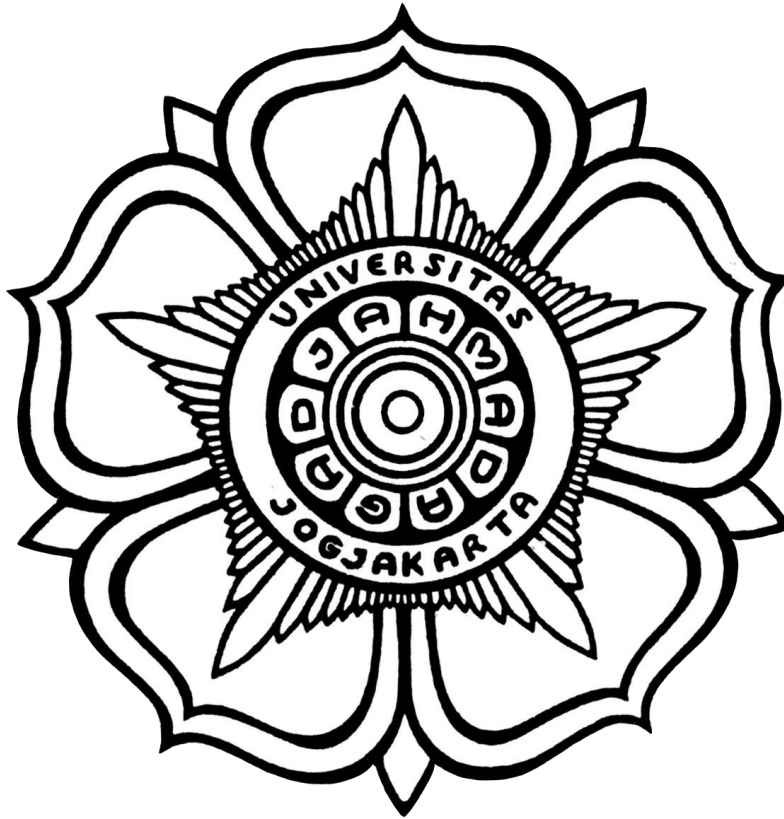


**UJIAN AKHIR SEMESTER
ELEKTRONIKA DAYA**



Disusun oleh :

Nama : Henry Gamaliel Batubara

NIM : 22/505757/TK/55368

Kelas : Elektronika Daya – A

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO DAN TEKNOLOGI INFORMASI
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS GADJAH MADA
YOGYAKARTA
2025**

Task 1

You are assigned to design a buck converter for step-down voltage conversion. Follow the detailed instructions below:

1. Determine the key specifications of your buck converter. At a minimum, specify the following:
 - Input voltage
 - Desired output voltage
 - Switching frequency
 - Output power
 - Permissible inductor current ripple
 - Permissible output voltage ripple
2. Calculate and determine suitable values for the inductor (L) and capacitor (C) to meet your design specifications.
3. Develop and simulate the open-loop operation of the buck converter without feedback control.
4. Design a cascaded control system for voltage regulation of the buck converter.
 - Include a complete block diagram of your control architecture.
 - Provide detailed calculations or tuning procedures for determining the control gains (e.g., K_p and K_i).
5. Plot the inductor current waveform and verify that the ripple meets your design criteria.
6. Plot the output voltage waveform and verify that the ripple is within the allowable range.
7. Simulate a sudden load change and analyze the converter's dynamic response. Demonstrate how the controller maintains stability and restores regulation.
8. Simulate the system response to a step change in the voltage reference. Show how effectively the controller tracks the new reference value.

Jawaban

1. Spesifikasi dari Buck Converter

- $V_{in} = 36 \text{ V}$
- $V_{out} = 18 \text{ V}$
- $f_{sw} = 100 \text{ kHz}$
- $P_{out} = 60 \text{ W}$
- $\Delta i_L = 20 \%$
- $\Delta v_o = \pm 2 \%$

2. Kalkulasi untuk Induktor (L) dan Kapasitor (C) .

a. Induktor (L)

$$L = \frac{V_{out}(1 - D)}{\Delta I_L(f_{sw})}$$

$$D = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{18 \text{ V}}{36 \text{ V}} = \frac{1}{2} \text{ dan } \Delta I_L = \left(\frac{P_{out}}{V_{out}}\right)(\Delta i_L) = \frac{60}{18}(0.2) = 0.6 \text{ A}$$

$$L = \frac{V_{out}(1 - D)}{\Delta I_L(f_{sw})} = \frac{18(1 - 0.5)}{0.6(100 \text{ kHz})} = 150 \text{ } \mu\text{H}$$

