

UNJUK KERJA PENGUBAH TEGANGAN DC-DC TOPOLOGI BOOST DENGAN NILAI INDUKTANSI DAN KAPASITANSI YANG DIOPTIMASI PADA KEADAAN TRANSIEN

Oleh: **I Wayan Arta Wijaya.**

Staf Pengajar Program Studi Teknik Elektro, Universitas Udayana

ABSTRAK

Pengubah daya DC-DC topologi boost dapat menghasilkan tegangan yang lebih tinggi dari tegangan input dengan riak (ripple) yang kecil dan efisiensi yang cukup tinggi. Nilai dari sebuah induktansi dan kapasitansi dari pengubah daya DC-DC dengan menggunakan topologi boost dioptimalkan menggunakan analisa transien. Fungsi ini diatur berdasarkan pada analisa dari pengubah daya selama kondisi transien. Nilai induktansi dan kapasitansi yang telah dioptimalkan dengan perhitungan dibandingkan dalam simulasi pada pengubah daya DC-DC dan hasilnya akan dibuktikan dengan menggunakan hasil percobaan. Nilai optimal untuk kapasitor dan induktor pada frekuensi 666,7 Hz, siklus kerja (duty cycle) 66,7 %, resistansi output 36 Ω dan tegangan input 12 volt adalah 1038 μF dan 11,9 mH

Kata Kunci : *topologi boost, pengubah daya, induktansi dan kapasitansi*

1. PENDAHULUAN

Penyediaan sumber tenaga DC dapat dalam bentuk baterai ataupun sumber daya (*power supply*) DC yang keluarannya melalui pengubah DC-DC yang mana keluarannya tidak hanya harus tersaring (filter) dengan bersih tetapi juga teregulasi dengan baik untuk kinerja peralatan elektronik yang optimal dibandingkan dengan pengubah daya tipe linier yang hanya menyediakan fasilitas penurunan tegangan dan dengan efisiensi yang rendah. (Dallas Semiconductor. 2003a) (Pressman. 1992).

Penyedia sumber daya DC yang berupa pengubah daya DC-DC secara umum ada 2 macam, yaitu tipe penurunan tegangan atau *buck chopper* dan tipe penaik tegangan *boost chopper*. Tipe *boost* sangat jarang ditemui di pasaran, karena pengguna dari pengubah daya DC-DC ini sangat terbatas. Pengubah daya DC-DC tipe *boost* dapat mempunyai efisiensi sampai 90 %, suatu efisiensi yang sangat besar dibandingkan dengan penyedia sumber daya tipe lain. (Dallas Semiconductor. 2003b) (Taufik, 1999b) (Mohan, Undeland and Robbins. 1995).

Dalam penulisan karya ilmiah ini dibahas mengenai pengubah daya DC-DC topologi *boost* dengan optimasi induktor dan kapasitor, untuk mendapatkan nilai keluaran tegangan yang maksimal dari masukan tegangan yang kecil. Hal ini sangat jarang diperhatikan, padahal dengan optimasi ini akan didapat suatu efisiensi yang lebih tinggi. Beberapa penggunaan *Boost* antara lain untuk perbaikan faktor daya (*Power Factor*), aplikasi untuk motor DC, charger untuk baterai dan untuk menaikkan tegangan

baterai. (Taufik, 1999a) (Rajashekara, Bhat. 2000) (Mohan, Undeland and Robbins. 1995)

Tujuan dari penulisan karya ilmiah ini adalah untuk mencari nilai optimal induktor dan kapasitor dan unjuk dari pengubah daya DC-DC topologi *boost*.

