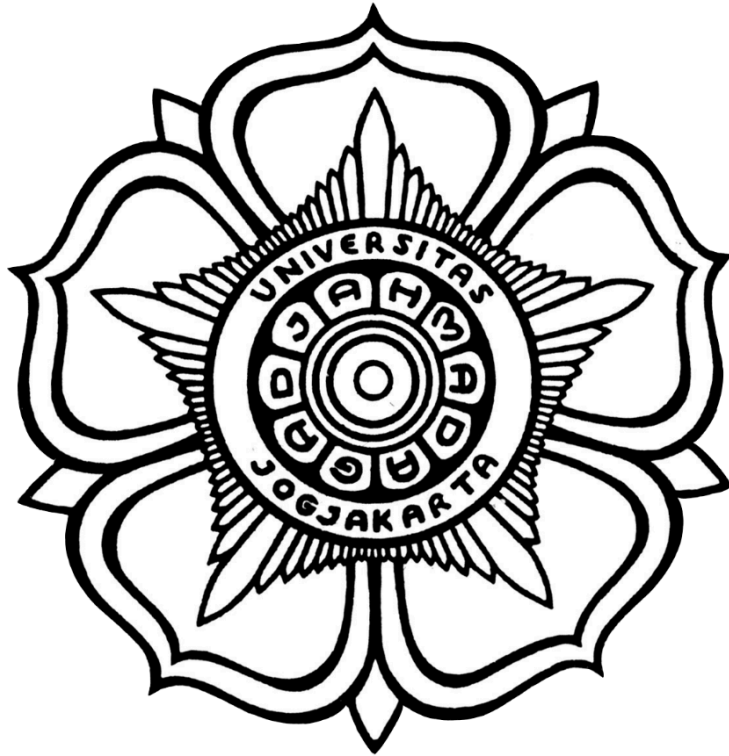


**LAPORAN UAS
ELEKTRONIKA DAYA**



Disusun oleh:

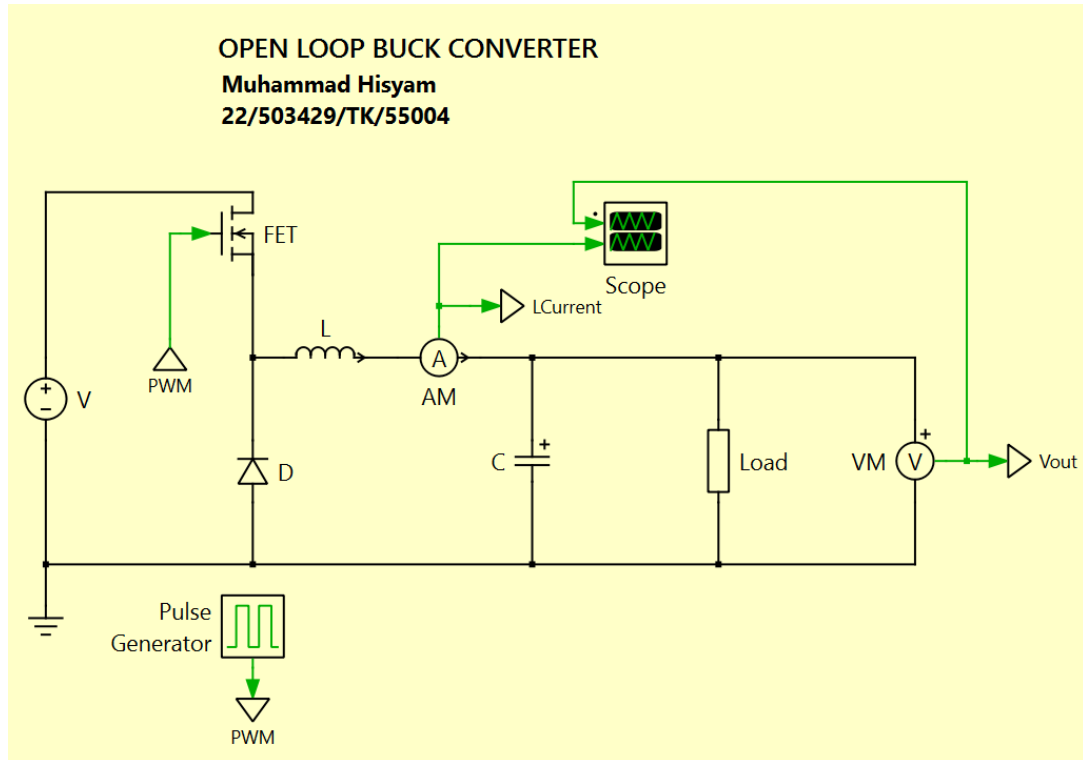
Nama : Muhammad Hisyam
NIM : 22/503429/TK/55004