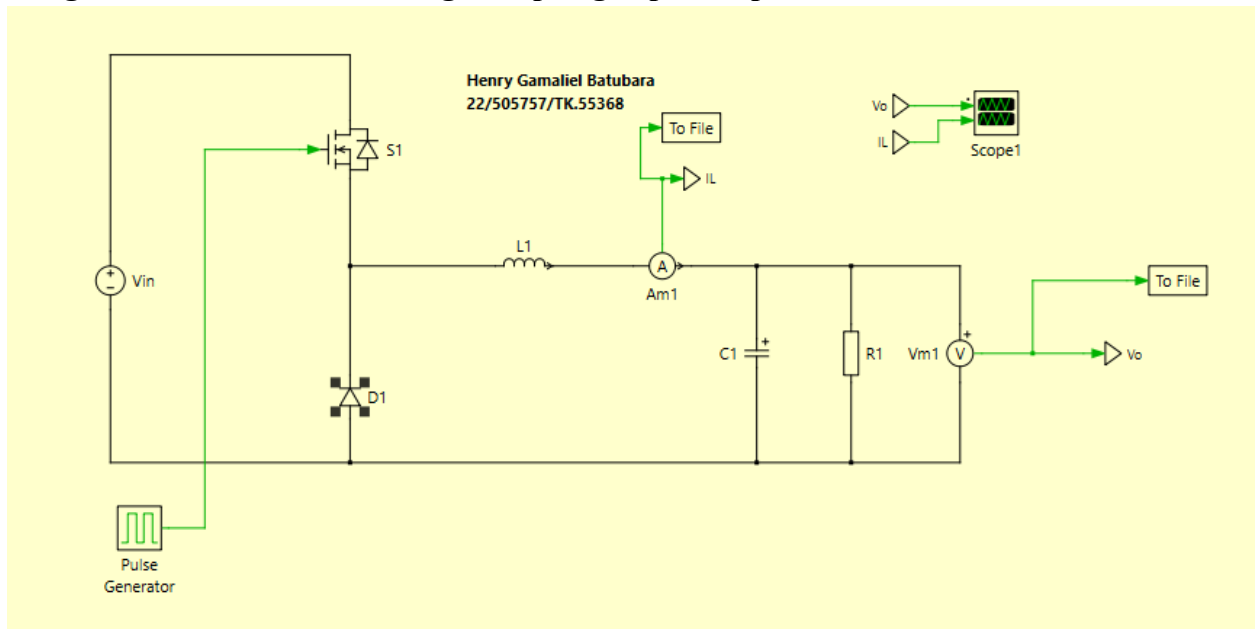
b. Kapasitor (C)