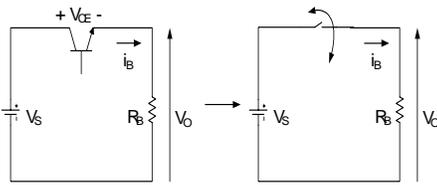
2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengubah Daya DC-DC Tipe Peralihan (*DC Chopper*)

Pengubah daya DC-DC (*DC-DC Converter*) tipe peralihan atau dikenal juga dengan sebutan *DC Chopper* dimanfaatkan terutama untuk penyediaan tegangan keluaran DC yang bervariasi besarnya sesuai kebutuhan beban. Daya masukan dari proses DC-DC tersebut adalah berasal dari sumber daya DC yang biasanya memiliki tegangan masukan yang tetap. Pada dasarnya, penghasilan tegangan keluaran DC yang ingin dicapai adalah dengan cara pengaturan lamanya waktu perhubungan antara sisi keluaran dan sisi masukan pada rangkaian yang sama. (Taufik, 1999b) (Rashid. 1993).

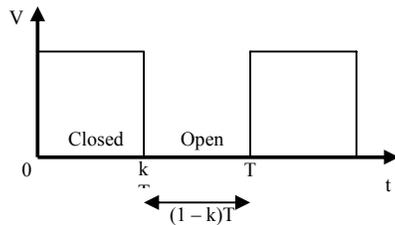
2.2 Prinsip Dasar Pengubah Daya DC-DC Tipe Peralihan

Sebagai alternatif, maka muncul tipe peralihan yang pada prinsipnya dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Pengubah tipe peralihan
(Sumber : Majalah Elektro Indonesia Nomor 25, Tahun V, April 1999)

Pada tipe peralihan, terlihat fungsi transistor sebagai *electronic switch* yang dapat dibuka (OFF) dan ditutup (ON). Dengan asumsi bahwa *switch* tersebut ideal, jika *switch* ditutup maka tegangan keluaran akan sama dengan tegangan masukan, sedangkan jika *switch* dibuka maka tegangan keluaran akan menjadi nol. Dengan demikian tegangan keluaran yang dihasilkan akan berbentuk pulsa seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Tegangan keluaran

Besaran rata rata atau komponen DC dari tegangan keluaran dapat diturunkan dari persamaan berikut:

$$V_O = \frac{1}{T} \int_0^T v_o(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{kT} V_S dt = V_S k \dots\dots(2.1)$$

Dari persamaan (2.1) terlihat bahwa tegangan keluaran DC dapat diatur besarnya dengan menyesuaikan parameter k. Parameter k dikenal sebagai *duty cycle* yaitu rasio antara lamanya waktu *switch* ditutup (t_{on}) dengan perioda T dari pulsa tegangan keluaran, atau (lihat Gambar 2.2):

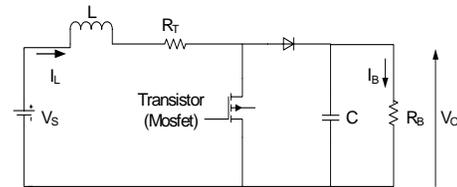
$$k = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T} = t_{on} f \dots\dots\dots(2.2)$$

dengan $0 \leq D \leq 1$. Parameter f adalah frekuensi peralihan (*switching frequency*) yang digunakan dalam mengoperasikan *switch*. (Rashid. 1993).

2.4 Pengubah Boost

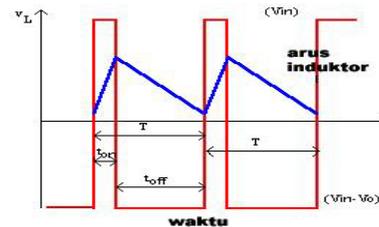
Jika tegangan keluaran yang diinginkan lebih besar dari tegangan masukan, maka rangkaian *Boost* dapat dipakai. Topologi *Boost* terlihat pada Gambar 2.3. Pada operasi CCM, tegangan keluaran dan tegangan masukan diekspresikan seperti:

$$V_O = \frac{V_S}{1-k} \dots\dots\dots(2.3)$$



Gambar 2.3. Pengubah boost

Boost juga memiliki efisiensi tinggi, rangkaian sederhana, tanpa transformator dan tingkat riak (*ripple*) yang rendah pada arus masukan. Namun *Boost* tidak memiliki isolasi antara masukan dan keluaran, hanya satu keluaran yang dihasilkan. (Taufik, 1999a)



