Study literatur, Langkah pertama yaitu melakukan studi literatur untuk mendapatkan informasi sebanyak-banyaknya dalam penelitian ini. Peneliti melakukan beberapa Pustaka meliputi buku-buku, laporan thesis, jurnal internasional dan scopus yang terkait dengan LED Driver.

2. Tahapan berikutnya adalah identifikasi parameter untuk rangkaian LED Driver yang telah dirancang. Dalam identifikasi parameter tersebut bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari rangkaian tersebut.
3. selanjutnya tahapan simulasi dilakukan berdasarkan jenis-jenis pengujian yang dilakukan yaitu pengaruh frekuensi, kapasitor, inductor, jumlah LED parallel, jumlah LED seri dan tegangan masukan terhadap rangkaian.
4. Terakhir pembuatan laporan, tahap ini sebagai tahap akhir dimana hasil penelitian telah tercapai dalam kesimpulan dan saran.

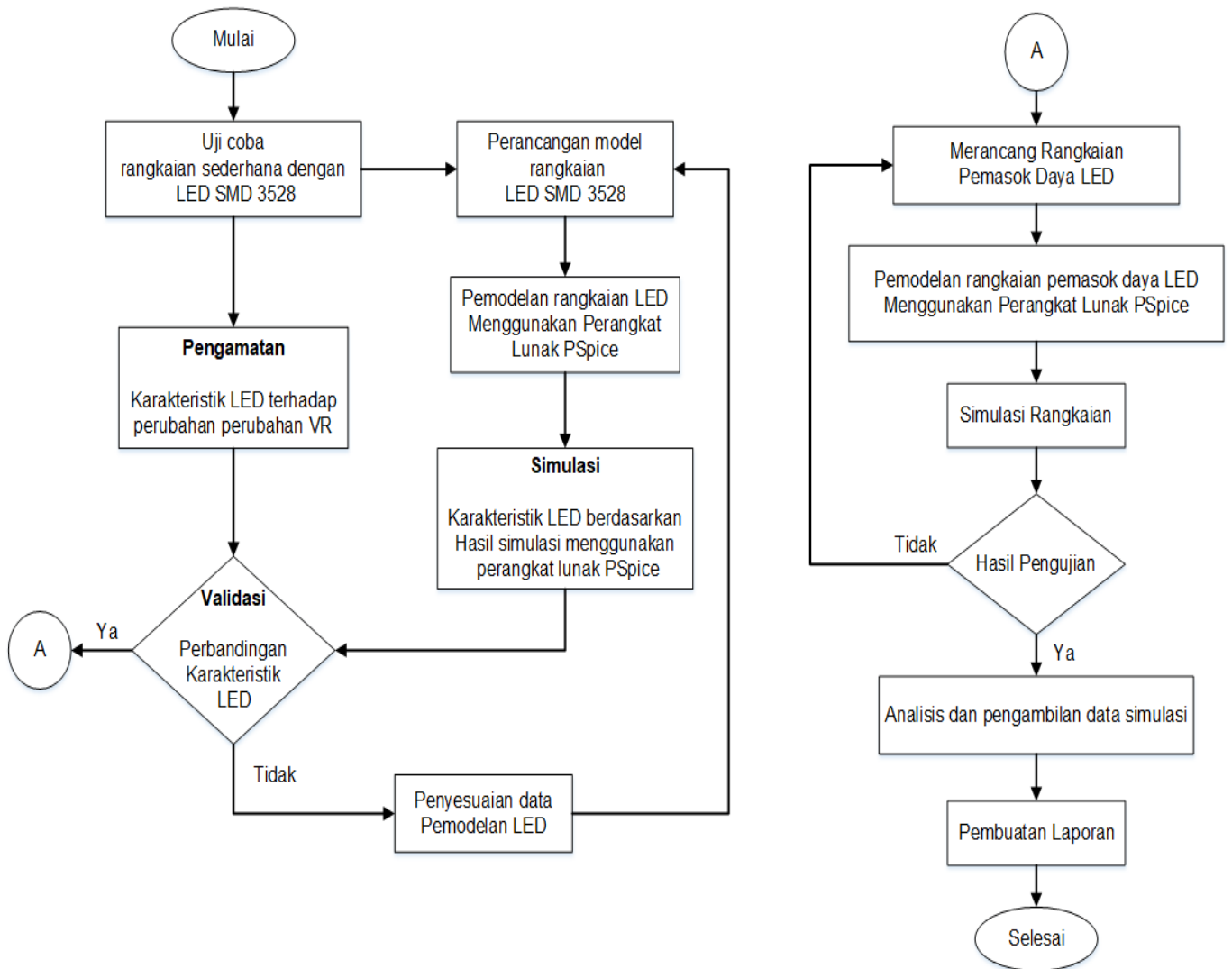
C. Desain Penelitian

Pada Gambar 9 menunjukkan keseluruhan sistem pada pengujian rangkaian. Dalam sistem yang ada peneliti berfokus pada keluaran pemasok daya LED yang efisien.



Gambar 9 Desain Penelitian

D. Diagram Alir Penelitian



Gambar 10 Diagram alir penelitian

E. Waktu Dan Lokasi Penelitian

a. Waktu

Penelitian akan dilaksanakan selama 6 bulan dimulai pada Maret sampai September 2021

b. Lokasi Penelitian

Lokasi pelaksanaan penelitian bertempat di Ruang Laboratorium Elektronika dan Divais Departemen Teknik Elektro, Universitas Hasanuddin