$$C = \frac{\Delta I_L}{8(f_{sw})\Delta V_o}$$

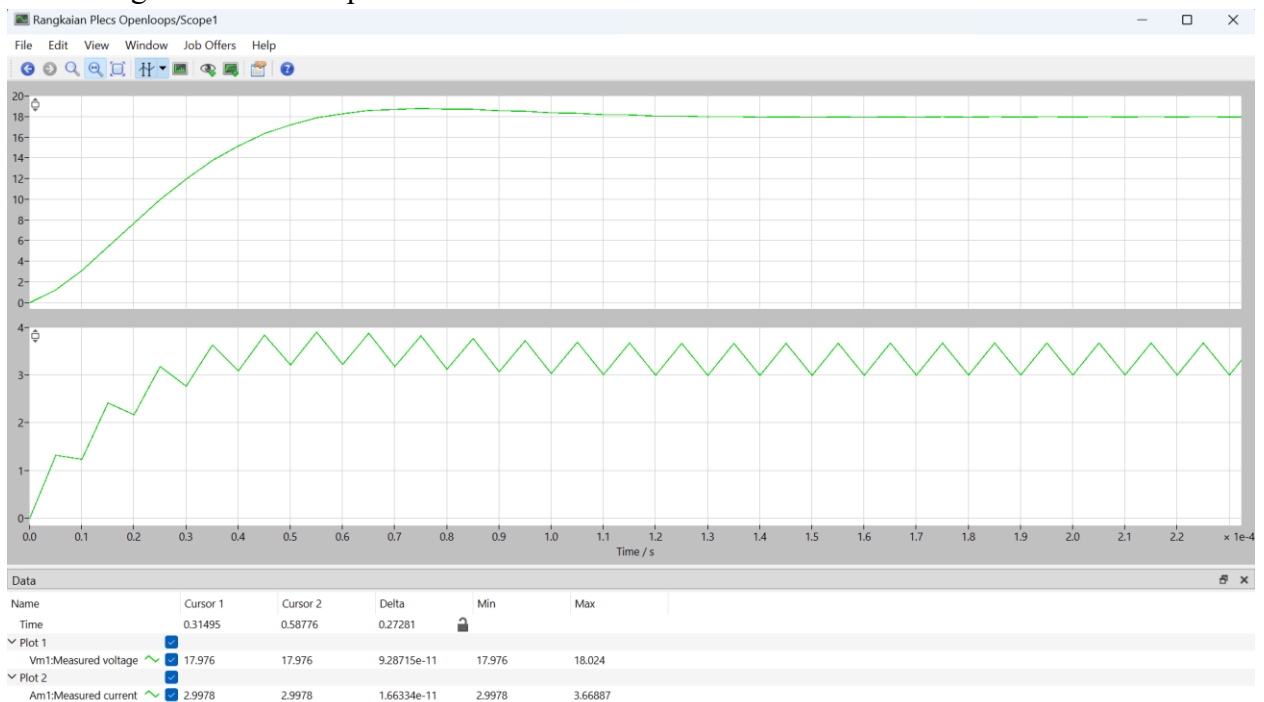
$$D = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{18V}{36V} = \frac{1}{2} \text{ dan } \Delta V_o = (V_{out})(\Delta v_o) = 18(0.02) = 0.36V$$

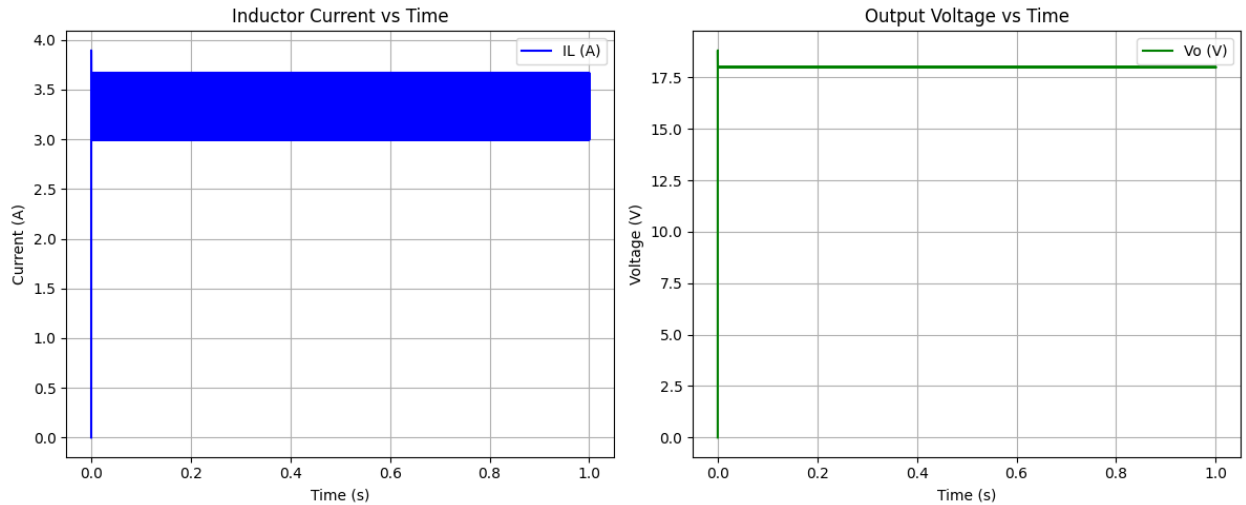
$$C = \frac{\Delta I_L}{8(f_{sw})\Delta V_o} = \frac{0.6}{8(100kHz)(0.36)} = 2.1 \mu F$$

3. Rangkaian Buck Converter dengan Topologi Open-loop



Hasil rangkaian dan code plot :





Rangkain dinyatakan berhasil karena bisa menghasilkan tegangan yang sesuai dengan ketentuan (18 V), meskipun terdapat riak/ripple.