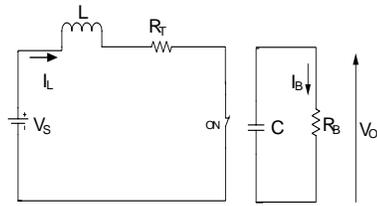
Gambar 2.4 Bentuk gelombang arus dan tegangan induktor dari pengubah daya topologi boost

2.5 Optimasi Nilai Induktansi dan Kapasitansi pada Pengubah Daya DC-DC Topologi Boost

Telah banyak dilakukan penelitian mengenai pengubah daya DC-DC topologi penaik tegangan (*boost*) telah dilakukan. Pengubah daya ini seringkali diaplikasikan untuk *booster power supply* DC. Fungsi utama dari pengubah daya ini menghasilkan tegangan keluaran DC lebih besar dari masukan sumber DC. Untuk mendapatkan kondisi *boosting*, pada pemilihan nilai induktansi dan kapasitansi yang sesuai adalah sangat penting, karena hal ini mempengaruhi performa dari pengubah daya (pada riak tegangan dan arus). Metode konvensional untuk menghitung nilai induktansi dan kapasitansi telah dikembangkan menggunakan perkiraan fungsi linier yang hanya mempertimbangkan kondisi transien pada transistor mulai ON. Akurasi metode ini sangat lemah untuk nilai kapasitansi yang kecil. (Yudhaprasetya, Firmansyah. 2001)

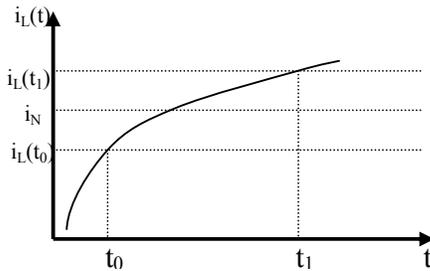
2.6 Perhitungan Nilai Induktansi dan Kapasitansi

- A. Perhitungan Induktansi dan Kapasitansi pada Transistor Mulai ON



Gambar 2.5 Model rangkaian elektrik pada kondisi transistor mulai ON

Pada keadaan ini, arus transien induktor digambarkan pada gambar 2.6 dibawah ini :



Gambar 2.6 Arus transien induktor pada kondisi transistor mulai ON

Persamaan arus transien dapat ditulis seperti rumus (2.6) dibawah :

$$i_L(t) = \left(i_L(t_0) - \frac{V_S}{R_T} \right) e^{-\frac{R_T}{L}t} + \frac{V_S}{R_T} \dots\dots(2.4)$$

Sedangkan nilai arus dapat didefinisikan sebagai :

$$\Delta I = i_L(t_1) - i_L(t_0) \dots\dots\dots (2.5)$$

Dengan,

$$t_1 = t_0 + kT \text{ dan } I_N = \frac{V_S}{R_B} \dots\dots(2.6)$$

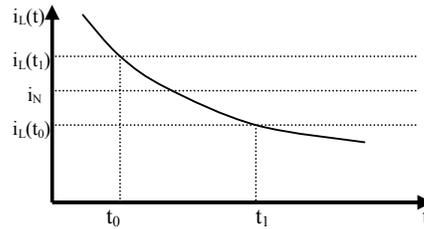
Kemudian, didapatkan rumus untuk induktansi sebagai berikut :

$$\frac{1}{L} = -\frac{1}{R_T kT} \ln \left[\frac{i_L(t_0 + kT) \frac{V_S}{R_T}}{i_L(t_0) \frac{V_S}{R_T}} \right] \quad (2.7)$$

Dengan,

$$i_L(t_0) = \frac{V_S}{R_B} - \frac{\Delta I}{2} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dengan cara yang sama, tegangan transien kapasitor dapat digambarkan pada gambar 2.7:



Gambar 2.7 Tegangan transien kapasitor pada kondisi transistor mulai ON

Berdasarkan pada gambar 2.6 dan gambar 2.10, dapat diturunkan persamaan :

$$\frac{1}{C} = -\frac{R_B}{kT} \ln \left(\frac{V_0 - \frac{\Delta V}{R_B}}{V_0 + \frac{\Delta V}{R_B}} \right) \dots\dots\dots(2.9)$$

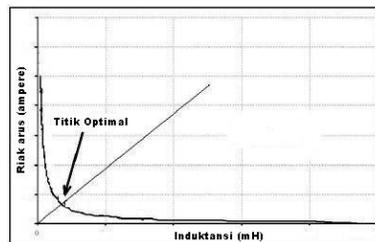
Dengan,

$$V_0 = \frac{V_S}{(1-k)} \dots\dots\dots(2.10)$$

Untuk maksud kesetimbangan arus dan hasil riak tegangan, sehingga didapatkan nilai optimal untuk induktor dan kapasitor pada nilai riak yang sama, maka dapat dirumuskan suatu kondisi :

$$\|\Delta I\| = \|\Delta V\| \dots\dots\dots(2.11)$$

Grafik fungsi riak arus sebagai fungsi dari harga filter induktor dapat dilihat pada gambar 2.8.

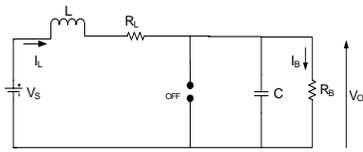


Gambar 2.8. Riak arus sebagai fungsi dari filter induktor. (Sumber : Yudhaprasetya, Desig Pramasti and Firmansyah, Muhammad. 2001)

Penentuan harga kapasitor berdasarkan persamaan (2.9) yang hanya memperhatikan kondisi mulai ON ternyata mempunyai tingkat kesalahan yang cukup besar. Untuk itu rumus penentuan harga kapasitor juga perlu mempertimbangkan konfigurasi rangkaian pada saat mulai OFF.

B. Perhitungan Induktansi dan Kapasitansi pada Transistor Mulai OFF

Perhitungan dari analisa transien dipergunakan untuk meningkatkan formula kapasitansi. Model rangkaian elektrik untuk kondisi ini dapat dilihat pada gambar 2.9 dibawah ini :



Gambar 2.9 Model rangkaian elektrik pada kondisi transistor mulai OFF

Analisa transien dengan pertimbangan kondisi awal didapatkan formula kapasitansi pada daerah frekuensi seperti persamaan (2.12),

$$V_0(s) = \frac{s^2 L V_C(t_0) + s I_L(t_0)}{s^2 LC + s \frac{L}{R_B} + 1} \dots\dots(2.12)$$

Untuk koefisien kelembaman (α),

$$\alpha = \frac{i_L(t_0)}{L V_C(t_0)} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dengan hasil yang mendapatkan,

$$C = \frac{L_{VC}(t_0)}{2i_L(t_0)R_B} \dots\dots\dots(2.14)$$

Dengan,

$$V_C(t_0) = \frac{V_S}{(1-k)} - \frac{\Delta V}{2} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dan,

$$I_L(t_0) = \frac{V_S}{(1-k)R_B} - \frac{\Delta I}{2} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dengan masih menggunakan formula induktansi berdasarkan pada persamaan (2.7), adapun untuk mendapatkan nilai terbaik dari kapasitansi, dapat dipergunakan formula kapasitansi pada formula (2.9) dan (2.15), (Yudhaprasetya, Firmansyah. 2001)

$$C = \frac{1}{2} \left[\frac{L_{VC}(t_0)}{2i_L(t_0)R_B} - \frac{kT}{R_B} \ln \left(\frac{V_0 - \frac{\Delta V}{R_B}}{V_0 + \frac{\Delta V}{R_B}} \right) \right] \dots\dots(2.17)$$