F. Instrumentasi dan Materi Penelitian

1. Laptop

- Merk ASUS
- Processor Intel Core i5
- RAM 8 GB
- HDD 1 TB

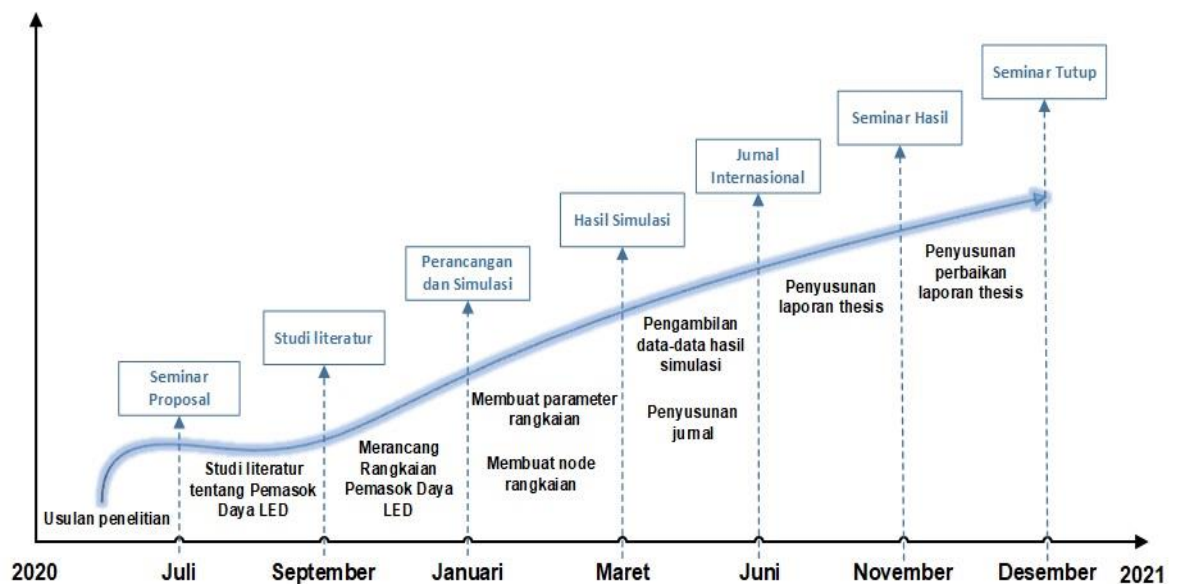
2. Perangkat *library* (MOSFET, capacitor, inductor, resistor dan lain-lain)

3. Software :

- a. Pspice AD Lite,
- b. CIS Capture
- c. Model Editor
- d. Microsoft Visio,
- e. MATLAB,

G. Posisi Penelitian

Penelitian ini memakan waktu enam bulan untuk diselesaikan. Mulai dari judul penelitian yang diusulkan dan membuat penelitian mencakup analisis dengan menggunakan perangkat lunak. Langkah-langkah penelitian dan waktu seminar ditunjukkan pada gambar 11.



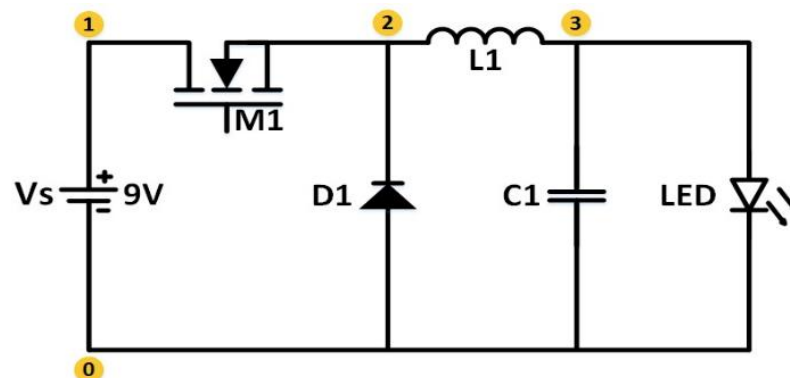
Gambar 11 Diagram pelaksanaan penelitian

BAB IV

MODEL RANGKAIAN DAN MODEL SIMULASI TEKS

A. Model Rangkaian

Dalam pembahasan berikut menyajikan model rangkaian Pemasok Daya LED yang akan disimulasikan. Rangkaian tersebut dimodelkan dengan penambahan node-node di tiap titik sambung pada rangkaian, kemudian dimasukkan kedalam sistem pengujian menggunakan software PSpice.



Gambar 12 Rangkaian Pemasok Daya LED dengan node

Selanjutnya Seperti yang terlihat pada gambar 12, komponen fast recovery diode berfungsi mengamankan arus feedback akibat proses switching, komponen inductor digunakan untuk menyimpan energi ketika sakelar dihidupkan, capacitor sebagai filter/penghilang noise (gangguan gelombang), mosfet sebagai switching saklar daya yang menghidupkan (on) dan mematikan (off) sistem.

B. Konfigurasi Rangkaian

Seperti yang terlihat pada gambar 12 rangkaian tersebut dirancang menggunakan beberapa komponen yang memiliki nilai berbeda-beda disetiap komponennya. Rangkaian tersebut terdiri dari inductor, diode, capacitor, resistor, MOSFET dan LED. Kinerja rangkaian pemasok daya LED terkonfirmasi oleh perangkat lunak PSpice dengan parameter-parameter ditunjukkan pada tabel 2 dan parameter LED ditunjukkan pada tabel 3 :

Tabel 2: Parameter Rangkaian

Parameter	Value	Unit
Input Voltage	9	VDC
Fast Recovery Diode	6, 300	A, V
Mosfet	40, 40	A, V

Tabel 3: Parameter LED SMD 3528

Parameter	Value	Unit
Voltage	3,2	V
Current	25	mA

Berdasarkan rangkaian pemasok daya LED yang diusulkan, nilai tegangan keluaran LED yang dibutuhkan, dapat diatur dengan cara merubah nilai dutycycle dari saklar semikonduktor (MOSFET). MOSFET yang digunakan pada rangkaian ini bertindak sebagai saklar yang dapat membuka dan menutup rangkaian, sehingga arus 25mA dengan tegangan 3,2V dapat dicapai dan dikendalikan dengan dutycycle. Besarnya nilai

dutycycle yang diinginkan dapat diatur menggunakan pengendalian pulse width modulation (PWM).

C. Model Simulasi Teks

Pengujian dilakukan menggunakan program simulasi Spice berbasis text. Penggunaan algoritma berbasis text ini sangat memungkinkan keakuratan perhitungan. Untuk mengetahui kinerja dari rangkaian maka pengujian dilakukan menggunakan pengendalian PWM (Pulse Width Modulation) untuk menghasilkan keluaran yang stabil. Rangkaian tersebut diuji berdasarkan variasi duty cycle, induktor, kapasitor dan frekuensi.

Berdasarkan model rangkaian pada gambar 12 di atas pembuatan algoritma pengujian disesuaikan dengan titik sambung dari setiap komponen yang ada pada rangkaian tersebut, sehingga algoritma pengujian dapat dituliskan sebagai berikut:

```
*-----Algorithm 1 : Source Code Parameter-----
.param Vin = 9V          ; Vin Parameter
.param Fs = 50kHz        ; Frequency Parameter
.param C = 100uF         ; Capacitor Parameter
.param L = 200uH         ; Inductor Parameter
.param D = 22            ; Duty Cycle Percent
.param V_low = 0V        ; Vlow Parameter
.param V_high = 9V       ; Vgate Parameter
.param Td = 0us          ; Time delay
.param Tf = 0.1n         ; Time Fll
.param Tr = 0.1n         ; Time Rise
```

Seperti yang terlihat pada algoritma 1, digunakan untuk memasukkan nilai-nilai parameter yang digunakan pada rangkaian.