4. Desain Parameter untuk Kontrol Buck Converter topologi Close-loops

a. Outer-loop (Kontrol Tegangan)

Frekuensi outer-loop diatur lebih lambat dari pada inner-loop, tetapi tetap jauh dibawah frekuensi switch. Hal itu dilakukan untuk mencegah aliasing (gangguan), Maka :

- Frekuensi outer-loop :

$$f_{outerloop} = \frac{f_{sw}}{20} = 5000 \text{ Hz}$$

- $f_{outerPI} = \frac{f_{outerloop}}{10} = 500 \text{ Hz}$
- Gain PI

$$K_p = 2\pi(f_{outerloop})(f_{outerPI})$$

$$K_I = 2\pi(f_{outerPI})(K_p)$$

b. Inner-loop (Kontrol Arus)

- Frekuensi inner-loop (Kontrol Arus)

Inner-loop diatur dengan respon lebih cepat dari outer-loop. Hal itu dilakukan untuk mengikuti referensi tegangan secara cepat

$$f_{innerloop} = \frac{f_{sw}}{200} = 500 \text{ Hz}$$

- $f_{innerPI} = \frac{f_{innerloop}}{10} = 50 \text{ Hz}$
- $f_{innerPD} = 10(f_{innerPI}) = 5000 \text{ Hz}$
- Gain P

$$K_p = 2\pi(f_{innerloop})(L)$$

c. Gain dibuat ke dalam parameter

UAS_Elektronika-Daya > Task 1 > Closures > C parameter_closures.m

```

1  Vin = 36;
2  Vo = 18;
3  D = Vo/Vin;
4  fsw = 100e3;
5  Rload = Vo^2/60; % Pout = 60W → R = V^2/P = 5.4Ω
6  R_change = 10;
7
8  IL = Vo/Rload;
9  Iout_ripple = 0.2 * IL;
10 Vout_ripple = 0.02 * Vo;
11
12 L = (Vo * (1 - D)) / (Iout_ripple * fsw); % 1.35e-4
13 C = (Iout_ripple) / (8 * fsw * Vout_ripple); % 2.31e-6
14
15
16 % OUTER LOOP (Voltage)
17
18 outer_Fbp = fsw / 20; % Bandwidth Proportional Voltage (5 kHz)
19 outer_Fbi = outer_Fbp / 10; % Bandwidth Integral Voltage (500 Hz)