Grafik riak tegangan sebagai fungsi dari harga filter kapasitor dapat dilihat pada gambar 2.9. Kriteria optimal adalah nilai induktansi dan kapasitansi yang terkecil dengan tegangan dan arus yang cukup kecil. Kondisi ini didapat pada titik terdekat dengan nilai asal. (Yudhaprasetya, Firmansyah. 2001)

3. METODE ANALISIS

Berdasarkan spesifikasi peralatan (tegangan input, frekuensi switching, duty cycle dan resistansi beban), harga filter induktansi dan kapasitansi

dihitung berdasarkan berdasarkan persamaan (2.7) dan (2.17) sebagai berikut :

$$\frac{1}{L} = -\frac{1}{R_T kT} \ln \left[\frac{i_L(t_0 + kT) \frac{V_S}{R_T}}{i_L(t_0) \frac{V_S}{R_T}} \right]$$

dan,

$$C = \frac{1}{2} \left[\frac{L_{VC}(t_0)}{2i_L(t_0)R_B} - \frac{kT}{R_B} \ln \left(\frac{V_0 - \frac{\Delta V}{R_B}}{V_0 + \frac{\Delta V}{R_B}} \right) \right]$$

untuk berbagai nilai riak arus dan tegangan keluaran. Selanjutnya disusun plot dari riak arus terhadap harga L dan riak tegangan terhadap harga C. Dari kedua plot tersebut ditentukan titik terdekat dengan titik asal untuk mendapatkan harga optimal dari L dan C

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Optimasi Induk-tansi dan Kapasitansi

Untuk perhitungan nilai optimal dari induktor dan kapasitor pengubah daya DC-DC topologi *boost*, dipergunakan perhitungan pada kondisi CCM (*Continuous Conductans Mode*), dimana nilai arus dan tegangan tidak pernah mencapai nilai nol.

Pertama – tama dilakukan penentuan spesifikasi komponen, dimana spesifikasi komponen ini meliputi :

1. Tegangan input (V_S) = 12 V
2. frekuensi switching (f)= 666,7 Hz
3. duty cycle (k) = 0.667 ms
4. resistansi output (R_B)= 36 ohm
5. resistansi total ($= R_L + R_{Transistor}$) = 1,5 ohm

setelah dilakukan penentuan spesifikasi komponen, maka dilakukan perhitungan nilai optimal dari induktor dan kapasitor dengan menggunakan formula sebagai berikut :

$$\frac{1}{L} = -\frac{1}{R_T kT} \ln \left[\frac{i_L(t_0 + kT) \frac{V_S}{R_T}}{i_L(t_0) \frac{V_S}{R_T}} \right] \dots\dots\dots 4.1)$$

$$C = \frac{1}{2} \left[\frac{L_{VC}(t_0)}{2i_L(t_0)R_B} - \frac{kT}{R_B} \ln \left(\frac{V_0 - \frac{\Delta V}{R_B}}{V_0 + \frac{\Delta V}{R_B}} \right) \right] \dots\dots 4.2)$$

Perhitungan nilai optimal untuk induktor (L)

Dengan menggunakan rumus (4.1) :

$$\frac{1}{L} = -\frac{1}{R_T k T} \ln \left[\frac{i_L(t_0 + kT) \frac{V_s}{R_T}}{i_L(t_0) \frac{V_s}{R_T}} \right]$$