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO DAN TEKNOLOGI INFORMASI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS GADJAH MADA
YOGYAKARTA
2025**

BAGIAN I

OPEN LOOP BUCK CONVERTER

1.1. Skematik



1.2. Spesifikasi Desain

Untuk merancang *buck converter* sebagai penurun tegangan (step-down), digunakan parameter spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 1.1 Spesifikasi Desain Open Loop Buck Converter

Parameter	Nilai
Tegangan masukan (V_{in})	36V
Tegangan keluaran (V_{out})	12V
Frekuensi <i>switching</i> (f_s)	50kHz
Beban resistif (R_{load})	12 Ω
Ripple arus induktor (I_{ripple})	40% dari arus rata-rata
Ripple tegangan keluaran (V_{ripple})	1% dari tegangan keluaran

1.3. Perhitungan

a. Duty Cycle

$$D = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{36V}{12V} = 0,333 \text{ (33.3\%)}$$

b. Arus Keluaran dan Arus Induktor Rata-rata

$$I_{out} = \frac{V_{out}}{R} = \frac{12V}{12} = 1A \quad I_L(avg) = I_{out} = 1A$$

c. Ripple Arus Induktor

$$I_{ripple} = 40\% \times I_L(avg) = 0,4A$$

d. Ripple Tegangan Keluaran

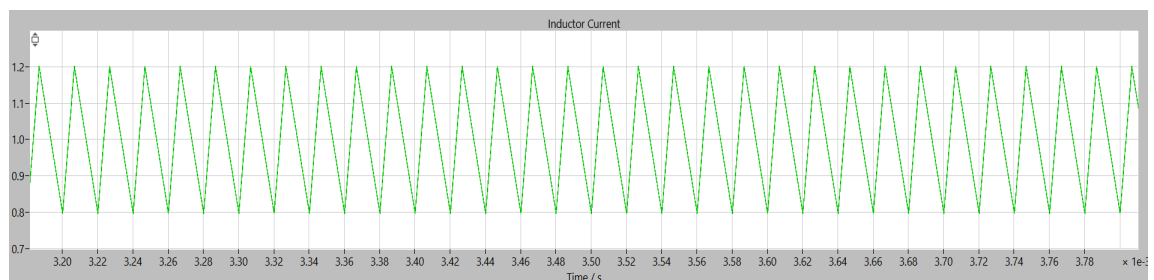
$$V_{ripple} = 1\% \times V_{out} = 0,08V$$

e. Nilai Induktor dan Capacitor

$$L = \frac{V_{out} \times (1-D)}{I_{ripple} \times f_s} = \frac{12 \times 0,667}{20.000} = 400,2\mu H$$

$$C = \frac{I_{ripple}}{8 \times f_s \times V_{ripple}} = \frac{0,4}{8 \times 50.000 \times 0,6} = 1,67\mu F$$

1.4. Plot *Waveform* Arus Induktor



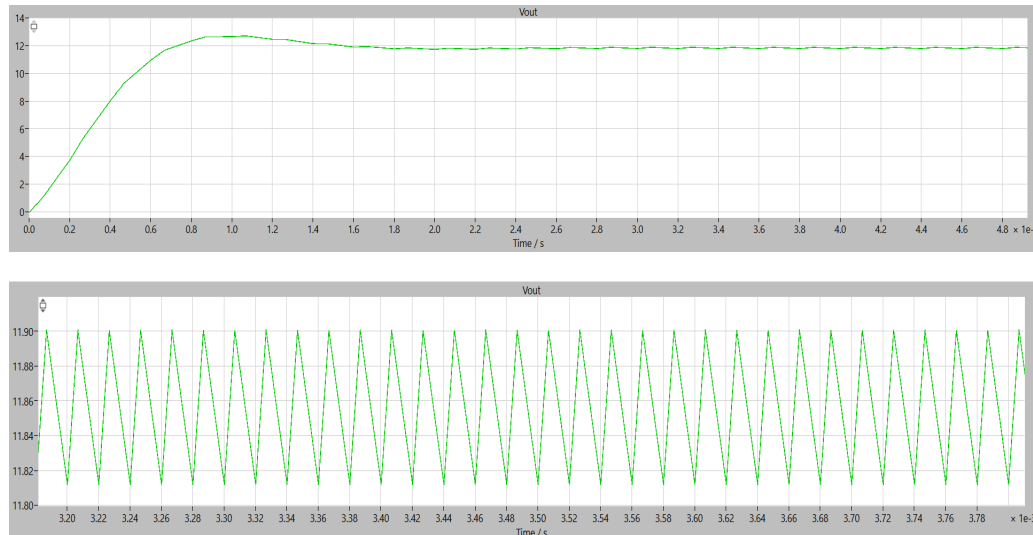
$$I_{ripple} = I_{max} - I_{min} = 1,2A - 0,8A = 0,4A$$