```

```

% OUTER LOOP (Voltage)

outer_Fbp = fsw / 20; % Bandwidth Proportional Voltage (5 kHz)
outer_Fbi = outer_Fbp / 10; % Bandwidth Integral Voltage (500 Hz)

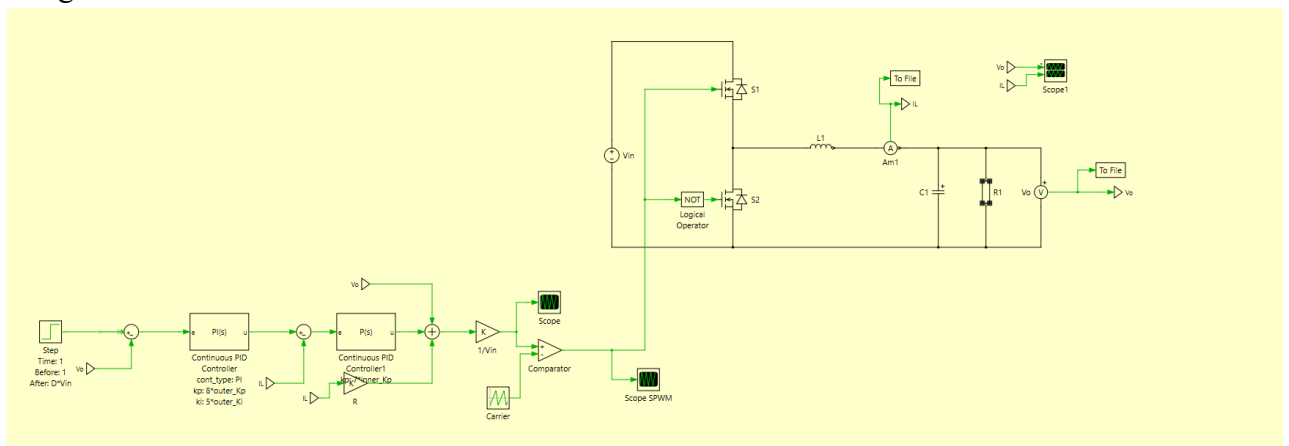
outer_Kp = 2 * pi * outer_Fbp * C; % Kp_v = 2πfC
outer_Ki = 2 * pi * outer_Fbi * outer_Kp; % Ki_v = 2πf * Kp

% INNER LOOP (Current)

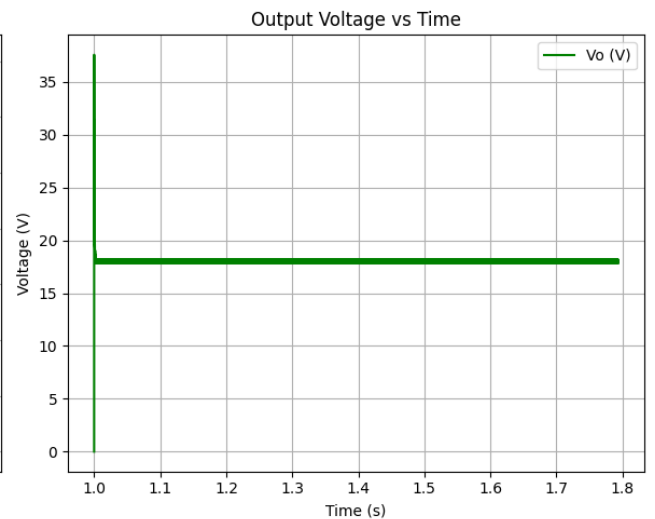
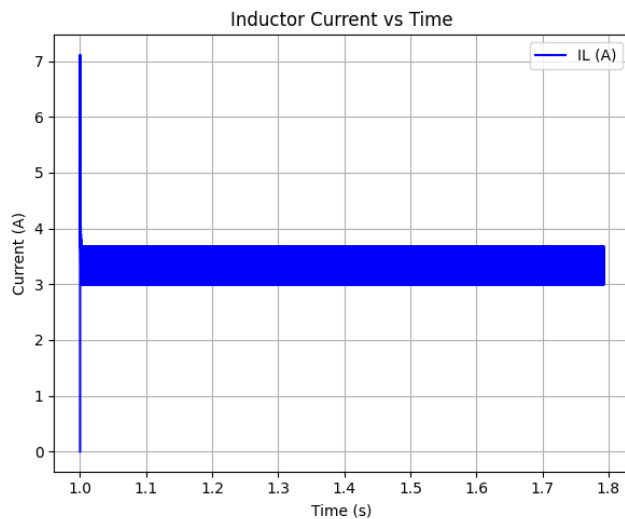
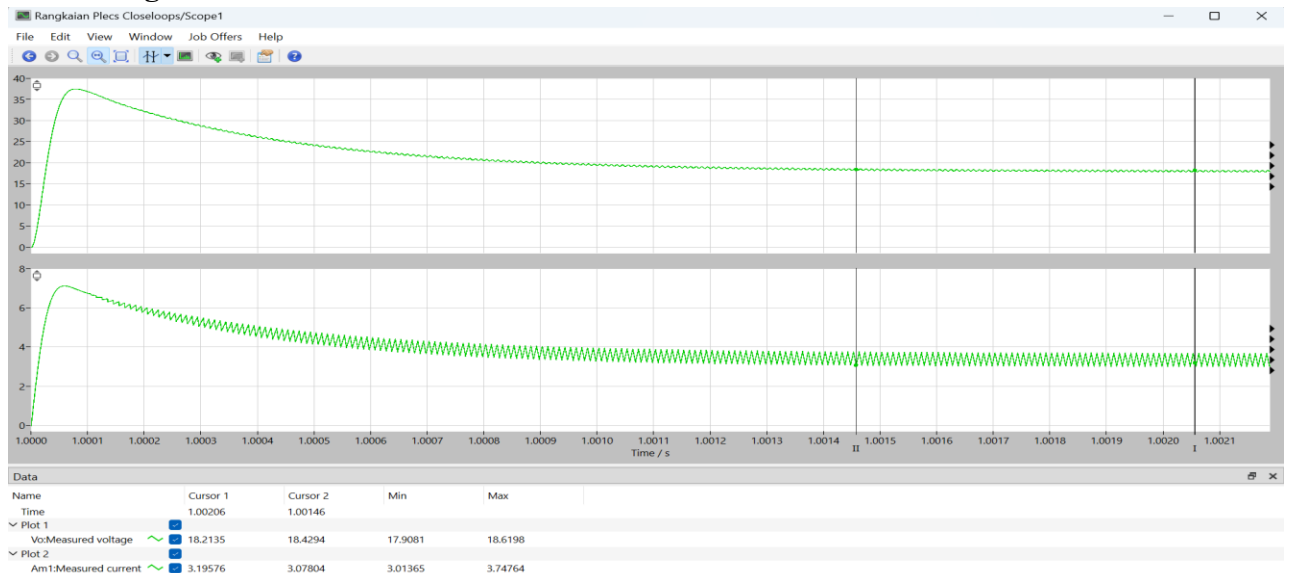
inner_Fbp = fsw / 200; % Bandwidth Proportional Current (500 Hz)
inner_Kp = 2 * pi * inner_Fbp * L; % Kp_i = 2πfL