$$I_L(t_0) = \frac{V_s}{(1-k)R_B} - \frac{\Delta I}{2} \dots\dots\dots 4.3$$

$$\Delta I = iL(t_1) - iL(t_0) \dots\dots\dots 4.4$$

$$I_L(t_0) = \frac{12}{(1 - 0,667)^2} - \frac{0,1}{2}$$

$$I_L(t_0) = 2.956009 \text{ A}$$

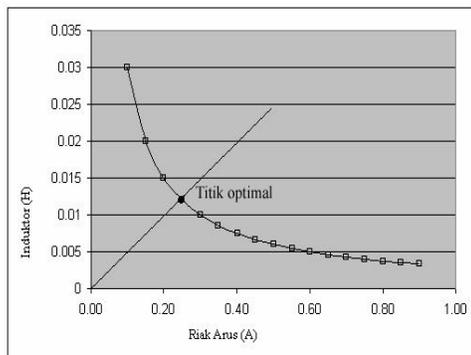
$$iL(t_1) = \Delta I + iL(t_0) \dots\dots\dots 4.5$$

$$iL(t_1) = 0,1 + 2.956009$$

$$iL(t_1) = 3.056009 \text{ A}$$

dan diperoleh L = 0.029975 H

Dengan cara yang sama seperti pada perhitungan diatas, dapat diperoleh grafik seperti gb. 4.1



Gambar 4.1 Plot riak arus (Δ I) terhadap harga induktor (L) dan titik optimal untuk nilai induktor.

Sehingga nilai optimal untuk induktansi atau harga induktor adalah 0.011988 H pada harga riak arus 0,25 Ampere.

Perhitungan nilai optimal kapasitor (C)

Dengan menggunakan rumus (4.2) :

$$C = \frac{1}{2} \left[\frac{LV_C(t_0)}{2i_L(t_0)R_B} - \frac{kT}{R_B} \ln \left(\frac{V_0 - \frac{\Delta V}{R_B}}{V_0 + \frac{\Delta V}{R_B}} \right) \right] \text{ Dengan,}$$

$$V_C(t_0) = \frac{V_s}{(1-k)} - \frac{\Delta V}{2} \dots\dots\dots (4.6)$$

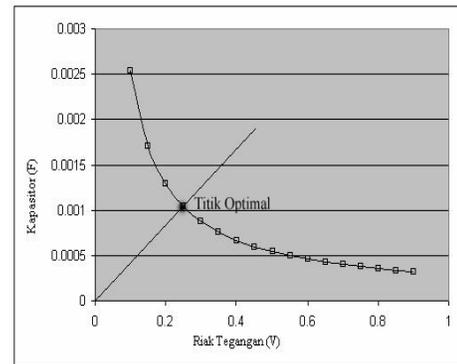
$$V_0 = \frac{V_s}{(1-k)} \dots\dots\dots (4.7)$$

sehingga :

$$V_0 = 36.036V$$

dan diperoleh C = 0.002534 F

Dengan cara yang sama seperti pada perhitungan diatas, dapat diperoleh grafik seperti gb. 2.4:



Gambar 4.2 Plot riak tegangan (Δ V) terhadap harga kapasitor (C) dan titik optimal untuk nilai kapasitor.

Sehingga nilai optimal untuk kapasitansi atau harga kapasitor adalah 0.001038 F pada harga riak tegangan 0,25 V.

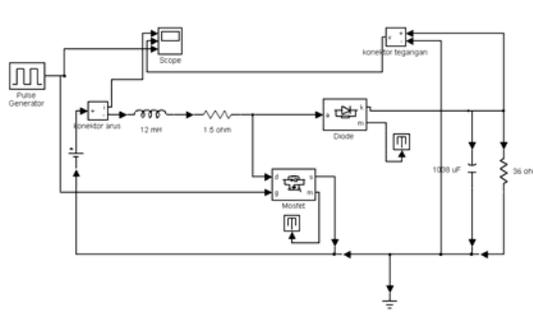
4.2 Simulasi Menggunakan Multisim 2001 dan Simulink Matlab 6.5

Setelah dilakukan perhitungan, maka didapatkan nilai optimal untuk induktor dan kapasitor. Untuk menguji nilai dari induktor dan kapasitor yang dipasang pada rangkaian, dipergunakan simulasi menggunakan software Multisim 2001 dan Simulink Matlab 6.5.