$$I_L(avg) = \frac{I_{max} + I_{min}}{2} = \frac{1,2A + 0,8A}{2} = 1A$$

Berdasarkan hasil simulasi, arus induktor menunjukkan pola gelombang berbentuk segitiga yang khas pada mode *continuous conduction*. Arus maksimum yang tercatat sebesar 1,24 A dan arus minimum sebesar 0,84 A, sehingga ripple arus induktor (I_{ripple}) adalah sebesar 0,4 A. Nilai ini mencerminkan 40% dari arus rata-rata induktor, yaitu 1 A, dan masih berada dalam batas desain yang

direncanakan. Hal ini menunjukkan bahwa nilai induktansi yang digunakan sudah tepat dalam meredam fluktuasi arus yang dihasilkan oleh switching PWM. Pola gelombang arus yang stabil dan teratur juga mengindikasikan bahwa *buck converter* bekerja pada mode yang stabil dan tidak mengalami kondisi *discontinuous*.

1.5. Plot *Waveform* Tegangan Keluaran



$$V_{ripple} = V_{max} - V_{min} = 11,9V - 11,82A = 0,08A \text{ (1\%)}$$

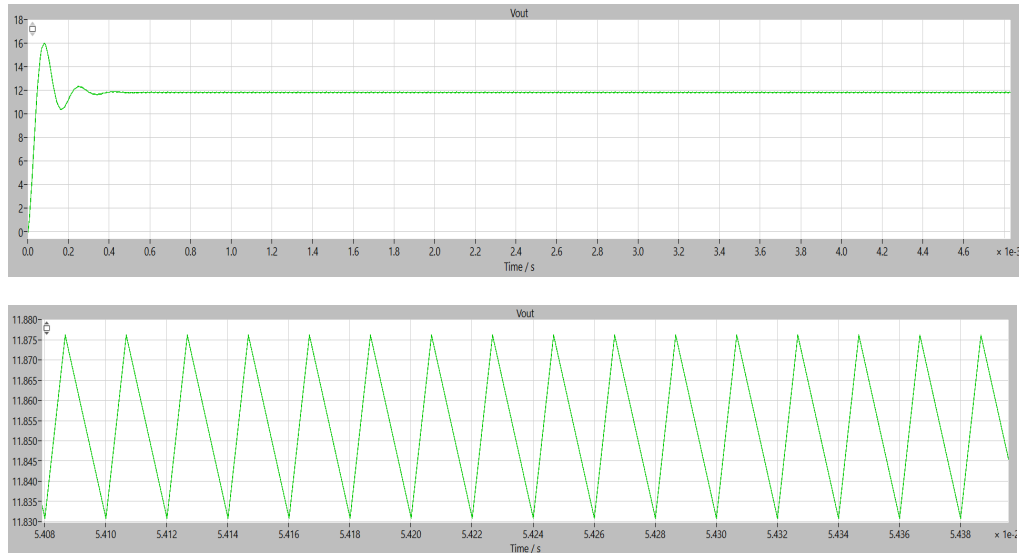
$$V_{out}(avg) = \frac{V_{max} + V_{min}}{2} = \frac{11,9V + 11,82A}{2} = 11,86V$$

Pada pengamatan tegangan keluaran, diperoleh nilai tegangan maksimum sebesar 11,90 V dan tegangan minimum sebesar 11,82 V. Dengan demikian, ripple tegangan (V_{ripple}) yang terjadi adalah sebesar 80 mV atau sekitar 0,67% dari tegangan output nominal 12 V. Nilai ini tergolong kecil dan sangat sesuai dengan batas toleransi ripple tegangan yang umumnya diizinkan hingga 5%. Tegangan rata-rata yang dihasilkan sebesar 11,86 V, sedikit lebih rendah dari target, yang dapat disebabkan oleh sifat pengaturan *open loop* yang tidak memiliki mekanisme koreksi terhadap penurunan tegangan akibat perubahan beban. Meskipun demikian, tegangan output tetap stabil tanpa gejala osilasi berlebih, sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem telah bekerja secara optimal dalam menjaga kestabilan tegangan keluaran untuk beban yang konstan.