Parameter tersebut terdiri dari sumber tegangan, frekuensi, kapasitor, induktor, siklus kerja dan sebagainya.

```
*-----Algorithm 2 : Source Code PWM Controller-----  
Vpulse 112 0 PULSE ({Vlow} {Vhigh} {Td} {Tr} {Tf} {{Percent_Duty} (1/{Fs}))
```

Sedangkan algoritma 2, merupakan kode yang digunakan untuk membangkitkan pulsa pengendali saklar daya atau MOSFET dimana Vlow merupakan titik tegangan bawah pulsa, Vhigh titik tegangan tinggi pulsa, Td waktu tunda pulsa, Tr waktu yang dibutuhkan titik bawah ke titik tinggi pulsa, Tf waktu yang dibutuhkan titik tinggi ke titik rendah pulsa, Percent_duty untuk siklus kerja, 1/Fs sebagai periode pulsa.

```
*-----Algorithm 3 : Source Code Rangkaian-----  
Vin 1 0 9V  
L 2 3 {L}  
C 3 0 {C}  
D 0 2 D1N3883 ; Diode Fast Recovery  
LED 3 0 D1N5765 ; DIODA LED  
M2 1 112 2 2 IRFP040 ; MOSFET with a model IRFP040
```

Kode pada algoritma 3 untuk menghubungkan komponen satu dengan komponen lainnya sehingga menjadi rangkaian pemasok daya LED.

```
*-----Algorithm 4 : Source Code View Result-----  
.TRAN 0us 500ms 10uS UIC  
.PROBE V (1,0) , V(3,0) ; Graphics post-processor  
.PROBE I (DLED1)  
.END
```

Pengujian simulasi dilakukan dengan algoritma analisis transien untuk melihat karakteristik respon rangkaian. Algoritma pengujian dengan menambahkan titik ukur (probe) digunakan sebagai monitoring graphics seperti yang terlihat pada algoritma 4. Dalam pemrograman Pspice memungkinkan untuk melakukan monitoring tegangan, arus dan daya keluaran rangkaian berdasarkan grafik respon. Dengan demikian dapat melakukan perhitungan besaran daya masukan, besaran daya keluaran dan efisiensi rangkaian menggunakan rumus perhitungan.

D. Penurunan Rumus Perhitungan Induktor (L) dan Kapasitor (C) Pada Rangkaian

Desain rangkaian dapat dilakukan dengan menentukan parameter-parameter dasar yang diperlukan dalam perhitungan seperti tegangan masukan, tegangan keluaran, frekuensi dan daya.

Setelah parameter-parameter sudah ditentukan, siklus kerja(D), dapat diperoleh dengan membandingkan antara tegangan luaran dan tegangan masukan yang terlihat pada persamaan berikut [17] :

$$D = \frac{V_o}{V_s} \quad (4.1)$$

Selanjutnya, menentukan nilai induktor (L) dengan persamaan sebagai berikut [18] :

$$L = \frac{V_{out} * (V_{in} - V_{out})}{\Delta I_L * f_{sw} * V_{in}} \quad (4.2)$$

Dimana nilai ΔI_L adalah besaran nilai riak arus pada induktor yang diperoleh, riak arus induktor tidak dapat dihitung karena induktor tidak diketahui. Estimasi yang baik untuk arus riak induktor adalah 20% hingga 40% dari arus keluaran.

$$\Delta I_L = (0.2 \text{ to } 0.4) \times I_{out} \quad (4.3)$$

Sehingga, dengan menggunakan persamaan (4.2) maka nilai induktor dapat diperoleh.

Sedangkan untuk pemilihan nilai kapasitor (C) menggunakan persamaan berikut :

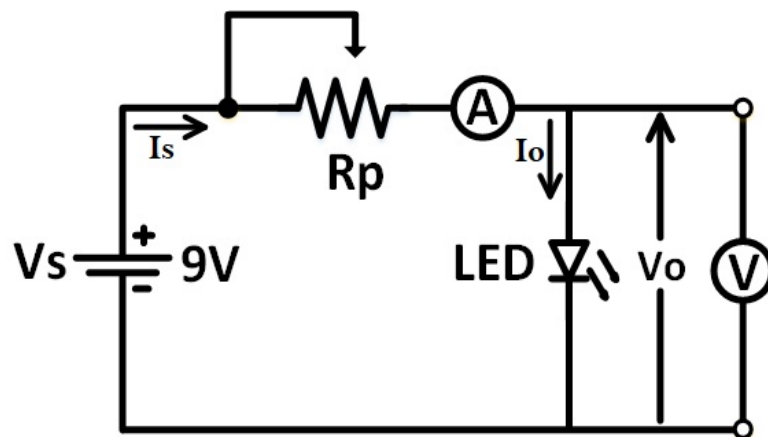
$$C = \frac{\Delta I_L}{8 \times f_{sw} \times \Delta V_{out}} \quad (4.5)$$

Dimana ΔV_{out} adalah riak tegangan yang disebabkan oleh arus yang mengalir melalui kapasitor. Riak tegangan diasumsikan dengan 0.2V. Sehingga dengan menggunakan persamaan (4.5) maka nilai induktor dapat diperoleh berdasarkan rumus diatas.

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

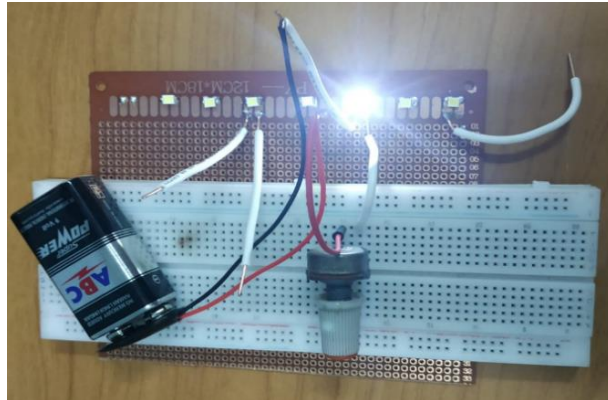
Dalam pembahasan ini menyajikan data dan uji coba yang diambil berdasarkan eksperimen dan simulasi pada rangkaian seperti yang terlihat pada gambar 13, untuk mendapatkan karakteristik LED yang nyata (Real) menggunakan LED SMD 3528.



Gambar 13 Rangkaian LED

A. Hasil Eksperimen Rangkaian Dengan LED SMD 3528

Hasil eksperimen dilakukan menggunakan satu potensiometer dengan nilai $50k\Omega$, satu LED SMD tipe 3528 berwarna putih dan satu battery dengan nilai 9V.



