

DESAIN DAN ANALISIS *RESONANT CONVERTER* BERTENAGA AKUMULATOR 12 VOLT SEBAGAI RANGKAIAN PENGGERAK LAMPU LED MENGGUNAKAN MATLAB-SIMULINK

Irsyad Alfahmi*, Budhi Anto**

*Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Riau **Dosen Teknik Elektro Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Email: irsyadalfahmi60@gmail.com

ABSTRACT

This paper describes a design and analysis of resonant converter to LED lamp driving. The converter is powered by 12 volt battery. The type of resonant converter is equipped by a Half-Bridge LLC Series Resonant Converter. The type of battery is lead acid battery which has capacity of 12 Ah and nominal voltage of 12 volts. The purpose of series resonant converter design is to generate the requirement voltage by forming of LED lights as a load with 19 volts of voltage. The circuit has been designed and modeled then simulated using MATLAB-Simulink application to view the characteristics of the converter output voltage and current. The simulations has performed a total of 11 conditions, which are covers several condition when hit the following value: 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 37%, 40%, 43% and 45% of duty cycle respectively. The converter operates at 50 KHz of switching frequency. The output of the converter is connected to 13,57 Ω resistor which is equal to 20 seeds of 1 watt LED. The simulation results show the expected condition of hypothesis has been achieved i.e 19 volts of voltage and a current of 1.4 A at 43% duty cycle with an efficiency of 79.39%.

Kata kunci : *resonant converter, lead acid battery, LED, Matlab-Simulink.*

I. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara kepulauan terbesar di dunia dengan jumlah pulau 13.466, luas daratan 1.922.570 km² dan luas perairan 3.257.483 km². Banyaknya pulau, luasnya perairan dan padatnya jumlah penduduk Indonesia menyebabkan banyaknya penduduk bermatapencaharian sebagai nelayan. Para nelayan mulai beroperasi pada sore atau malam hari lalu berhenti menjelang pagi hari. Karena beroperasi pada malam hari, tentu saja usaha ini memerlukan penerangan untuk menunjang proses pekerjaan dalam menangkap ikan di laut. Pada umumnya para nelayan ini menggunakan lampu penerangan dengan bahan bakar minyak tanah sebagai bahan bakar untuk penerangannya.

Seiring dengan menipisnya cadangan bahan bakar fosil dunia dan mahalnya harga minyak tanah maka perlunya suatu

alternatif pengganti minyak tanah sebagai bahan bakar lampu penerangan untuk usaha mencari ikan dimalam hari oleh nelayan. Suatu upaya yang dapat dilakukan adalah menggantikan lampu minyak tanah tersebut dengan lampu LED (*light emitting diode*) yang digerakkan oleh sumber tenaga akumulator.

LED adalah teknologi yang relatif lama yang telah maju serta telah banyak digunakan sebagai lampu penerangan, salah satu penggunaannya sebagai lampu *emergency*. LED menawarkan beberapa keuntungan seperti efisiensi tinggi, usia pakai yang lama, daya tahan tinggi, dimensi kecil, dan menghasilkan rugi panas yang sedikit.

Sebagai sumber cahaya yang disuplai oleh listrik DC dalam hal ini adalah akumulator, maka LED memerlukan suatu rangkaian penggerak (*power supply*). Pada umumnya rangkaian penggerak yang

digunakan dikenal dengan tipe linier. Dimana, pada tipe linier ini sistem konversi listrik bolak balik (AC) ke listrik searah (DC) ditandai dengan penggunaan transformator 50/60 Hz yang dilanjutkan dengan proses penyearahan (*rectifier*), penyaring (*filter*) dan akhirnya pengatur linier (*linear regulator*).

Perkembangan teknologi elektronika yang semakin pesat mengharuskan perkembangan topologi rangkaian konverter sebagai rangkaian penggerak yang lebih sederhana, berukuran lebih kecil, dan dihasilkan dengan biaya produksi yang rendah (*low budget*) namun memiliki kemampuan yang sama dengan topologi yang pernah ada sebelumnya yang memiliki volume ukuran yang besar. Kehadiran dari beberapa jenis teknologi konverter bisa menjadi solusi dalam memenuhi kebutuhan rangkaian penggerak yang baik. Ada beberapa jenis teknologi konverter yang telah ada sekarang ini yaitu :

1. *Buck Converter*
2. *Flyback Converter*
3. *Resonant Converter*

Tabel 1 Perbandingan Topologi Konverter

Topology	Schematic	Power (Watt)	Typical Efficiency	Inductor Cost	Magnetics Required	DC Transfer Function $M_{v,d}(s)$	Maximum Practical Duty Cycle	Inversal Input (IC-24) %	Multiple Outputs	$V_{o,max}$ Range	$V_{o,min}$ Range
Buck		500	85	1	Single Inductor	D	0.5	No	No	Yes	No
DCM Flyback		150	75	1.5	Transformer	$D \sqrt{\frac{1-V_D}{2M_{v,d}DP}}$	0.5	Yes	Yes	Yes	Yes
Resonant LLC		500	90	2	Transformer	Frequency Dependent Based on Resonant Tank Transfer Function	0.45	Yes	Yes	Yes	Yes

Dari Tabel 1 memperlihatkan perbandingan dari beberapa jenis teknologi konverter yang ada pada saat ini. Dari tabel dapat dilihat bahwa topologi resonant converter memiliki nilai efisiensi yang paling tinggi. Beberapa jenis teknologi konverter tersebut memanfaatkan teknologi switching atau pensaklaran. Rangkaian penggerak searah mode pensaklaran (*switching mode*) jauh lebih efisien dari tipe linier. Rangkaian penggerak searah mode pensaklaran adalah catu searah dimana

aliran daya listrik diatur dan dihaluskan oleh piranti pensaklaran.

Oleh karena itu, pada penelitian ini penulis akan mensimulasikan rangkaian *Resonant Converter* bertenaga akumulator 12 volt sebagai rangkaian penggerak LED dengan mendesain model rangkaian dan menentukan nilai dari tiap parameter komponen rangkaian *Resonant Converter* untuk menghasilkan tegangan yang sesuai untuk mensuplai LED dengan tingkat efisiensi yang tinggi.