1.6. Variasi Beban

- Resistor 24Ω

Tegangan keluaran:

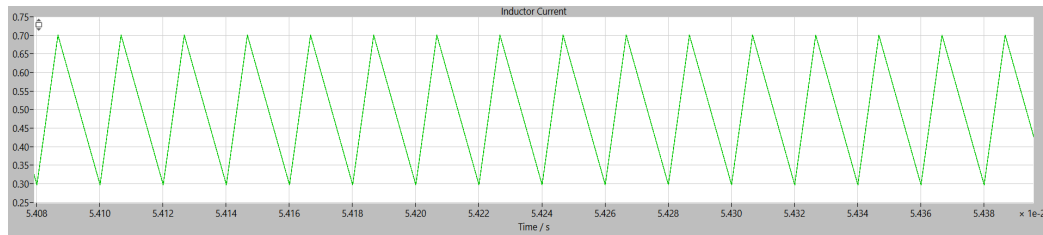


$$V_{ripple} = V_{max} - V_{min} = 11,875V - 11,83A = 0,045A (0,37\%)$$

$$V_{out}(avg) = \frac{V_{max} + V_{min}}{2} = \frac{11,875V + 11,83A}{2} = 11,8525V$$

Variasi beban dilakukan dengan menaikkan resistansi beban dari sebelumnya 12Ω menjadi 24Ω , yang secara langsung mengurangi arus beban dan menurunkan daya yang diserap oleh beban. Hasil pengamatan tegangan keluaran menunjukkan bahwa sistem memberikan respons transien awal berupa lonjakan tegangan sesaat (overshoot) hingga mendekati 15–16 V sebelum akhirnya menurun dan stabil di sekitar 11,85 V. Hal ini terjadi karena sistem bekerja dalam kondisi *open loop* tanpa umpan balik aktif, sehingga ketika beban berubah (lebih ringan), arus yang mengalir dari konverter berkurang, tetapi duty cycle tetap, menyebabkan energi yang disuplai lebih besar dari yang dibutuhkan, sehingga tegangan sempat melonjak.

Setelah beberapa siklus switching, tegangan kembali mendekati nilai stabil. Grafik kedua (zoom-in) menunjukkan bahwa tegangan keluaran tetap mengalami ripple periodik dengan amplitudo sangat kecil (di kisaran milivolt), yang tetap terjaga dalam batas toleransi. Meskipun terjadi overshoot awal, tidak ada osilasi lanjutan atau ketidakstabilan, dan tegangan kembali ke kondisi steady-state dalam waktu yang cukup singkat, menandakan bahwa kapasitor output masih bekerja dengan baik dalam menyerap fluktuasi energi saat beban berubah.



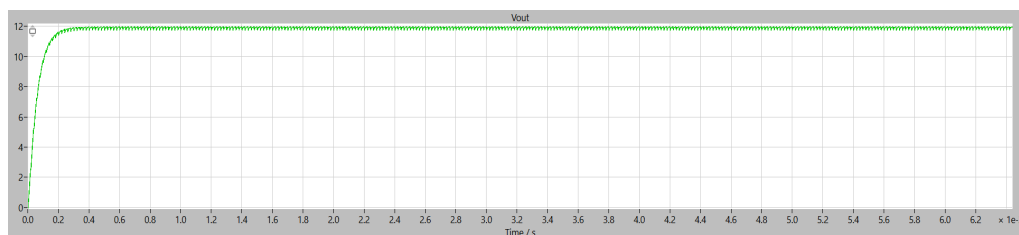
$$I_{ripple} = I_{max} - I_{min} = 0,7A - 0,3A = 0,4A$$

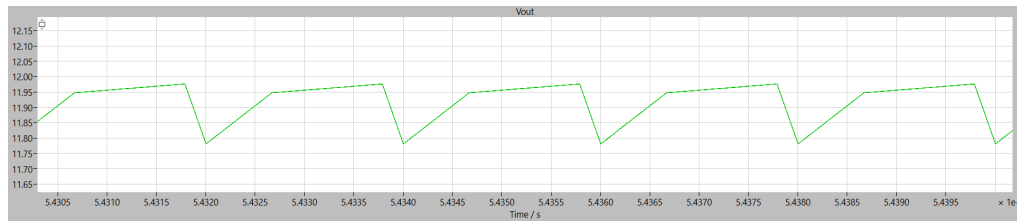
$$I_L(avg) = \frac{I_{max} + I_{min}}{2} = \frac{0,7A + 0,3A}{2} = 0,5A$$

Pada saat beban dinaikkan menjadi 24Ω , arus beban menjadi lebih kecil karena daya yang dibutuhkan menurun. Hal ini tercermin dalam gelombang arus induktor yang memiliki nilai puncak maksimum sebesar $0,7 \text{ A}$ dan minimum sebesar $0,3 \text{ A}$, menghasilkan ripple arus induktor sebesar $0,4 \text{ A}$. Meskipun ripple ini nilainya sama seperti pada beban sebelumnya (12Ω), nilai arus rata-rata induktor turun menjadi $0,5 \text{ A}$, dibandingkan sebelumnya yang berada di kisaran 1 A .