```

Rangkaian



5. Hasil Rangkaian dan Code Simulasi :



Berdasarkan hasil yang didapat, nilai ripple tegangan dan nilai arus minimum yang didapat berdasarkan selisih nilai maksimum dan minimum adalah sekitar 0.7 A dan 0.4 V. Dari hasil tersebut, diambil sebuah Kesimpulan yaitu percobaan dan perhitungan dikatakan berhasil karena memenuhi batas dan kriteria yang ada dengan error sedikit

6. Plot voltase telah dibahas pada nomor 5

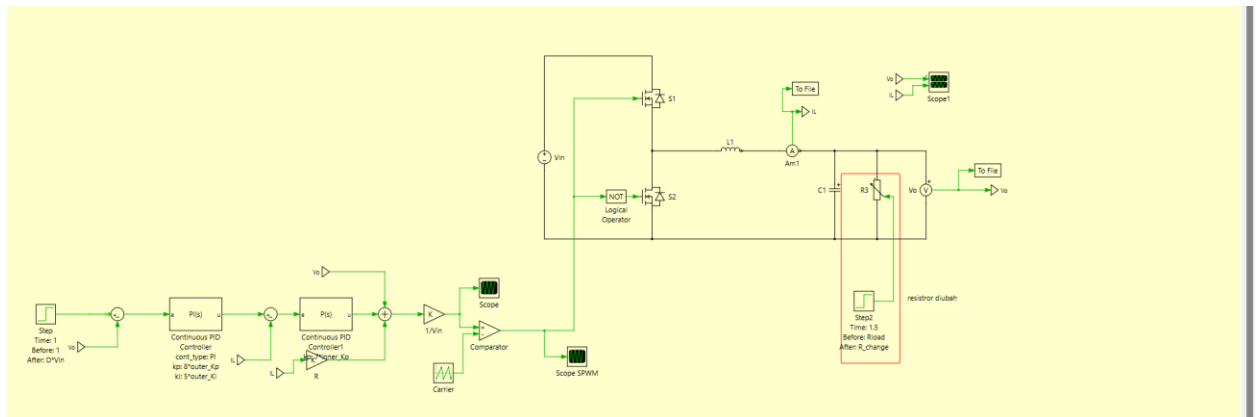
7. Simulasi saat Resistor Diubah

Simulasi digunakan dengan memakai komponen variabel resitor, dimana resistor akan diubah menjadi 10Ω pada detik yang 1.2. Modelnya adalah sebagai berikut