II. LANDASAN TEORI

2.1 *Resonant Converter*

Resonant converter merupakan salah satu contoh dari DC-DC konverter yang menggunakan teknologi resonansi pada rangkaiannya. Pada kondisi beresonansi, impedansi yang dihasilkan oleh rangkaian seluruhnya adalah komponen riil atau impedansi kompleks hanya terdiri dari komponen resistor murni (R). Pada dasarnya konsep resonansi adalah menghilangkan komponen imajiner atau reaktansi induktif (X_L) dan reaktansi kapasitif (X_C) saling meniadakan. Nilai reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif dapat dinotasikan pada persamaan berikut:

a. Reaktansi induktif (X_L) :

$$X_L = \omega L \quad (1)$$

$$X_L = 2\pi f L \quad (2)$$

b. Reaktansi Kapasitif (X_C) :

$$X_C = \frac{1}{\omega C} \quad (3)$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \quad (4)$$

Kenaikan frekuensi akan memperbesar nilai reaktansi induktif (X_L), dan sebaliknya kenaikan frekuensi akan memperkecil nilai reaktansi kapasitif (X_C). Untuk setiap hubungan seri antara induktor (L) dan kapasitor (C) terdapat suatu harga frekuensi, dimana nilai $X_L = X_C$. Frekuensi ini dinamakan frekuensi resonansi (f_0). Sedangkan gejala tersebut dinamakan resonansi seri, dan rangkaian arus bolak-balik ini dinamakan rangkaian resonansi seri. Frekuensi resonansi (f_0) diperoleh

ketika $X_L = X_C$, sehingga didapatkan hubungan persamaan sebagai berikut:

$$X_L = X_C \quad (5)$$

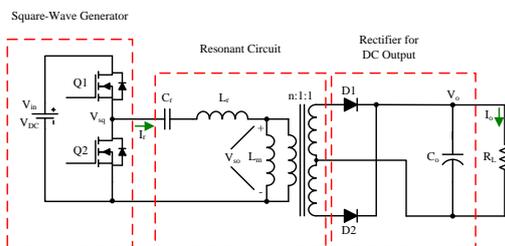
$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \quad (6)$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (7)$$

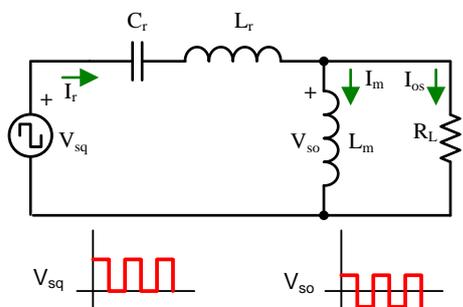
2.2 Half-Bridge LLC Series Resonant Converter

Rangkaian yang digunakan dalam melakukan desain *resonant converter* ini adalah rangkaian *resonant converter* tipe setengah jembatan (*Half-Bridge*). Tipe setengah jembatan pada rangkaian *resonant converter* ini hanya menggunakan 2 buah MOSFET yang berfungsi sebagai saklar. Komponen resonansi pada rangkaian *resonant converter* ini terdiri dari LLC.

LLC adalah singkatan dari Induktor Resonan (L_r), Induktansi Magnetisasi (L_m) dan Kapasitor Resonan (C_r). Dimana, ketiga komponen L_r , L_m dan C_r ini yang merupakan komponen resonansi yang disusun secara seri pada rangkaian *resonant converter* sehingga rangkaian ini dinamakan rangkaian *series resonant converter*.



Gambar 1. Rangkaian Daya *Half-bridge LLC Series Resonant Converter*



Gambar 2. Rangkaian sederhana *LLC Series Resonant Converter*

Gambar 1 menunjukkan topologi dari rangkaian *Half-bridge LLC series*

Resonant Converter setengah jembatan (*half-bridge*). Pada gambar rangkaian *Half-bridge LLC series Resonant Converter* diatas terbagi menjadi 3 bagian utama yaitu *Square-wave Generator*, *Resonant Circuit*, *Rectifiers for DC Output*. Pada gambar 2 dapat dilihat rangaian sederhana dari gambar *LLC Resonant Converter*.

Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa tegangan yang dihasilkan oleh proses pensaklaran V_{sq} merupakan tegangan *square* yang masih unipolar. Setelah melewati rangkaian resonansi C_r dan L_r tegangan V_{sq} akan menjadi tegangan *square* bipolar (V_{so}). Dibawah ini akan menjelaskan 3 bagian utama dari rangkaian *Half-bridge LLC Resonant Converter* pada gambar 1.

1. Square-wave Generator

Q1 dan Q2 merupakan saklar daya, dalam hal ini adalah MOSFET. MOSFET ini berfungsi untuk membangkitkan gelombang persegi (*square-wave generator*). Generator ini akan menghasilkan gelombang persegi unipolar (V_{sq}) dengan mengatur *duty cycle* pada saklar Q1 dan Q2. Saklar ini bekerja secara bergantian dengan perbedaan fasa 180° . Apabila Q1 ON, maka Q2 OFF, dan apabila Q2 ON maka Q1 OFF. Kedua saklar ini harus memiliki keadaan dimana kedua saklar berada pada posisi OFF (*dead-time*)

2. Resonant Circuit

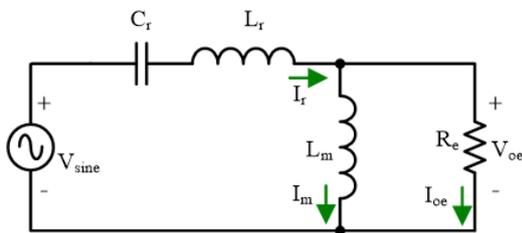
Resonant circuit atau rangkaian resonan ini terdiri terdiri dari kapasitansi resonansi (C_r), dan dua induktansi seri yaitu induktansi resonan (L_r), induktansi magnetisasi transformator (L_m). Setelah tegangan V_{sq} melewati rangkaian resonansi maka tegangan *square* yang masih unipolar menjadi tegangan *square* bipolar. Rasio transformator adalah n . Pada jaringan resonan mengalir arus listrik, dan hasilnya energi tersebut mengalir ke beban melalui transformator. Sisi belitan primer transformator menerima tegangan gelombang *square* bipolar (V_{so}). Kemudian tegangan tersebut di

pindahkan ke sisi sekunder, dengan trafo yang telah tersedia isolasi listrik dan rasio belitan untuk memberikan tingkat tegangan yang dibutuhkan oleh beban.

3. Rectifier for DC Output

Pada bagian penyearah ini, tegangan input AC akan disearahkan oleh penyearah gelombang penuh menggunakan transformator *center-tapped* (CT) yang kemudian akan menghasilkan tegangan DC untuk mensuplai beban RL. Agar tegangan DC yang dihasilkan oleh penyearah lebih rata, maka ditambahkan filter kapasitor. Dimana, kapasitor filter (C_o) ini berfungsi untuk menghaluskan tegangan yang telah disearahkan oleh penyearah, sehingga tegangan keluaran dari penyearah ini lebih rata dan diharapkan tidak menimbulkan gangguan pada beban yang akan disuplai.