Gambar 13 Rangkaian eksperimen LED dengan LED SMD tipe 3528

Tabel 4: Hasil Pengambilan Data Berdasarkan Eksperimen Rangkaian

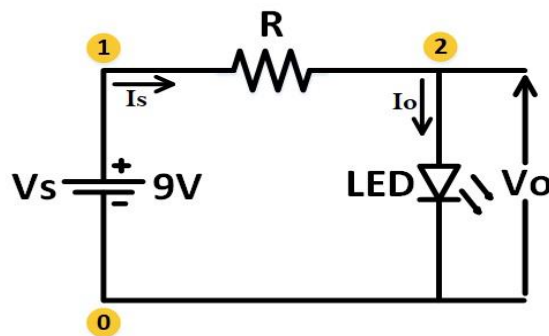
Rp (K Ω)	Vo (V)	Io (mA)	η (%)
12	2,77	0,5	30,7
10	2,79	0,6	31
8	2,8	0,75	31,1
6	2,81	1	31,2
4	2,83	1,5	31,4
2	2,88	3	32
0,8	2,98	7,5	33,1
0,6	3	8,9	33,3
0,232	3,2	25	35,5

Tegangan keluaran V_o diukur dengan voltmeter V dan arus keluaran I_o diukur dengan amperemeter A. Efisiensi dihitung dengan persamaan 4.1 sebagai berikut :

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100\% = \frac{V_o \cdot I_o}{V_s \cdot I_s} \times 100\% = \frac{V_o \cdot I_o}{V_s \cdot I_o} \times 100\% = \frac{V_o}{V_s} \times 100\% \dots [4.1]$$

B. Hasil Simulasi Rangkaian Dengan LED D1N5765

Selanjutnya hasil simulasi pada PSpice dilakukan menggunakan satu LED tipe D1N5765, satu resistor yang kemudian nilainya akan diubah-ubah berdasarkan titik ukur yang digunakan untuk pengambilan data, dan diberikan tegangan masukan 9 volt.



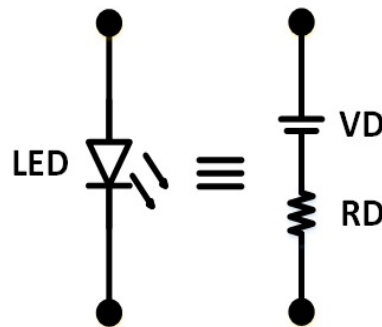
Gambar 15 Rangkaian simulasi LED dengan tipe D1N5765

Tabel 5: Hasil Pengambilan Data Berdasarkan Simulasi Rangkaian
Dengan LED Tipe D1N576

R (K Ω)	V_o (V)	I_o (mA)	η (%)
12	2,72	0,5	30,2
10	2,74	0,6	30,4
8	2,76	0,78	30,6
6	2,78	1	30,8
4	2,81	1,5	31,2
2	2,88	3,2	32
0,8	2,98	7,5	33,1
0,6	3	8,9	33,3
0,232	3,2	25	35,5

C. Validasi LED SMD 3528 dan LED D1N5765

Seperti yang terlihat pada tabel 4 dan tabel 5, bahwa karakteristik LED antara eksperimen dan simulasi dapat dikatakan sama berdasarkan karakteristik VD pada LED yang ditunjukkan pada Gambar 16 dan grafik pada Gambar 17.



Gambar 16 Model LED [15]

Nilai-nilai VD dan RD dari model LED dapat dihitung dengan analisis “piecewise linear” sebagai berikut :

Dari data eksperimen (Tabel 4)

$$R_p = 12\text{K}\Omega \rightarrow 2,77 = V_D + I \cdot R_D$$

$$V_D + 0,5 \cdot R_D = 2,77 \quad (1)$$

$$R_p = 10\text{K}\Omega \rightarrow 2,79 = V_D + I \cdot R_D$$

$$V_D + 0,6 \cdot R_D = 2,79 \quad (2)$$

$$\underline{V_D + 0,5 \cdot R_D = 2,77}$$

$$0,1 \cdot R_D = 0,02$$

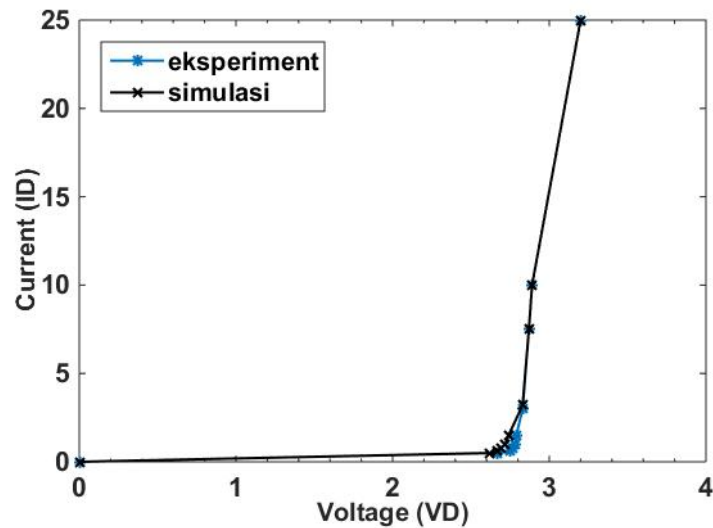
$$R_D = 0,02/0,1 = 0,2 \text{ K}\Omega$$

$$\rightarrow V_D + 0,6 \cdot R_D = 2,79$$

$$V_D = 2,79 - 0,6 (0,2)$$

$$V_D = 2,79 - 0,12 = 2,67 \text{ Volt}$$

Dan seterusnya dihitung untuk masing-masing nilai R_p dari Tabel 5, kemudian langkah-langkah yang sama dilakukan untuk data simulasi pada Tabel 6.



Gambar 17 Grafik berdasarkan tegangan keluaran VD LED

Tabel 6: Tabel Perbandingan Model Berdasarkan Eksperimen Dan Simulasi

Rp (K Ω)	EKSPERIMEN		SIMULASI	
	VD	RD	VD	RD
12	2,67	0,2	2,62	0,2
10	2,75	0,06	2,67	0,11
8	2,77	0,04	2,69	0,09
6	2,77	0,04	2,72	0,06
4	2,79	0,03	2,74	0,04
2	2,83	0,02	2,83	0,02
0,8	2,87	0,014	2,87	0,014
0,6	2,89	0,012	2,89	0,012
0,232	3,2	0,001	3,2	0,001

Dari perbandingan antara model eksperimen dengan model SPICE dapat diketahui bahwa model LED tipe D1N5765 dari SPICE library merupakan kurang lebih sama dengan LED SMD tipe 3528 dengan VD sekitar 3,2 volt untuk $I_D \geq 5\text{mA}$. Dengan rangkaian pemasok yang sama (baterai 9V) LED D1N5765 dengan model SPICE menghasilkan efisiensi antara 30,2% - 35,5% atau rata-rata 31,9% pada status LED menyala (ON), sedangkan pada LED eksperimen menunjukkan efisiensi antara 30,7% - 35,5% atau rata-rata 32,1%.