Nilai dari komponen yang disimulasikan sebagai berikut :

1. tegangan input (V_S) = 12 V
2. frekuensi switching (F) = 667 Hz
3. duty cycle (k) = 0.667 ms
4. resistansi output (R_B) = 36 ohm
5. resistansi total (= R_L + R_{Transistor}) = 1,5 ohm
6. induktor (L) = 0.012 H
7. kapasitor (C) = 0.001038 F

Rangkaian simulasi adalah sebagai berikut :

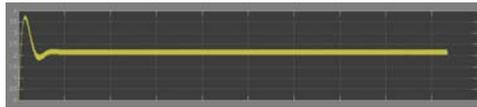


Gambar 4.4 Rangkaian simulasi pengubah daya DC-DC topologi boost

hasilnya dapat dilihat pada osiloskop untuk nilai V_{output} dan $i_L(t_0)$.

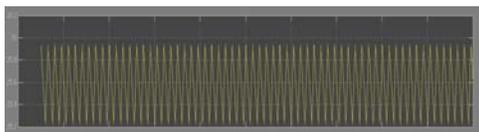


Gambar 4.5a tegangan $V_c(t_0)$

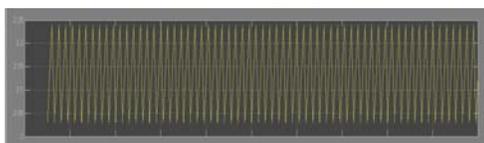


Gambar 4.5b arus $I_L(t_0)$

Pada hasil simulasi yang ditunjukkan pada gambar 4.5a dan gambar 4.5b adalah hasil optimasi induktansi dan kapasitansi untuk riak tegangan $V_c(t_0)$ dan nilai arus input $I_L(t_0)$ pada saat kondisi mulai switch, sehingga dapat dilihat fluktuasi arus dan tegangan pada kondisi awal.



Gambar 4.6a riak tegangan $V_c(t_0)$



Gambar 4.6b riak arus $I_L(t_0)$

Setelah dilakukan perbesaran skala, maka dapat dilihat nilai tegangan $V_c(t_0)$ adalah sebesar 25.9 V dan nilai untuk arus input $I_L(t_0)$ adalah sebesar 2,24 A. Sedangkan nilai perhitungan untuk tegangan

$V_c(t_0)$ adalah 35,9 V dan arus input $I_L(t_0)$ adalah 2,88 A.

Persentase selisih antara perhitungan ideal dan simulasi adalah sebagai berikut :

a. untuk tegangan $V_c(t_0)$

$$\%selisih = (100\%) - \left(\frac{\text{tegangan_simulasi}}{\text{tegangan_perhitungan_ideal}} \times 100\% \right)$$

$$\%selisih = (100\%) - \left(\frac{25,9}{35,9} \times 100\% \right)$$

$$\%selisih = 27,14\%$$

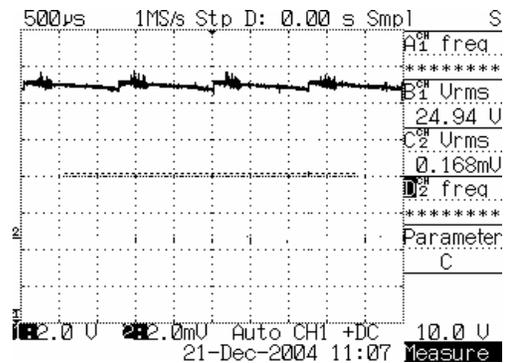
b. untuk arus input $I_L(t_0)$

$$\%selisih = (100\%) - \left(\frac{\text{arus_simulasi}}{\text{arus_perhitungan_ideal}} \times 100\% \right)$$

$$\%selisih = (100\%) - \left(\frac{2,24}{2,88} \times 100\% \right)$$

$$\%selisih = 22,22\%$$

4.2.1 Pengujian Rangkaian Daya



Gambar 4.15 Tampilan osiloskop untuk tegangan keluaran rangkaian daya yang dikendalikan pada frekuensi 666,2 Hz dan duty cycle 66,7 %