Untuk menentukan perasamaan dalam menghitung nilai parameter resonan konverter ini maka diperlukan suatu rangkaian ekuivalen dalam bentuk model rangkaian AC untuk mempermudah dalam menyelesaikan persamaan.



Gambar 3. Model Rangkaian Ekuivalen AC LLC Resonant Converter

- **Menentukan Nilai Kapasitor Resonan (C_r) dan Induktor Resonan (L_r)**

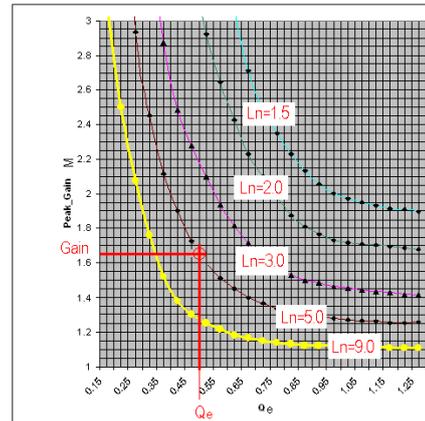
Dari gambar 3, langkah awal dalam menentukan nilai C_r dan L_r adalah menentukan rasio transformator (n) menggunakan persamaan berikut:

$$n = \frac{V_{in}}{2V_o} \quad (8)$$

Setelah nilai rasio transformer didapatkan, langkah selanjutnya yaitu menghitung nilai penguat maksimum M_{g_max} menggunakan persamaan berikut :

$$M_{g_max} = \frac{n \times V_{o_max}}{\frac{V_{in_min}}{2}} \quad (9)$$

Setelah nilai penguat maksimum didapatkan, langkah selanjutnya yaitu menentukan nilai *Quality Factor* (Q_e). Nilai Q_e didapatkan dari kurva hubungan penguat dan faktor kualitas.



Gambar 4. Kurva Hubungan *Quality Factor* (Q_e) dengan Penguat (M_g)

Nilai Q_e yang baik direkomendasikan sekitar $\leq 0,5$. Setelah nilai Q_e didapatkan, Langkah selanjutnya yaitu menghitung nilai resistansi ekuivalen (R_e) menggunakan persamaan berikut :

$$R_e = \frac{8 \times n^2}{\pi^2} \times \frac{V_o}{I_o} \quad (10)$$

Setelah nilai Q_e dan R_e didapatkan, langkah selanjutnya yaitu menghitung nilai kapasitor resonan (C_r) menggunakan persamaan berikut ini :

$$C_r = \frac{1}{2\pi \times Q_e \times f_0 \times R_e} \quad (11)$$

Setelah nilai kapasitor resonan (C_r) didapatkan, maka nilai induktor resonan (L_r) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$L_r = \frac{1}{(2\pi \times f_0)^2 \times C_r} \quad (12)$$

- **Menentukan Nilai Kapasitor Filter (C_o) Penyearah**

Untuk menentukan nilai kapasitor penyearah dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$C_o = \frac{1}{2\sqrt{3} \times f_r \times R_L \times r} \quad (13)$$

2.2 Perancangan Transformator

Tahapan pertama dalam merancang transformator yaitu menentukan spesifikasi transformator yang akan dirancang. Yang pertama yaitu menentukan tegangan sekunder transformator menggunakan persamaan beriku :

$$V_s = \frac{V_o}{\sqrt{2}} \quad (14)$$

Berikutnya yaitu menentukan arus sekunder transformator menggunakan persamaan berikut :

$$I_s = \frac{I_o}{\sqrt{2}} \quad (15)$$

Selanjutnya menentukan tegangan primer transformator menggunakan persamaan berikut :

$$V_p = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \times V_d \quad (16)$$

Perhitungan nilai tegangan dan arus tersebut merupakan nilai RMS atau nilai efektif. Dan selanjutnya yaitu menentukan frekuensi transformator yang akan dirancang yaitu menggunakan frekuensi sebesar 50 KHz. Setelah spesifikasi transformator yang akan dirancang telah didapat, maka selanjutnya yaitu melakukan tahapan-tahapan berikut :

2.2.1 Menghitung Daya Keluaran Transformator (P_{o2})

$$P_{o2} = E_2 \times I_2 \quad (17)$$

2.2.2 Menghitung Area-Product (A_p) Transformator

$$A_p = \frac{P_{o2} \left[1 + \frac{1}{\eta} \right]}{4 \times K_f \times B_m \times J \times K_w \times f_s} \quad (18)$$

Setelah nilai A_p diperoleh, pilih ukuran inti yang mempunyai nilai A_p lebih besar dari hasil perhitungan.

2.2.3 Menghitung jumlah lilitan kumparan primer (N_1) dan jumlah lilitan kumparan sekunder (N_2)

$$N_1 = \frac{E_1}{4K_f A_c B_m f} \quad (19)$$

$$N_2 = \frac{E_2}{4K_f A_c B_m f} \quad (20)$$

2.2.4 Menentukan Luas Penampang Kawat Kumparan Primer (a_1) dan Luas Penampang Kawat Kumparan Sekunder (a_2)

Sebelum menentukan luas penampang kawat kumparan primer, langkah yang dilakukan yaitu menentukan arus primer transformator menggunakan persamaan berikut :

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \quad (21)$$

Setelah nilai arus primer didapatkan, luas penampang kawat kumparan primer (a_1) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$a_1 = \frac{I_1}{J} \quad (22)$$

Untuk luas penampang kawat kumparan sekunder (a_2) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$a_2 = \frac{I_2}{J} \quad (23)$$

Langkah selanjutnya yaitu memilih ukuran kawat dengan cara menggunakan nilai a_1 dan a_2 yang lebih besar dari nilai perhitungan diatas.