D. Perhitungan Nilai Induktor(L) Dan Kapasitor(C)

Untuk menentukan nilai L dan C dapat dilakukan dengan menentukan parameter-parameter dasar yang diperlukan dalam perhitungan seperti yang ditunjukkan pada tabel dibawah. Dimana tegangan luaran yang diinginkan yaitu sebesar 3.2V dengan kemampuan daya rangkaian 5W.

Tabel 7 Spesifikasi Pemasok Daya LED Untuk Menentukan Parameter LC

Spesifikasi Pemasok Daya LED	
Vin	= 9V
Vout	= 3.2V
P	= 5W
F	= 50Khz

Mencari nilai siklus kerja (D) berdasarkan spesifikasi pemasok daya LED

$$D = \frac{V_o}{V_s}$$

$$D = \frac{3.2}{9} = 0.3556$$

Mencari Nilai Induktor, L,

$$\Delta I_L = (0.2 \text{ to } 0.4) \times I_{out}$$

$$\Delta I_L = (0.2 \text{ to } 0.4) \times 1.5625 = 0.3125$$

Untuk nilai Iout, didapatkan dari :

$$I_o = \frac{P_{out}}{V_{out}}$$

$$I_o = \frac{5}{3.2} = 1.5625$$

Jadi nilai Induktor, adalah :

$$L = \frac{V_{out} * (V_{in} - V_{out})}{\Delta I_L * f_{sw} * V_{in}}$$

$$L = \frac{3.2 * (9 - 3.2)}{0.3125 * 50000 * 9}$$

$$L = 0.000131$$

$$L = 131 \mu\text{H}$$

Mencari Nilai Kapasitor, C,

$$C = \frac{\Delta I_L}{8 * f_{sw} * \Delta V_{out}}$$

$$C = \frac{0.3125}{8 * 50000 * 0.2}$$

$$C = 0.0000390625$$

$$C = 39 \mu\text{F}$$

Selanjutnya pada program simulasi PSpice nilai untuk F, L dan C di ubah, mengikuti nilai yang sudah dihitung berdasarkan hasil perhitungan di atas :

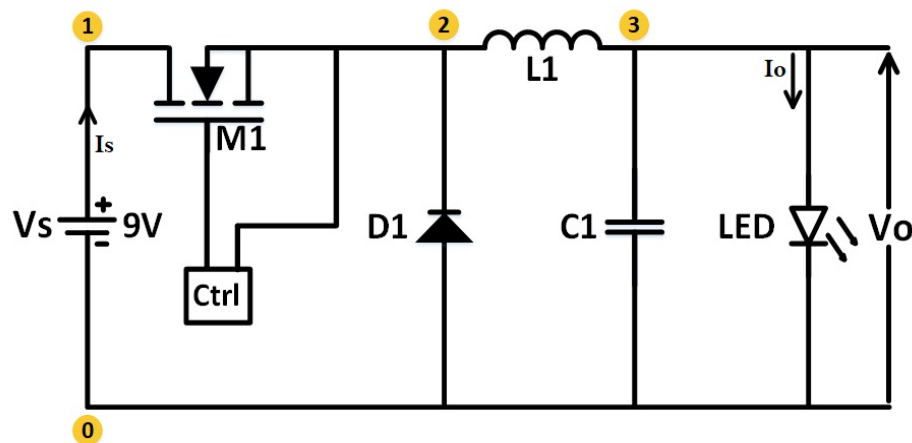
$$F = 50\text{kHz}$$

$$L = 131\mu\text{H}$$

$$C = 39\mu\text{F}$$

E. Rangkaian Pemasok Daya LED

Selanjutnya dengan model LED D1N5765 dari SPICE diuji coba rangkaian pemasok daya menggunakan metode switching pada gambar 18.



Gambar 18 Simulasi SPICE dari Rangkaian pemasok daya LED dengan metode switching

Rangkaian ini menggunakan Sumber tegangan 9V, MOSFET IRFP040, Dioda fast recovery, Inductor 131μH, Capacitor 39μF, dan LED

D1N5765. Dengan metode switching, MOSFET dipicu oleh gelombang pulsa 50Khz yang diatur dutycyclenya oleh suatu rangkaian microcontroller ATmega yang konsumsi dayanya diasumsikan $P_m = 2,2 \text{ mW}$ [16], sehingga efisiensi dapat dihitung dengan persamaan [4.2] sebagai berikut dan menghasilkan tabel 8.

$$\eta = \frac{P_o}{P_s + P_m} \times 100\% = \frac{V_o \cdot I_o}{V_s \cdot I_s + P_m} \times 100\% \dots [4.2]$$

Tabel 8: Hasil Simulasi Metode Switching PSpice

Dutycycle (%)	V _o (V)	I _o (mA)	P _o (mW)	I _s (mA)	P _s (mW)	η (%)
6.5	2.77	1.7	4.709	2.7	24.3	17.8
8.5	2.87	4.1	11.767	2.5	22.5	47.6
10	2.93	5.8	16.994	3.1	27.9	56.5
12.7	2.99	8.8	26.312	4.6	41.4	60.3
15.4	3.05	12.5	38.125	5.6	50.4	72.5
16.9	3.11	16.9	52.559	9	81	63.2
18.4	3.15	20.2	63.63	10.6	95.4	65.2
22	3.22	26.9	86.887	9.8	88.2	95.8

Seperti yang terlihat pada tabel 8, rangkaian dengan metode switcing mampu meningkatkan efisiensi dibandingkan dengan rangkaian eksperimen. Rangkaian yang menggunakan metode switching, menghasilkan efisiensi 95,2%. Berdasarkan spesifikasi keluaran arus dan tegangan LED yaitu 26mA dan 3,2 volt berada pada dutycycle 22% dengan efisiensi sebesar 95,2%.

F. Variasi Komponen Pada Rangkaian Pemasok Daya LED

Pembahasan selanjutnya adalah mengujicoba pengaruh variasi parameter induktor, kapasitor, dan frekuensi terhadap tegangan keluaran pada rangkaian pemasok daya LED. Adapun besaran parameter yang digunakan yaitu 0.1X, 0.5X, 2X, Dan 10X dari besaran nominal perhitungan, besaran nominal yang dimaksud yaitu nilai komponen induktor 131 μH , kapasitor 39 μF , frekuensi 50kHz menghasilkan efisiensi 95% (efisiensi nominal) pada rangkaian pemasok daya LED.