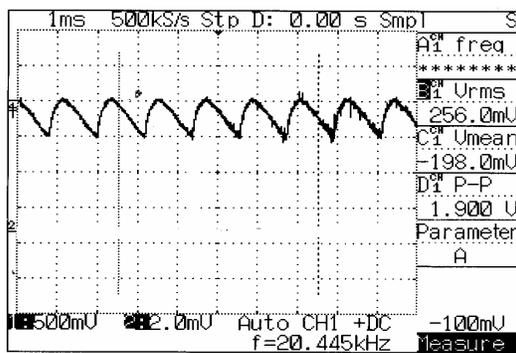
Pada voltmeter yang dipergunakan untuk mengukur tegangan keluaran ditunjukkan nilai sebesar 24,94 volt, dimana nilai ini adalah nilai tegangan optimal dari rangkaian.

Perhitungan selisih antara simulasi dan pengukuran untuk tegangan output pada duty cycle 0,667 dan frekuensi 667 Hz adalah sebagai berikut :

$$\%selisih = (100\%) - \left(\frac{\text{tegangan_pengukuran}}{\text{tegangan_simulasi}} \times 100\% \right)$$

$$\%selisih = (100\%) - \left(\frac{24,9}{25,85} \times 100\% \right)$$

$$\%selisih = 3,6\%$$



Gambar 4.16 Tampilan osiloskop untuk arus rangkaian daya yang dikendalikan pada frekuensi 666,2 Hz dan duty cycle 66,7 %

Sedangkan untuk pengukuran arus, arus diukur pada i_L yang disisipi resistor ukur sebesar $0,1 \Omega$. Pada pengukuran didapatkan nilai 256 mV, sehingga nilai arus ; $256 \text{ mV} / 0,1 \Omega = 2,56 \text{ A}$. Nilai ini berbeda dengan perhitungan $i_L(t_0)$ karena adanya rugi-rugi pada rangkaian.

Perhitungan selisih antara simulasi dan pengukuran untuk tegangan output pada duty cycle 0,667 dan frekuensi 667 Hz adalah sebagai berikut

$$\%selisih = (100\%) - \left(\frac{\text{arus_simulasi}}{\text{arus_pengukuran}} \times 100\% \right)$$

$$\%selisih = (100\%) - \left(\frac{2,24}{2,56} \times 100\% \right)$$

$$\%selisih = 12,5\%$$

Adanya selisih antara simulasi dan pengukuran adalah karena nilai komponen yang tidak presisi dan suhu komponen.

V. KESIMPULAN

1. Nilai optimal untuk kapasitor dan induktor pada frekuensi 666,7 Hz, *duty cycle* 66,7 %, resistansi output 36Ω dan tegangan input 12 volt adalah $1038 \mu\text{F}$ dan $11,9 \text{ mH}$.
2. Frekuensi mempengaruhi ripel tegangan dan arus, dan tidak berpengaruh terhadap besaran tegangan/arus .

VI. DAFTAR PUSTAKA

1. Dallas Semiconductor. 2003b. DC-DC Converter Tutorial. Dallas : www.maxim-ic.com.
2. Mohan, Ned; Undeland, Tore M and Robbins, William P. 1995. Power Electronics : Converters, Applications and Design. Canada : John Wiley & Sons Inc.
3. Rajashekara, Kaushik; Bhat, Asoka KS. 2000. Power Electronics. Boca Raton : CRC Press LLC.

4. Rashid, Muhammad H. 1993. Power Electronics : Circuits, Devices and Applications. New Jersey : Prentice Hall International, Inc.
5. Pressman, Abraham I. 1992. Switching Power Supply Design. Singapore : McGraw - Hill, Inc.
6. Taufik. 1999a. Metoda Penyediaan Sumber Daya DC. Jakarta: www.elektroindonesia.com