2.2.5 Menghitung Nilai Resistansi Kumparan Primer (R_1) dan Nilai Resistansi Kumparan Sekunder (R_2)

$$R_1 = N_1 \cdot MLT \cdot \rho_{20} \cdot [1 + 0,00393 \times (T - 20)] \quad (24)$$

$$R_2 = N_2 \cdot MLT \cdot \rho_{20} \cdot [1 + 0,00393 \times (T - 20)] \quad (25)$$

2.2.6 Menghitung Rugi-rugi Inti Transformator

$$P_{fe} = V_c \cdot K_c \cdot f^\alpha \cdot B_m^\beta \quad (26)$$

2.2.7 Menghitung Resistansi Ekuivalen dengan Rugi-rugi Inti (R_c)

$$R_c = \frac{V_p^2}{P_{fe}} \quad (27)$$

2.2.8 Menghitung Nilai Induktansi Magnetisasi (L_m)

$$L_m = N_1^2 \times A_L \quad (28)$$

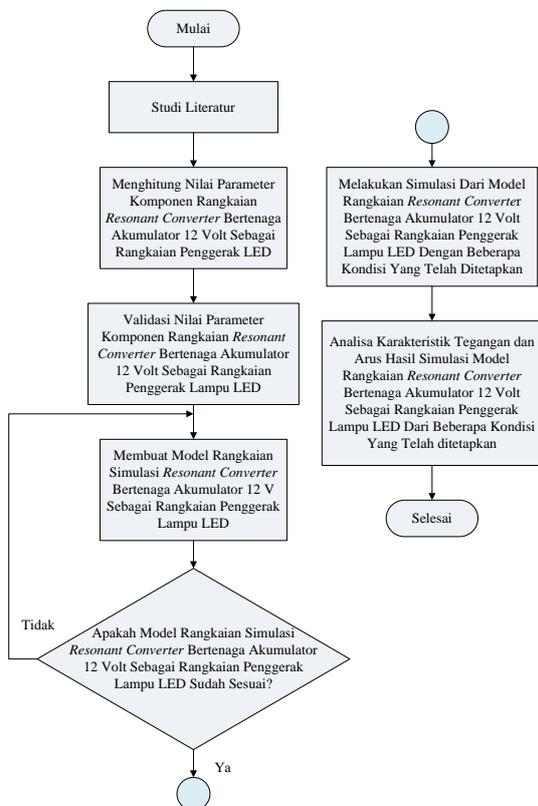
2.2.9 Menghitung Nilai Induktansi Bocor Kumparan Primer (L_{11}) dan Induktansi Bocor Kumparan Sekunder (L_{12})

$$L_{11} = \frac{\mu_0 \times N_1^2 \times MLT \times bw}{3hw} \quad (29)$$

$$L_{12} = \frac{\mu_0 \times N_2^2 \times MLT \times bw}{3hw} \quad (30)$$

III. METODE PENELITIAN

Di bawah ini adalah gambaran alur penelitian yang akan dilakukan :



Gambar 1. Flowchart penelitian

Pada penelitian ini akan membahas tahapan-tahapan dalam mendesain konverter DC-DC *resonant converter* sebagai rangkaian penggerak LED bertenaga akumulator 12 Volt. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode simulasi. Simulasi dilakukan menggunakan software MATLAB-Simulink.

Sebelum dilakukannya simulasi, tahapan utama yaitu menentukan model rangkaian listrik dari *resonant converter*, kemudian menghitung nilai dari tiap-tiap

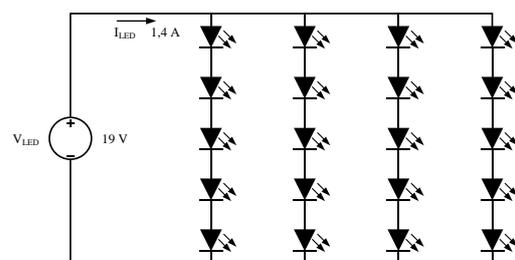
komponen yang ada pada rangkaian *resonant converter* tersebut. Setelah nilai parameter komponen dari model rangkaian *resonant converter* telah didapatkan, langkah selanjutnya melakukan simulasi dari model rangkaian *resonant converter* yang telah didesain dan ditentukan nilai parameternya untuk melihat karakteristik tegangan dan arus keluaran dalam mencatu LED. Berikut ini adalah tahapan dalam merancang dan menghitung parameter rangkaian *resonant converter* bertenaga akumulator 12 volt sebagai rangkaian penggerak LED :

3.1 Menentukan Tegangan Input

Tegangan input yang digunakan adalah tegangan searah (DC) yang berasal dari Akumulator 12 Volt. Jenis baterai yang digunakan adalah baterai asam-timbal (*lead-acid battery*) 12 Volt 12 Ah.

3.2 Perancangan LED

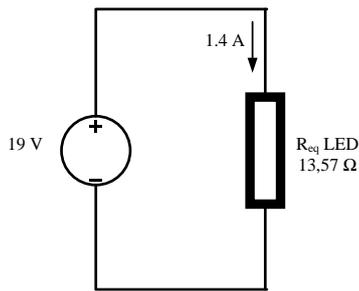
LED yang digunakan adalah LED 1 Watt keluaran Betlux. Biji LED tersebut bekerja pada tegangan 3,2 V sampai 3,8 V dan arus maksimal yang dibutuhkan sebesar 350 mA. Pada perancangan lampu LED ini, penulis merancang lampu LED menggunakan tegangan maksimal yang bisa diterima oleh LED yaitu 3,8V dengan arus maksimal 350 mA. LED yang digunakan berjumlah 20 biji disusun secara seri-paralel sebanyak 4 untaian. Tiap-tiap untaian terdiri dari 5 biji LED yang tersusun secara seri. Dan kemudian masing-masing untaian disusun secara paralel. Berikut adalah gambar rangkaian LED yang telah dirancang :



Gambar 6. Perancangan Biji LED

Pada gambar 6 diatas akan di sederhanakan lagi menjadi sebuah resistor

yang ekuivalen dengan nilai resistansi 20 biji LED sebagai berikut :



Gambar 7. Rangkaian Ekuivalen 20 Biji LED

3.3 Perancangan Rangkaian Resonansi (Kapasitor Resonan (C_r) dan Induktor Resonan (L_r))

Dengan menggunakan nilai $f_o = 50$ KHz, $R_e = 1,05\Omega$, dan $Q_e = 0,45$ kedalam persamaan 11 maka didapatlah nilai kapasitor resonan (C_r) sebesar $6,73\mu F$ dan induktor resonan (L_r) sebesar $1,5\mu F$.

3.4 Perancangan Nilai Kapasitor Filter (C_o) Penyearah

Dengan menggunakan nilai $R_L = 13,57\Omega$, $f = 50$ KHz, dan $r = 1\%$ kedalam persamaan 13 maka didapatlah nilai C_o sebesar $4,25 \times 10^{-5}$ F. Untuk nilai kapasitor filter (C_o) dipilih lebih besar dari pada nilai kapasitor filter hasil perhitungan yaitu menjadi 10×10^{-5} F.