- Variasi dutycycle terhadap tegangan keluaran pada induktor 13.1 μH , 65.5 μH , 262 μH , dan 1310 μH

Tabel 9 Variasi dutycycle terhadap tegangan keluaran pada induktor 13.1 μH

Dutycycle (%)	V_o (V)	I_o (mA)	P_o (mW)	I_s (mA)	P_s (mW)	η (%)
1.8	2.77	2.1	5.817	0.9	8.1	56.5
2.7	2.87	3.8	10.906	4.2	37.8	27.3
3.2	2.93	5.6	16.408	3.8	34.2	45.1
3.3	2.99	8.1	24.219	2.8	25.2	88.4
3.6	3.05	15.6	47.58	8.2	73.8	62.6
5.8	3.11	16.9	52.559	10.8	97.2	52.9
6.2	3.15	20.1	63.315	10	90	68.7
7.21	3.22	25.3	81.466	12.1	108.9	73.3

Tabel 10 Variasi dutycycle terhadap tegangan keluaran pada
induktor 65.5 μH

Dutycycle (%)	V_o (V)	I_o (mA)	P_o (mW)	I_s (mA)	P_s (mW)	η (%)
4.1	2.77	2.1	5.817	0.5	4.5	86.8
5.7	2.87	4	11.48	2.5	22.5	46.5
7	2.93	6.2	18.166	4.7	42.3	40.8
8.6	2.99	8.7	26.013	5.3	47.7	52.1
10.5	3.05	12.2	37.21	7.9	71.1	50.8
12.5	3.11	16.2	50.382	9.5	85.5	57.4
14	3.15	19.9	62.685	8.7	78.3	77.9
17.2	3.22	25.7	82.754	13	117	69.4

Tabel 11 Variasi dutycycle terhadap tegangan keluaran pada
induktor 262 μH

Dutycycle (%)	V_o (V)	I_o (mA)	P_o (mW)	I_s (mA)	P_s (mW)	η (%)
8.9	2.77	1.9	5.263	1.1	9.9	43.5
11.9	2.87	3.9	11.193	2.1	18.9	53.0
13.5	2.93	6	17.58	2.8	25.2	64.2
15.8	2.99	8.6	25.714	4.2	37.8	64.3
17.8	3.05	12.1	36.905	6.3	56.7	62.7
22	3.11	16.4	51.004	7.3	65.7	75.1
24	3.15	19	59.85	8.3	74.7	77.8
29	3.22	25	80.5	11.8	106.2	74.3

Tabel 12 Variasi dutycycle terhadap tegangan keluaran pada induktor 1310 μH

Dutycycle (%)	V _o (V)	I _o (mA)	P _o (mW)	I _s (mA)	P _s (mW)	η (%)
16	2.77	2.3	6.371	0.62	5.58	81.9
22	2.87	3.4	9.758	1.1	9.9	80.6
29	2.93	5	14.65	1.9	17.1	75.9
42	2.99	8.2	24.518	4.1	36.9	62.7
48	3.05	11.8	35.99	6.5	58.5	59.3
50.8	3.11	16.1	50.071	9.1	81.9	59.5
51.7	3.15	19	59.85	10.8	97.2	60.2
53.1	3.22	26	83.72	14.9	134.1	61.4

- Variasi dutycycle terhadap tegangan keluaran pada capacitor 3.9 μF , 19.5 μF , 78 μF , dan 390 μF

Tabel 13 Variasi dutycycle terhadap tegangan keluaran pada kapasitor 3.9 μF

Dutycycle (%)	V _o (V)	I _o (mA)	P _o (mW)	I _s (mA)	P _s (mW)	η (%)
5	2.77	1.1	3.047	1.8	16.2	16.6
7.7	2.87	2.9	8.323	2.1	18.9	39.4
9	2.93	4.9	14.357	2.5	22.5	58.1
11.6	2.99	7.7	23.023	4	36	60.3
14.7	3.05	11.5	35.075	5.3	47.7	70.3
16.5	3.11	15.6	48.516	8.2	73.8	63.8
18	3.15	19.4	61.11	10.2	91.8	65.0
21	3.22	25.5	82.11	12.3	110.7	72.7

Tabel 14 Variasi dutycycle terhadap tegangan keluaran pada
kapasitor 19.5 μF

Dutycycle (%)	Vo (V)	Io (mA)	Po (mW)	Is (mA)	Ps (mW)	η (%)
5.9	2.77	1.4	3.878	2.6	23.4	15.1
7.9	2.87	3.3	9.471	2.6	23.4	37.0
9.6	2.93	5.5	16.115	2.9	26.1	56.9
12.3	2.99	8.2	24.518	4.5	40.5	57.4
15.2	3.05	12.2	37.21	5.5	49.5	72.0
16.8	3.11	16.5	51.315	8.6	77.4	64.5
18.2	3.15	19.7	62.055	10.4	93.6	64.8
21	3.22	25.9	83.398	12.7	114.3	71.6

Tabel 15 Variasi dutycycle terhadap tegangan keluaran pada
kapasitor 78 μF

Dutycycle (%)	Vo (V)	Io (mA)	Po (mW)	Is (mA)	Ps (mW)	η (%)
7.6	2.77	2.6	7.202	2.3	20.7	31.4
9.5	2.87	5.1	14.637	3	27	50.1
11	2.93	6.8	19.924	3.6	32.4	57.6
13.4	2.99	9.4	28.106	4.9	44.1	60.7
15.5	3.05	12.6	38.43	5.7	51.3	71.8
17	3.11	17	52.87	9.2	82.8	62.2
18.3	3.15	19.7	62.055	10.6	95.4	63.6
21	3.22	25.8	83.076	12.7	114.3	71.3

Tabel 16 Variasi dutycycle terhadap tegangan keluaran pada

kapasitor 390 μ F

Dutycycle (%)	Vo (V)	Io (mA)	Po (mW)	Is (mA)	Ps (mW)	η (%)
12	2.77	6.1	16.897	4.6	41.4	38.8
11.8	2.87	6.8	19.516	3.3	29.7	61.2
15	2.93	10.3	30.179	6	54	53.7
16.2	2.99	13	38.87	8.2	73.8	51.1
17.5	3.05	16.4	50.02	10.1	90.9	53.7
19	3.11	19.9	61.889	11.7	105.3	57.6
20.4	3.15	22.4	70.56	12.6	113.4	61.0
22.5	3.22	26.7	85.974	14.6	131.4	64.4

- Variasi dutycycle terhadap tegangan keluaran pada frekuensi 5khz, 25khz, dan 100khz