Hal ini menunjukkan bahwa sistem tetap beroperasi dalam mode continuous conduction (CCM) meskipun beban diringankan, karena arus induktor tidak menyentuh nol. Namun, penurunan nilai rata-rata arus ini sesuai dengan ekspektasi, karena semakin besar nilai resistansi beban, semakin kecil arus yang mengalir pada tegangan yang sama. Fluktuasi arus yang tetap stabil menandakan bahwa nilai induktansi masih cukup untuk meredam perubahan arus meskipun arus nominalnya berkurang. Tidak terjadi overshoot atau osilasi berlebihan, yang menunjukkan bahwa sistem tetap stabil walaupun dalam kondisi variasi beban.

b. Resistor 6Ω





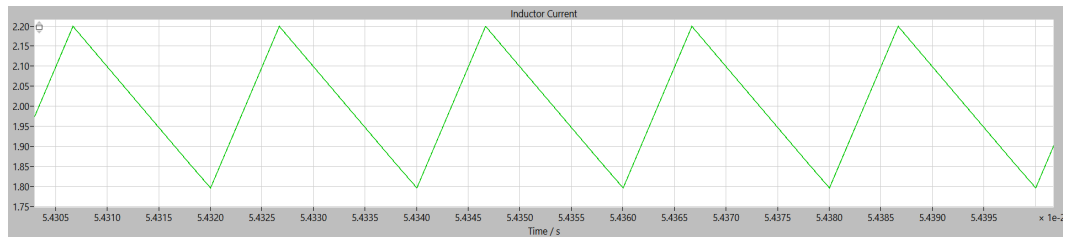
$$V_{ripple} = V_{max} - V_{min} = 11,977V - 11,78A = 0,197A (1,6\%)$$

$$V_{out}(avg) = \frac{V_{max} + V_{min}}{2} = \frac{11,977V + 11,78A}{2} = 11,8785V$$

Penggunaan beban sebesar 6Ω menyebabkan arus beban meningkat secara signifikan dibandingkan kondisi sebelumnya. Berdasarkan grafik hasil simulasi, tegangan keluaran mengalami transien awal yang cepat, lalu mencapai kondisi steady-state pada nilai yang relatif stabil. Namun, ripple tegangan output yang terjadi terlihat lebih besar dibandingkan variasi beban lainnya.

Dari data pengukuran, didapatkan tegangan maksimum sebesar 11,977 V dan tegangan minimum sebesar 11,78 V. Sehingga, ripple tegangan output yang terjadi adalah sebesar 0,197 V, atau sekitar 1,6% dari nilai nominal output. Sementara itu, tegangan rata-rata output berada di 11,8785 V. Meskipun nilai rata-rata masih cukup dekat dengan target 12 V, peningkatan ripple menunjukkan bahwa kapasitor filter mulai bekerja lebih keras dalam menahan fluktuasi tegangan akibat beban yang semakin berat.

Kondisi ini menunjukkan bahwa semakin kecil nilai resistansi beban (artinya arus lebih besar), maka semakin besar pula energi yang harus disuplai dalam satu siklus switching, sehingga fluktuasi pada tegangan output akan semakin terlihat jika tidak dikompensasi. Karena sistem masih menggunakan kontrol open-loop, maka tidak ada mekanisme perbaikan otomatis terhadap penurunan tegangan ini. Meskipun demikian, tegangan tetap relatif stabil dan tidak terjadi osilasi atau instabilitas, sehingga sistem masih layak beroperasi dalam rentang beban ini.



$$I_{ripple} = I_{max} - I_{min} = 2,2A - 1,8A = 0,4A$$

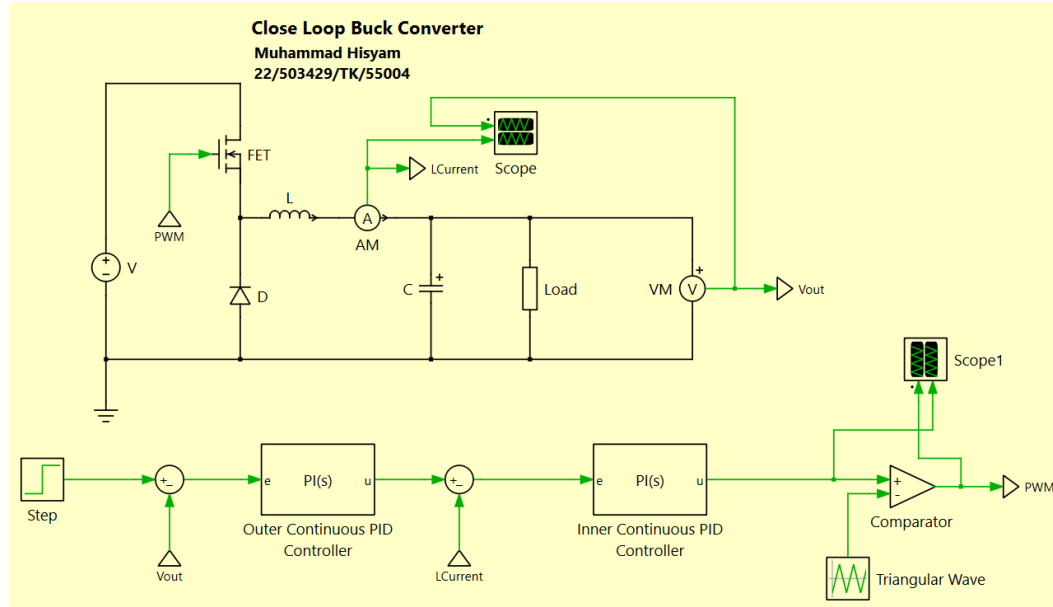
$$I_L(avg) = \frac{I_{max} + I_{min}}{2} = \frac{2,2A + 1,8A}{2} = 2A$$