3.5 Perancangan Transformator Inti Ferit

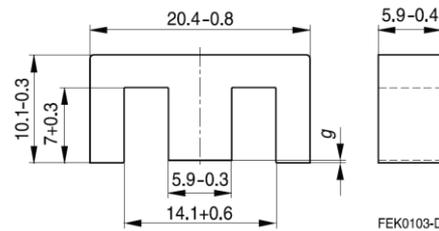
Berikut adalah spesifikasi transformator yang akan dirancang :

Tabel 2. Spesifikasi Transformator Yang Akan Dirancang

V_s rms	19 V
I_s rms	0,99 A
V_p rms	5,4 V
f	50 KHz

Dengan melakukan perhitungan sesuai dengan persamaan perancangan transformator maka didapatlah nilai $P_{O2} = 18,81$ W dan $A_p = 794$ mm⁴. Nilai A_p inti ferit yang dipilih harus lebih besar daripada nilai A_p hasil perhitungan, maka dipilih inti ferit jenis EE ukuran E20/10/6 keluaran

EPCOS mempunyai parameter $MLT = 41,2$ mm, $A_c = 32,1$ mm², $A_w = 34$ mm², $V_c = 1490$ mm³, $A_L = 1470$ nH.



Gambar 8. Dimensi Setengah Inti ferit EPCOS E20/10/6

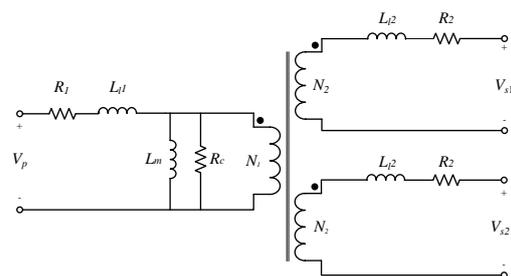
(Sumber: EPCOS Data Book, 2013)

Dengan memasukkan nilai $A_c = 32,1$ mm² kedalam persamaan 19 dan persamaan 20 maka diperoleh $N_1 = 4$ lilitan dan $N_2 = 14$ lilitan.

Dari persamaan 15 didapatkan arus primer sebesar $I_p = 3,465$ A dan dari persamaan 15 didapatkan arus sekunder sebesar $I_s = 0,99$ A. Dengan menggunakan nilai $J = 3$ A/mm² kedalam persamaan 22 dan 23 maka didapatkan nilai $a_1 = 1,155$ mm² dan $a_2 = 0,33$ mm².

Tabel 3. Parameter Perancangan Transformator

Ukuran inti	E20/10/6
N_1	4 lilitan
N_2	14 lilitan
a_1	1,155 mm ²
a_2	0,33 mm ²



Gambar 9. Rangkaian Ekuivalen Transformator center tap untuk Resonant Converter

Gambar 9 merupakan rangkaian ekuivalen transformator yang digunakan. Dengan menggunakan nilai $\rho_{20} = 14,8$ Ω /km dan $T = 75^\circ C$ pada persamaan 24, maka didapatkan nilai $R_1 = 0,0029$ Ω . Dengan menggunakan nilai $\rho_{20} = 43,4$

Ω/km dan $T = 75^\circ\text{C}$ pada persamaan 24, maka didapatkan nilai $R_2 = 0,0304 \Omega$.

Dengan menggunakan nilai $V_c = 1,49 \text{ cm}^3$, $K_c = 16,9$, $\alpha = 1,25$, $\beta = 2,35$ pada persamaan 26 maka diperoleh $P_{fe} = 0,429 \text{ watt}$.

Dari persamaan 27 maka diperoleh nilai $R_c = 68,011 \Omega$.

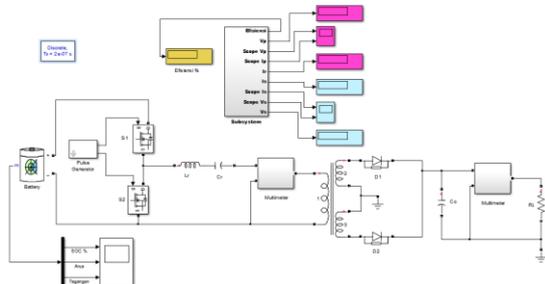
Dengan menggunakan nilai $A_L = 1470 \text{ nH}$ kedalam persamaan 28, maka didapatkan $L_m = 23,52 \mu\text{H}$

Dengan menggunakan data-data pada tabel 3 dan dimensi inti ferit pada gambar 8, dengan menggunakan persamaan 29 dan persamaan 30 maka didapatkan $L_{l1} = 5,66 \times 10^{-8} \text{ H}$ dan $L_{l2} = 6,9 \times 10^{-7} \text{ H}$.

Parameter-parameter perancangan rangkaian *resonant converter* bertenaga akumulator 12 volt sebagai rangkaian penggerak lampu LED yang telah dihitung dan ditentukan selanjutnya akan dimasukkan kedalam blok parameter MATLAB-Simulink yang digunakan.

3.6 Model Rangkaian *Resonant Converter* Bertenaga Akumulator 12 Volt Sebagai Rangkaian Penggerak Lampu LED Pada MATLAB-Simulink

Berikut adalah gambar model simulink rangkaian *resonant converter* bertenaga akumulator 12 volt sebagai rangkaian penggerak lampu LED :



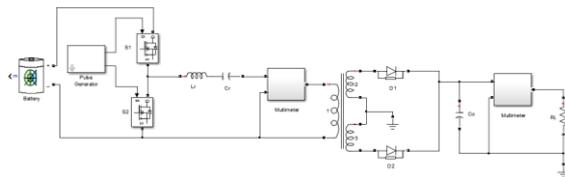
Gambar 10. Pemodelan Rangkaian *Resonant Converter* Bertenaga Akumulator 12 Volt Sebagai Rangkaian Penggerak Lampu LED Pada MATLAB-Simulink

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan hasil *running* dari simulasi model simulink desain rangkaian *resonant converter* bertenaga akumulator 12 Volt sebagai

rangkaiannya penggerak lampu LED yang telah didesain dan ditentukan nilai parameter dari tiap-tiap komponen yang ada pada rangkaian tersebut.