Tabel 17 Variasi dutycycle terhadap tegangan keluaran pada

Frekuensi 5 kHz

Dutycycle (%)	Vo (V)	Io (mA)	Po (mW)	Is (mA)	Ps (mW)	η (%)
1.9	2.77	2.2	6.094	1.1	9.9	50.4
2.6	2.87	4.2	12.054	1.8	16.2	65.5
3.4	2.93	6.2	18.166	3.2	28.8	58.6
4	2.99	8.3	24.817	4.6	41.4	56.9
4.8	3.05	12	36.6	6.2	55.8	63.1
5.7	3.11	16.8	52.248	8.5	76.5	66.4
6.3	3.15	20.2	63.63	10.1	90.9	68.3
7.4	3.22	25.8	83.076	13.6	122.4	66.7

Tabel 18 Variasi dutycycle terhadap tegangan keluaran pada

Frekuensi 25 kHz

Dutycycle (%)	Vo (V)	Io (mA)	Po (mW)	Is (mA)	Ps (mW)	η (%)
4.1	2.77	2.2	6.094	1	9	54.4
5.8	2.87	4.1	11.767	2.2	19.8	53.5
7.1	2.93	6	17.58	3.1	27.9	58.4
8.8	2.99	8.7	26.013	5.8	52.2	47.8
10.5	3.05	12.2	37.21	5.9	53.1	67.3
12	3.11	16.3	50.693	8.1	72.9	67.5
13.5	3.15	19.7	62.055	9.7	87.3	69.3
15.8	3.22	25.6	82.432	13.1	117.9	68.6

Tabel 19 Variasi dutycycle terhadap tegangan keluaran pada

Frekuensi 100 kHz

Dutycycle (%)	Vo (V)	Io (mA)	Po (mW)	Is (mA)	Ps (mW)	η (%)
7.6	2.77	2.1	5.817	1.8	16.2	31.6
10	2.87	4.7	13.489	3.1	27.9	44.8
11.5	2.93	6.5	19.045	3.8	34.2	52.3
14	2.99	9.1	27.209	4.6	41.4	62.4
17.1	3.05	12.4	37.82	5.4	48.6	74.4
20.8	3.11	16.7	51.937	6.7	60.3	83.1
23	3.15	19.5	61.425	8	72	82.8
28.5	3.22	25.3	81.466	12.1	108.9	73.3

- Variasi dutycycle terhadap tegangan keluaran dengan LED terhubung seri ataupun paralel

Tabel 20 Variasi dutycycle terhadap tegangan keluaran dengan LED terhubung seri

Dutycycle (%)	V _o (V)	I _o (mA)	P _o (mW)	I _s (mA)	P _s (mW)	η (%)
15.5	5.54	1.5	8.31	2.2	19.8	37.8
22	5.74	3.5	20.09	3.8	34.2	55.2
28	5.86	5.3	31.058	5.4	48.6	61.1
41	5.98	7.7	46.046	7.4	66.6	66.9
53	6.1	12.1	73.81	11.6	104.4	69.2
57.5	6.22	15.9	98.898	15.2	136.8	71.1
62	6.3	18.8	118.44	18.2	163.8	71.3
90	6.41	24.1	154.481	19.5	175.5	86.9

Tabel 21 Variasi dutycycle terhadap tegangan keluaran pada LED terhubung paralel

Dutycycle (%)	V _o (V)	I _o (mA)	P _o (mW)	I _s (mA)	P _s (mW)	η (%)
7.7	2.77	3	8.31	2.3	20.7	36.3
10.5	2.87	6.7	19.229	3.3	29.7	60.3
14.1	2.93	11	32.23	4.8	43.2	71.0
16.1	2.99	16.4	49.036	8.4	75.6	63.0
19	3.05	23.8	72.59	10.9	98.1	72.4
22.8	3.11	31.5	97.965	14.6	131.4	73.3
26	3.15	39	122.85	19.1	171.9	70.6
30	3.22	48.2	155.204	20.7	186.3	82.3

Berdasarkan data tabel-tabel diatas pengaruh variasi parameter induktor, kapasitor, frekuensi, jumlah LED terhubung seri, dan jumlah LED terhubung paralel terhadap efisiensi rangkaian dapat dilihat pada tabel 18.

Tabel 18: Hasil Analisis Efisiensi Terhadap Rangkaian

Parameter	Nilai Parameter	η Min. (%)	η Max. (%)	η Rata-rata (%)	η Nom (%)
Induktor	13.1 μ H	27.3	88.4	59.3	73.3
	65.5 μ H	40.8	86.8	60.2	69.4
	131 μH	17.8	95.2	59.8	95.2
	262 μ H	43.5	77.8	64.4	74.3
	1310 μ H	59.3	81.9	67.7	61.4
Kapasitor	3.9 μ F	46.6	77	69.1	76.7
	19.5 μ F	15.1	71.6	54.9	71.6
	39 μF	17.8	95.2	59.8	95.2
	78 μ F	46.9	76.5	65.3	76.5
	390 μ F	38.8	64.4	55.2	64.4
Frekuensi	5 kHz	55.5	81.3	69.4	81.3
	25 kHz	47.8	69.3	60.9	68.6
	50 kHz	17.8	95.2	59.8	95.2
	100 kHz	31.6	83.1	63.1	73.3
LED	Seri	37.8	86.9	65	86.9
	LED	17.8	95.2	59.8	95.2
	Paralel	36.3	82.3	66.1	82.3

Pengaruh variasi parameter inductor terhadap rangkaian memperoleh efisiensi tertinggi pada nilai parameter inductor berdasarkan hasil perhitungan yaitu 131 μ H dengan efisiensi nominal 95.2% dan efisiensi rata-rata 59.8%. sedangkan, jika nilai parameter inductor < 131 μ H efisiensi rangkaian akan menurun, begitupun sebaliknya jika nilai parameter induktor

> 131 μ H. dimana, efisiensi terendah berada pada nilai inductor 1310 μ H dengan efisiensi nominal sebesar 61.4%. Pengaruh variasi parameter kapasitor terhadap rangkaian memperoleh efisiensi tertinggi pada nilai parameter kapasitor berdasarkan hasil perhitungan yaitu 39 μ F dengan efisiensi nominal 95.2% dan efisiensi rata-rata 59.8%. sedangkan, jika nilai parameter kapasitor < 39 μ F efisiensi rangkaian akan menurun, begitupun sebaliknya jika nilai parameter induktor > 39 μ F. dimana, efisiensi terendah berada pada nilai kapasitor 390 μ F dengan efisiensi nominal sebesar 64.4%.