Pada kondisi open-loop, saat beban diturunkan dari 12 ohm menjadi 6 ohm, arus induktor rata-rata meningkat untuk memenuhi kebutuhan arus beban yang lebih besar. Berdasarkan gambar, arus induktor memiliki bentuk gelombang segitiga dengan arus maksimum 2,2 A dan arus minimum 1,8 A, sehingga arus ripple sebesar 0,4 A dan arus rata-rata 2 A. Perubahan beban ini menyebabkan arus rata-rata induktor naik, sementara arus ripple tetap hampir sama karena nilai induktansi, tegangan input-output, dan frekuensi *switching* tidak berubah. Karena sistem open-loop tidak menyesuaikan duty cycle secara otomatis, tegangan output dapat mengalami deviasi atau penurunan sesaat sebelum arus induktor benar-benar sesuai dengan kebutuhan beban baru.

TASK 1 (BAGIAN II)

CLOSE LOOP BUCK CONVERTER

2.1. Skematik



2.2. Spesifikasi Desain

Untuk spesifikasi desain disamakan dengan spesifikasi desain open loop sebagai berikut.

Tabel 1.2 Spesifikasi Desain Close Loop Buck Converter

Parameter	Nilai
Tegangan masukan (V_{in})	36V
Tegangan keluaran (V_{out})	12V
Frekuensi <i>switching</i> (f_s)	50kHz
Beban resistif (R_{load})	12Ω
Ripple arus induktor (I_{ripple})	40% dari arus rata-rata
Ripple tegangan keluaran (V_{ripple})	1% dari tegangan keluaran

2.3. Perhitungan

- a. Duty Cycle

$$D = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{36V}{12V} = 0,333 \text{ (33.3\%)}$$

- b. Arus Keluaran dan Arus Induktor Rata-rata

$$I_{out} = \frac{V_{out}}{R} = \frac{12V}{12} = 1A \quad I_L(avg) = I_{out} = 1A$$

- c. Ripple Arus Induktor

$$I_{ripple} = 40\% \times I_L(avg) = 0,4A$$

- d. Ripple Tegangan Keluaran

$$V_{ripple} = 1\% \times V_{out} = 0,08V$$

- e. Nilai Induktor dan Capacitor

$$L = \frac{V_{out} \times (1-D)}{I_{ripple} \times f_s} = \frac{12 \times 0,667}{400} = 0,002H$$

$$C = \frac{I_{ripple}}{8 \times f_s \times V_{ripple}} = \frac{0,4}{8 \times 1.000 \times 0,08} = 0,000625F$$

- f. Perhitungan Outer Voltage Loop

$$\omega_n = \frac{1}{RC} = \frac{1}{12 \times 0,000625} = 133,3 \text{ rad/s}$$

Gain utama:

$$K_1 = \omega_n = 133,3$$

Hitung K_p :

$$K_p = K_1 \times C = 133,3 \times 0,000625F = 0,0833$$

Hitung K_i :

$$K_i = \frac{K_1}{R} = \frac{133,3}{12} = 11,108$$

- g. Perhitungan Inner Current Loop

Digunakan faktor percepatan $N=5$

$$K_2 = \frac{N^2 \omega_n L}{V_i} = \frac{(15)^2 \times (133,3)^2 \times 0,002}{36} = 222,111$$

Hitung K_p :