Simulasi menggunakan aplikasi MATLAB-Simulink R2013a. Simulasi yang dilakukan terdiri dari sebelas kondisi, diantaranya yaitu kondisi disaat *duty cycle* 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 32, 35%, 40%, 43%, 43% dan 45% dengan frekuensi tetap sebesar 50 KHz untuk setiap kondisi *duty cycle* yang berbeda. *Duty cycle* diatur pada blok pulsa generator. Beban dari konverter ini adalah sebuah Resistor sebesar 13,57 ohm. Dengan dilakukannya *running* simulasi pada kondisi-kondisi tersebut, akan didapatkan respon keluaran yang berupa karakteristik tegangan dan arus dari model rangkaian. Pada jurnal ini hanya menampilkan 5 kondisi hasil simulasi dari 11 kondisi yang ada. Berikut adalah model rangkaian simulasi yang akan dilakukan :

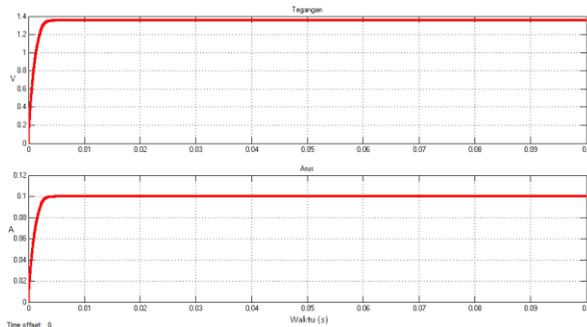


Gambar 11. Model Rangkaian Simulasi *Resonant Converter* Bertenaga Akumulator 12 Volt Pada MTLAB-Simulink

4.1 Analisa Karakteristik Tegangan dan Arus Rangkaian Resonansi Serta Keluaran Konverter Pada Model Rangkaian *Resonant Converter* Bertenaga Akumulator 12 Volt Dengan Beban Resistor

4.1.1 Kondisi 1

Pada kondisi 1, simulasi dilakukan dengan menetapkan nilai *duty cycle* sebesar 5% dengan frekuensi 50 KHz. Durasi simulasi yang dilakukan yaitu selama 0,1 detik. Berikut adalah hasil keluaran dari simulasi model rangkaian *resonant converter* bertenaga akumulator 12 Volt dengan beban R sebesar 13,57 ohm :

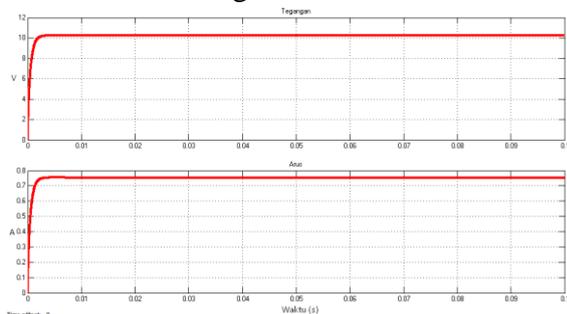


Gambar 12. Grafik Tegangan dan Arus Keluaran Konverter Kondisi 1

Pada gambar 12 dapat dilihat karakteristik tegangan dan arus saat *duty cycle* 5%. Dari hasil simulasi didapatkan nilai tegangan keluaran konverter sebesar 1,358 V dan arus keluaran konverter sebesar 0,1 A. Grafik tegangan dan arus pada gambar 12 dapat dilihat bahwa tegangan dan arus keluaran konverter awalnya bergerak dari nol dan mencapai keadaan mantap dalam waktu kurang dari 0,005 detik. Efisiensi konverter dari hasil simulasi dengan *duty cycle* 5% adalah sebesar 35,71%.

4.1.2 Kondisi 2

Pada kondisi 2 simulasi dilakukan dengan menetapkan nilai *duty cycle* sebesar 20% dan frekuensi sebesar 50KHz. Durasi simulasi yang dilakukan adalah selama 0,1 detik dengan beban R sebesar 13,57 ohm. Berikut adalah grafik keluaran hasil simulasi model rangkaian resonant konverter bertenaga akumulator 12 Volt :



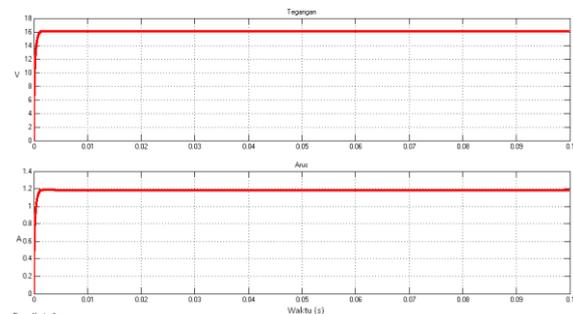
Gambar 13. Grafik Tegangan dan Arus Keluaran Konverter Kondisi 2

Pada gambar 13 menampilkan karakteristik tegangan dan arus saat nilai *duty cycle* sebesar 20%. Dari hasil simulasi didapatkan tegangan keluaran konverter sebesar 10,23 V dan arus keluaran konverter sebesar 0,753 A. Dari grafik tegangan dan arus

pada gambar 13 dapat dilihat bahwa tegangan dan arus bergerak dari nol hingga mencapai keadaan mantap selama kurang dari 0,004 detik. Efisiensi konverter dari hasil simulasi dengan *duty cycle* 20% adalah sebesar 58,5%.

4.1.3 Kondisi 3

Pada kondisi 3 akan dilakukan simulasi dengan menetapkan nilai *duty cycle* sebesar 32% dengan nilai frekuensi sebesar 50KHz. Durasi simulasi yang dilakukan adalah selama 0,1 detik dengan beban R sebesar 13,57 ohm. Berikut adalah grafik keluaran hasil simulasi model rangkaian *resonant konverter* bertenaga akumulator 12 Volt :

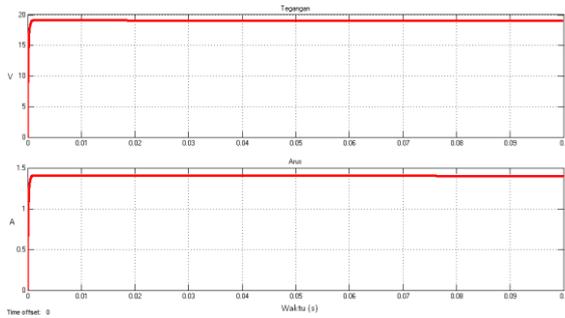


Gambar 14. Grafik Tegangan dan Arus Keluaran Konverter Kondisi 3

Gambar 14 memperlihatkan grafik karakteristik tegangan dan arus saat *duty cycle* sebesar 32%. Dari hasil simulasi terjadi kenaikan tegangan dan arus keluaran konverter dari kondisi sebelumnya. Didapatkan tegangan keluaran konverter sebesar 16,02 V dan arus keluaran konverter sebesar 1,181 A. Pada grafik tegangan dan arus gambar 14 dapat dilihat bahwa tegangan dan arus bergerak dari nol hingga mencapai keadaan mantap selama kurang dari 0,002 detik. Efisiensi konverter dari hasil simulasi dengan *duty cycle* 32% ini lebih tinggi dari kondisi sebelumnya yaitu sebesar 68,89%.