Pengaruh variasi nilai parameter frekuensi dapat dilihat pada table 18. Dimana, pengujian dilakukan dengan nilai parameter inductor dan kapasitor sesuai dengan nilai nominal berdasarkan perhitungan yaitu 131 μ H dan 39 μ F. Efisiensi nominal tertinggi berada pada nilai parameter frekuensi 50 kHz sebesar 95.2%. Pembahasan selanjutnya, pengujian rangkaian dilakukan dengan merubah konfigurasi pada beban yaitu LED terhubung seri ataupun terhubung parallel menggunakan dua buah LED. Parameter jumlah LED terhubung seri menghasilkan efisiensi sebesar 86.9% dengan arus 24.1 mA dan tegangan 6.41V sedangkan, parameter jumlah LED terhubung parallel menghasilkan efisiensi sebesar 82.3% dengan arus 48.2 mA dan tegangan 3.22V.

BAB VI

PENUTUP

A. Kesimpulan

Penelitian ini menyajikan sebuah rangkaian pemasok daya LED untuk menyalakan lampu LED SMD tipe 3528 dengan spesifikasi arus 25mA dan tegangan 3,2V secara lebih efisien. Rangkaian ini menggunakan metode switching d (Teknik modulasi lebar pulsa) yang mampu menghasilkan keluaran arus dan tegangan dengan efisiensi yang baik. PWM yang dibangkitkan dengan frekuensi switching 50Khz digunakan untuk mengontrol Mosfet. Dutycycle diatur untuk memperoleh keluaran arus dan tegangan berdasarkan karakteristik LED. Pengujian dilakukan dengan Simulasi rangkaian pemasok daya LED menggunakan software Pspice, LED yang digunakan pada Pspice yaitu tipe D1N5765 yang karakteristiknya sama dengan SMD 3528. Hasil simulasi rangkaian menunjukkan efisiensi pada arus dan tegangan sesuai spesifikasi LED yaitu 95,2%.

Berdasarkan pengujian simulasi, bahwa parameter frekuensi, induktor, kapasitor dan LED terhadap rangkaian efisiensinya lebih rendah dari efisiensi nominal rangkaian sebesar 95,2% karena Variasi parameter induktor paling tinggi berada pada parameter 13.1 μ H dengan arus 25.7mA dan tegangan 3.22V dengan efisiensi 75.1%. Variasi parameter kapasitor paling tinggi berada pada parameter 3.9 μ F dengan arus 25.5mA dan tegangan 3.22V dengan efisiensi 72.7%. Variasi parameter frekuensi paling tinggi berada pada parameter 25 kHz dengan arus 26.6mA dan tegangan

3.22V dengan efisiensi 71.9%. sedangkan untuk variasi parameter LED paling ringgi berada pada LED terhubung seri dengan arus 24.1mA dan tegangan 6.41V dengan efisiensi sebesar 86.9%.

B. Saran

Adapun saran yang penulis dapat berikan untuk menunjang penelitian berikutnya yang memiliki topik yang sama yaitu dalam penelitian ini masih sebatas simulasi dengan pengujian-pengujian teoritis sehingga untuk penelitian berikutnya perlu diadakan pengujian instrumentasi dan membandingkan hasil pengujian dengan hasil simulasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Crawford, M., *LEDs for Solid-State Lighting: Performance Challenges and Recent Advances*. Selected Topics in Quantum Electronics, IEEE Journal of, 2009. 15: p. 1028-1040.
- [2] Lohaus, L., et al. *Energy efficient current control technique for driving high power LEDs*. in *PRIME 2012; 8th Conference on Ph.D. Research in Microelectronics & Electronics*. 2012.
- [3] Chiu, H., et al., *A High-Efficiency Dimmable LED Driver for Low-Power Lighting Applications*. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2010. 57(2): p. 735-743.
- [4] D. Yu, N. Ning, S. Wu, et al., "A High Power Factor AC LED Driver With Current Glitch Eliminated," *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, vol. 83, no. 2, pp. 209-216, May 2015.
- [5] Y. Noge, and J.I. Itoh, "Linear PFC regulator for LED lighting with the multi-level structure and low voltage MOSFETs," in *Proc. APEC2014*, pp. 3311-3317.
- [6] Yuequan Hu and Milan M. Jovanovic, "A novel LED driver with adaptive drive voltage," in *Proc. 23rd Annu. IEEE App. Power Electron. Conf.Expo.*, Feb. 2008, pp. 565-571.
- [7] M. H. Rashid, "Power driver topologies and control schemes," in *Proc.22nd Annu. IEEE App. Power Electron Conf.*, Feb. 2007, pp.1319-1325.

- [8] Yijie Wang, J. Marcos Alonso, Xinbo Ruan, "A review of LED drivers and related technologies," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 64, no. 7, pp.5754-5765, Jul. 2017.
- [9] K. H. Loo, Wai-Keung Lun, Siew-Chong Tan, Y. M. Lai, Chi K. Tse,"On driving techniques for LEDs: Toward a generalized methodology,"IEEE Trans. Power Electron., vol. 24, no. 12, pp. 2967-2976, Dec. 2009.
- [10] Prasanth S, Sidartan V, "Efficient Interleaved Buck Converter Driver for LED Applications", ICSETS 2019.
- [11] Ravindranath Tagore Yadlapalli, Dr. Anuradha Kotapati, "Efficiency Analysis of Quadratic Buck Converter for LED Lamp Driver Applications", International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICEI), May 2017.
- [12] Mahsa Shirinzad, Saeed Soleimani, Ehsan Adib," A Single Soft Switched Resonant LED Driver Circuit", Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE), May 2016.
- [13] Mithali Manohar, Dr. R.B. Lohani, "Low Cost-Efficient Buck Converter Gate Driver for LED Lights for Solar Applications" Second International Conference on Green Computing and Internet of Things (ICGCIoT), August 2018.
- [14] Dênis C. Pereira, Wesley J. de Paula, Pedro L. Tavares,"Current Multilevel Pfc Buck Rectifier Applied To A High-Power Cob Led

Driver”, Brazilian Power Electronics Conference (COBEP), Nov 2017.

- [15] Millman’s, Christos C, Halkias “Integrated Electronics - Analog and Digital Circuit and Systems,” MC GRAW HILL INDIA; 2nd edition (January 1, 2009).
- [16] Microchip, “ATmega328P-CMOS 8-bit microcontroller,” data sheet, Sept. 2021.
- [17] Texas Instrument, “Basic Calculation of a Buck Converter's Power Stage,” data sheet, December. 2011.
- [18] M. H. Rashid, “Power Electronics Handbook,” Fellow IET (UK), Fellow IEEE (USA), Volume: 3, 2007.

LAMPIRAN