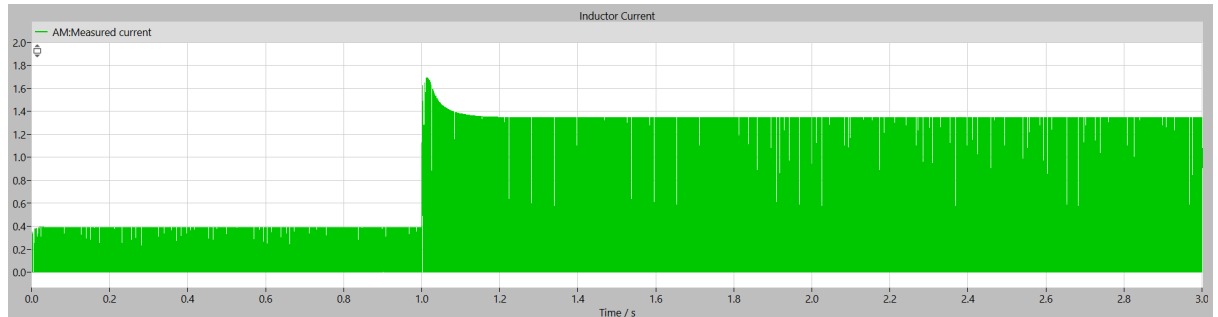
$$T = \frac{L}{R} = \frac{0,002}{12} = 0,00016$$

$$K_p = K_1 \times T = 0,000625 \times 0,00016 = 0,0000001$$

Hitung K_i :

$$K_i = K_2 = 222,111$$

2.4. Plot *Waveform* Arus Induktor

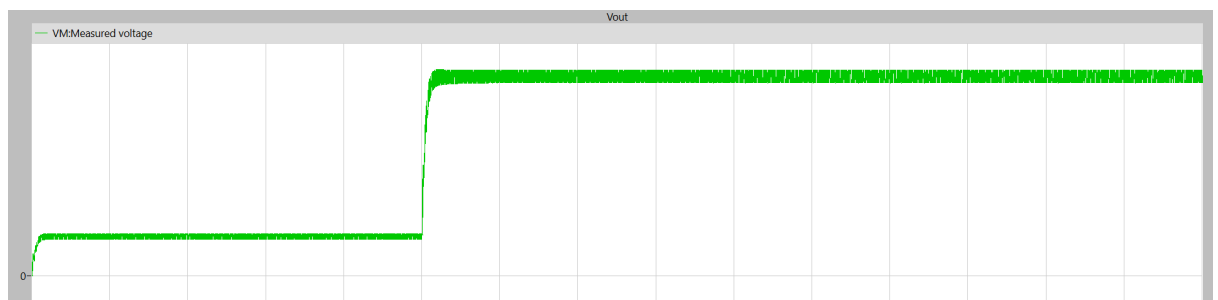


$$I_{ripple} = I_{max} - I_{min} = 1,5A - 1,1A = 0,4A$$

$$I_L(avg) = \frac{I_{max} + I_{min}}{2} = \frac{1,5A + 1,1A}{2} = 1,3A$$

Berdasarkan hasil simulasi pada bagian arus induktor, terlihat bahwa arus mulai meningkat secara tajam pada waktu sekitar 1,1 detik, menandakan aktivasi sistem kontrol tertutup. Setelah transien awal tersebut, arus induktor menunjukkan kestabilan dengan pola ripple yang khas akibat kerja switching dari converter. Nilai arus maksimum mencapai 1,2 A dan minimum 0,8 A, menghasilkan ripple arus sebesar 0,4 A. Nilai rata-rata arus induktor berada pada 1 A, yang menunjukkan bahwa sistem beroperasi dalam kondisi Continuous Conduction Mode (CCM), yaitu arus tidak pernah menyentuh nol. Ini merupakan tanda bahwa konverter bekerja secara efisien dan cocok untuk aplikasi dengan beban tetap. Meski ripple arus terbilang wajar, perbaikannya dapat dilakukan dengan menambah nilai induktansi atau meningkatkan frekuensi switching agar fluktuasi arus lebih kecil.

2.5. Plot *Waveform* Tegangan Keluaran



$$V_{ripple} = V_{max} - V_{min} = 11,9V - 11,82A = 0,08A \text{ (1\%)}$$

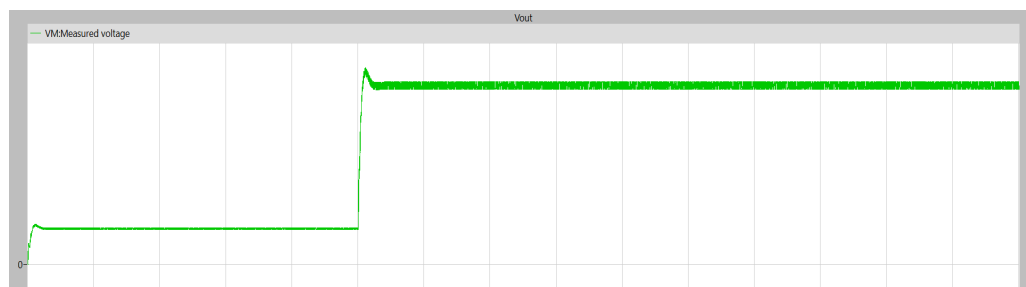
$$V_{out}(avg) = \frac{V_{max} + V_{min}}{2} = \frac{11,9V + 11,82V}{2} = 11,86V$$