4.1.4 Kondisi 4

Pada kondisi 4 simulasi dilakukan dengan menetapkan nilai *duty cycle* sebesar 43% dengan nilai frekuensi sebesar 50KHz. Durasi simulasi yang dilakukan adalah selama 0,1 detik dengan beban R sebesar 13,57 ohm. Berikut adalah grafik keluaran hasil simulasi model rangkaian *resonant konverter* bertenaga akumulator 12 Volt :

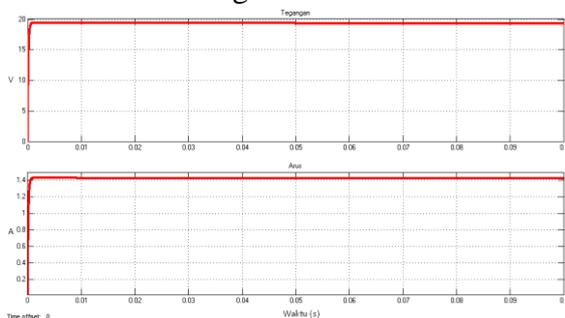


Gambar 15. Grafik Tegangan dan Arus Keluaran Konverter Kondisi 4

Gambar 15 memperlihatkan grafik karakteristik tegangan dan arus saat *duty cycle* sebesar 43%. Dari hasil simulasi terjadi kenaikan tegangan dan arus keluaran konverter dari kondisi sebelumnya. Didapatkan tegangan keluaran konverter sebesar 19 V dan arus keluaran konverter sebesar 1,4 A. Pada grafik tegangan dan arus gambar 15 dapat dilihat bahwa tegangan dan arus bergerak dari nol hingga mencapai keadaan mantap selama kurang dari 0,001 detik. Efisiensi konverter dari hasil simulasi dengan *duty cycle* 43% ini lebih tinggi dari kondisi sebelumnya yaitu sebesar 79,17%. Pada kondisi ini tegangan telah mencapai tegangan yang diharapkan yaitu sebesar 19V.

4.1.5 Kondisi 5

Pada kondisi 5 simulasi dilakukan dengan menetapkan nilai *duty cycle* sebesar 45% dengan nilai frekuensi sebesar 50KHz. Durasi simulasi yang dilakukan adalah selama 0,1 detik dengan beban R sebesar 13,57 ohm. Berikut adalah grafik keluaran hasil simulasi model rangkaian *resonant konverter* bertenaga akumulator 12 Volt :



Gambar 16. Grafik Tegangan dan Arus Keluaran Konverter Kondisi 5

Gambar 16 memperlihatkan grafik karakteristik tegangan dan arus saat *duty cycle* sebesar 45%. Dari hasil simulasi

terjadi kenaikan tegangan dan arus keluaran konverter dari kondisi sebelumnya. Didapatkan tegangan keluaran konverter sebesar 19,32 V dan arus keluaran konverter sebesar 1,423 A. Pada grafik tegangan dan arus gambar 16 dapat dilihat bahwa tegangan dan arus bergerak dari nol hingga mencapai keadaan mantap selama kurang dari 0,0001 detik. Efisiensi konverter dari hasil simulasi dengan *duty cycle* 45% ini lebih tinggi dari kondisi-kondisi sebelumnya yaitu sebesar 79,67%.

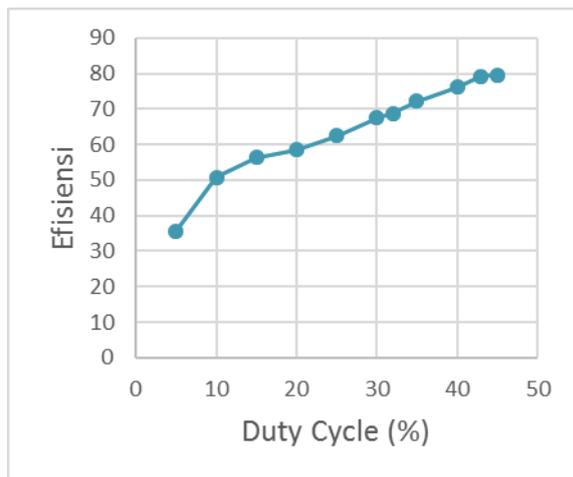
4.2 Pengaruh Perubahan *Duty Cycle* Terhadap Nilai Efisiensi dan Tegangan Keluaran Konverter

Dari hasil simulasi model rangkaian *resonant converter* bertenaga akumulator 12 volt dengan sebelas kondisi *duty cycle* yang berbeda, maka didapatkan nilai efisiensi dan tegangan keluaran konverter yang berbeda-beda seperti yang terlihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4. Pengaruh Perubahan *Duty Cycle* terhadap Nilai Efisiensi dan Tegangan Keluaran Konverter

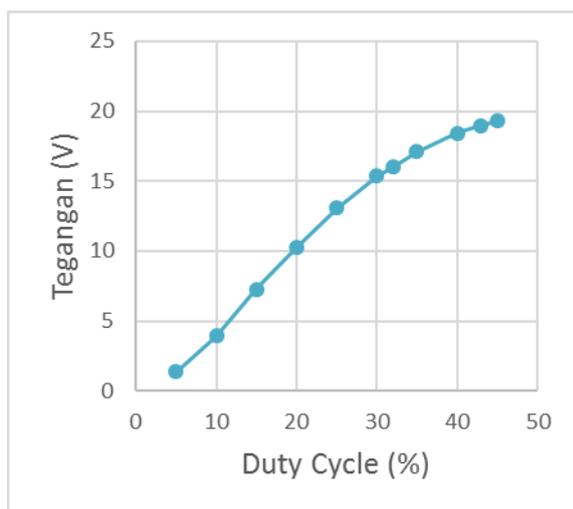
Duty Cycle (%)	Efisiensi (%)	Tegangan Keluaran Konverter (V)
5	35,71	1,35
10	50,8	3,92
15	56,46	7,28
20	58,5	10,23
25	62,57	13,06
30	67,59	15,37
32	68,89	16,02
35	72,24	17,12
40	76,16	18,43
43	79,17	19
45	79,67	19,32

Dari tabel 4 diatas, dapat dibuat grafik pengaruh perubahan *duty cycle* terhadap efisiensi dan grafik pengaruh perubahan *duty cycle* terhadap tegangan keluaran konverter seperti yang terlihat pada gambar berikut ini :



Gambar 17. Grafik Pengaruh Perubahan *Duty Cycle* Terhadap Nilai Efisiensi

Dari grafik pada gambar 17 dapat kita lihat pengaruh perubahan *duty cycle* terhadap efisiensi konverter, dari grafik dapat dilihat bahwa nilai efisiensi semakin meningkat sejalan dengan besarnya nilai *duty cycle*. Semakin besar *duty cycle* maka efisiensi juga akan semakin tinggi. Simulasi awal dilakukan dengan *duty cycle* sebesar 5% dan didapatkan efisiensi sebesar 35,71%. Efisiensi terus meningkat seiring dengan besarnya nilainya *duty cycle*, dan efisiensi tertinggi didapat pada saat *duty cycle* sebesar 45% yaitu efisiensi sebesar 79,67%.



Gambar 18. Grafik Pengaruh Perubahan *Duty Cycle* Terhadap Tegangan Keluaran Konverter

Dari grafik gambar 18 dapat dilihat pengaruh nilai *duty cycle* terhadap tegangan keluaran konverter. Saat nilai *duty cycle* sebesar 5%, tegangan keluaran konverter sebesar 1,35 V. Tegangan keluaran

konverter terus meningkat seiring dengan meningkatnya nilai *duty cycle*, dan tegangan keluaran tertinggi diperoleh saat nilai *duty cycle* 45% yaitu tegangan keluaran sebesar 19,32 V.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasar hasil analisa dari simulasi model rangkaian *resonant converter* bertenaga akumulator 12 sebagai rangkaian penggerak lampu LED yang dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu :

1. Simulasi model rangkaian *resonant converter* bertenaga akumulator 12 Volt yang telah dirancang mampu menghasilkan tegangan yang butuhkan beban yaitu sebesar 19 Volt pada *duty cycle* 43% dengan efisiensi sebesar 79,17%.
2. *Duty cycle* dapat mempengaruhi nilai efisiensi konverter dan tegangan keluaran konverter. Semakin besar nilai *duty cycle*, maka semakin besar pula efisiensi konverter dan tegangan keluaran konverter.

5.2 Saran

Adapun saran yang penulis berikan pada penelitian ini yaitu diharapkan adanya pengembangan penelitian-penelitian lebih lanjut yang terkait tentang *resonant converter* dan adanya realisasi perangkat keras untuk melihat perbedaan hasil simulasi dengan hasil perangkat sesungguhnya.

NOMENCLATURE

f	= Frekuensi (Hz)
L_r	= Induktor Resonan (<i>Henry</i>)
C_r	= Kapasitor Resonan (F)
n	= Rasio transformator
V_{in}	= Tegangan Sumber (V)
V_o	= Tegangan keluaran konverter (V)
I_o	= Arus keluaran konverter (A)
M_{g_max}	= Penguat maksimum
V_{o_max}	= Tegangan keluaran konverter maksimum (V)
V_{in_min}	= Tegangan sumber minimum (V)
R_e	= Resistor Ekuivalen (Ω)
Q_e	= <i>Quality Factor</i>
f_o	= Frekuensi resonan (Hz)

C_o	= Kapasitor filter (F)
R_L	= Resistansi beban (Ω)
r	= persen <i>ripple</i> (%)
V_s	= Tegangan Sekunder Transformator (V)
I_s	= Arus Sekunder Transformator (A)
V_p	= Tegangan Primer Transformator (V)
V_d	= Tegangan Sumber Konverter (V)
P_{o2}	= Daya Keluaran Transformator (watt)
E_2	= Tegangan Sekunder Transformator atau V_s
I_2	= Arus Sekunder Transformator atau I_s (A)
I_1	= Arus Primer Transformator atau I_p (A)
A_p	= Area-Product (mm^4)
η	= Efisiensi transformator
K_f	= <i>form factor</i> (Untuk gelombang sinusoidal $K_f= 1,11$)
B_m	= Rapat fluks magnetik maksimum (T)
J	= Rapat arus penghantar (A/m^2)
K_w	= Faktor penggunaan jendela inti transformator
f_s	= Frekuensi pensaklaran (Hz)
N_1	= Jumlah lilitan kumparan primer transformator (lilit)
N_2	= Jumlah lilitan kumparan sekunder transformator (lilit)
E_1	= Tegangan Primer Transformator atau V_p
A_c	= Luas penampang inti ferit tempat kumparan dililitkan (mm^2)
a_1	= Luas penampang kawat kumparan primer (mm^2)
a_2	= Luas penampang kawat kumparan sekunder (mm^2)
R_1	= Resistansi kumparan primer (Ω)
R_2	= Resistansi kumparan sekunder (Ω)
MLT	= Panjang rata-rata satu lilitan (mm)
ρ_{20}	= Resistansi per satuan panjang pada temperatur 20°C
T	= Temperatur Konduktor
P_{fe}	= Rugi-rugi inti transformator (watt)
V_c	= Volume inti transformator (mm^3)
K_c	= Parameter material inti
α	= konstanta material
β	= konstanta material
R_c	= Nilai Resistansi yang ekuivalen dengan rugi-rugi inti (Ω)
L_m	= Induktansi Magnetisasi (μH)
A_L	= Induktansi Magnetisasi per kuadrat lilitan (nH)
L_{l1}	= Induktansi Bocor Kumparan Primer (H)
L_{l2}	= Induktansi Bocor Kumparan Sekunder (H)
b_w	= Lebar efektif jendela inti ferit
h_w	= Tinggi jendela inti ferit

DAFTAR PUSTAKA

Harley. W.G, W.H. Wolfle. (2013). *Transformers and Inductors For Power Electronics Theory, Design and Applications*. India : Wiley.

- Epcos. 2012. Epcos Data Book 2013 Ferrites and Accessories. Germany : EPCOS AG
- Hart, Daniel W. (1997). *Introduction to Power Electronics (International Edition)*. Indiana: Prentice Hall International Edition.
- Umanand, L., Bhat, S. R. 1992. *Design of Magnetic Components for Switched Mode Power Converters*. New Delhi : New Age International.
- Mohan, Ned. Undeland, Tore M., Robbins, Willian P. (1995). *Power Electronic: Converter, Application and Design (Second Edition)*. USA : John Willey & Sons, Inc.
- Rashid, Muhammad H. 2011. *Power Electronics Handbook (Third Edition)*. USA : Elsevier Inc.
- Huang Hong. 2011. *Designing an LLC Resonant Half-Bridge*, Texas Instruments Power Supply Design Seminar SEM1900, Topic 3.
- F.Bogart, Jr. Theodore. (1997). *Electronic Devices And Circuits (Fourth Edition)*. New Jersey : University of Southern Mississippi
- Dwi Surjono, H.D. (2008). *Elektronika Analog*. Yogyakarta : Universitas Negeri Yogyakarta