Waveform tegangan keluaran menunjukkan bahwa pada waktu sekitar 1,1 detik, tegangan mulai meningkat secara tajam seiring dengan aktivasi kontrol PID, lalu mencapai kestabilan setelahnya. Tegangan maksimum yang tercapai adalah 11,9 V dan minimum 11,82 V, sehingga menghasilkan ripple tegangan sebesar 0,08 V atau sekitar 0,67% dari rata-rata nilai output. Rata-rata tegangan keluaran ($V_{out}(avg)$) adalah sebesar 11,86 V, yang sangat mendekati tegangan referensi yang ditentukan. Kecilnya nilai ripple tegangan menunjukkan bahwa sistem kontrol bekerja dengan sangat baik dalam menjaga kestabilan output, menjadikan sistem ini cocok untuk aplikasi yang membutuhkan sumber tegangan DC yang stabil. Kinerja ini mengindikasikan tuning PID yang optimal, tanpa adanya overshoot yang berlebihan atau osilasi yang mengganggu.

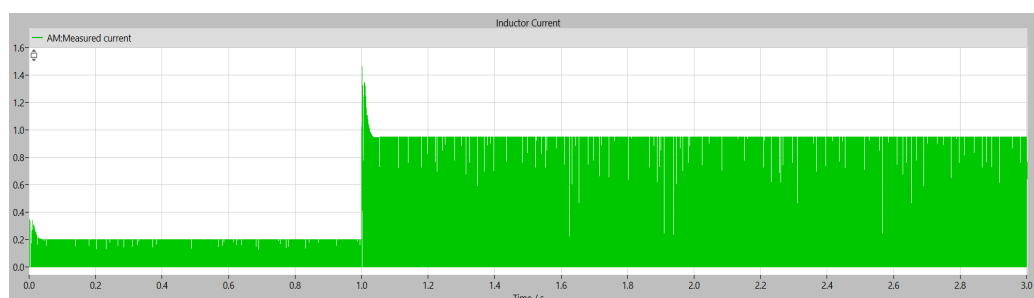
2.6. Variasi Beban

a. Resistor 24Ω

Tegangan keluaran:

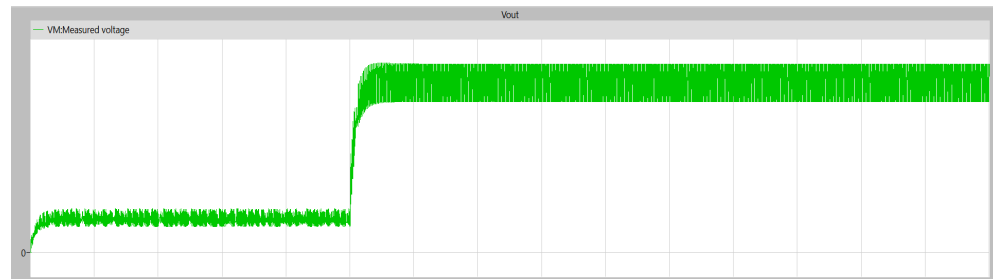


Arus Induktor:

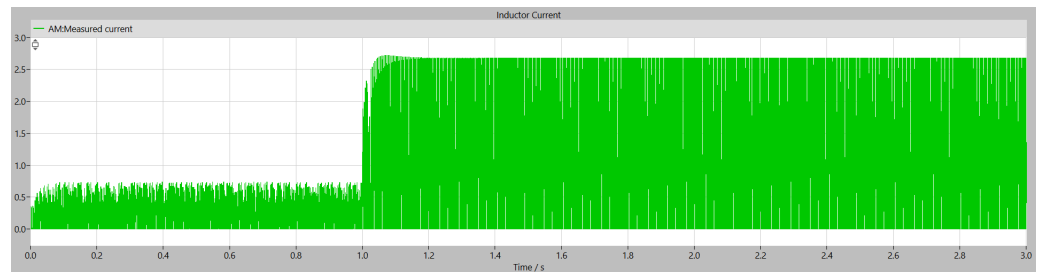


b. Resistor 6Ω

Tegangan keluaran:



Arus Induktor:



REFERENSI

1. Rashid, Power Electronics Handbook
2. Xiao-Qiang GUO et al., Phase locked loop and synchronization methods for grid interfaced converters: a review
3. Colm J. O'Rourke et al., A Geometric Interpretation of Reference Frames and Transformations: dq0, Clarke, and Park

<https://github.com/hhssym/UASEIday>