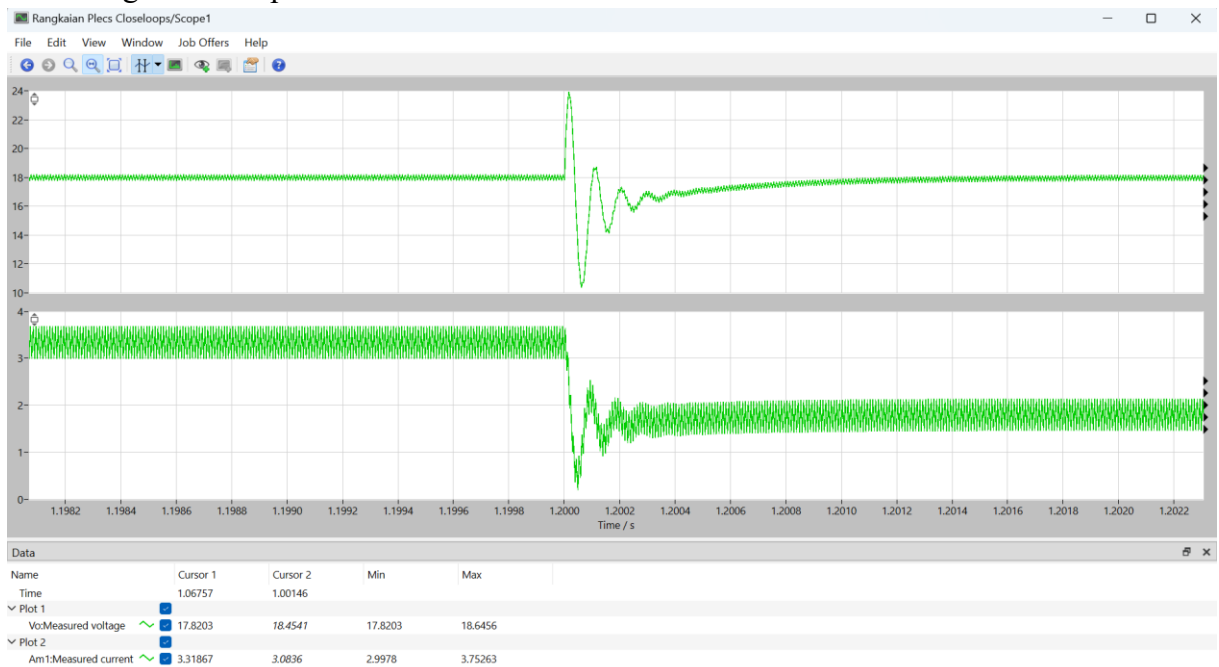
$$R_3 = R_{load} = 5.4 \, \Omega \quad t < 1.2$$

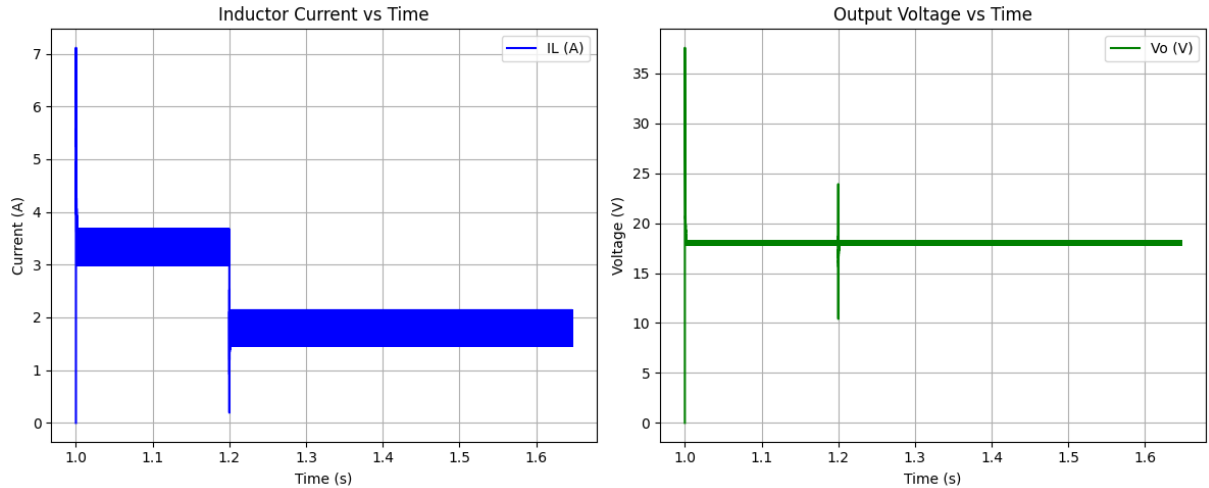
$$R_3 = R_{change} = 10 \, \Omega \quad t \geq 1.2$$

Rangkaian :



Hasil rangkaian dan plot simulasi :





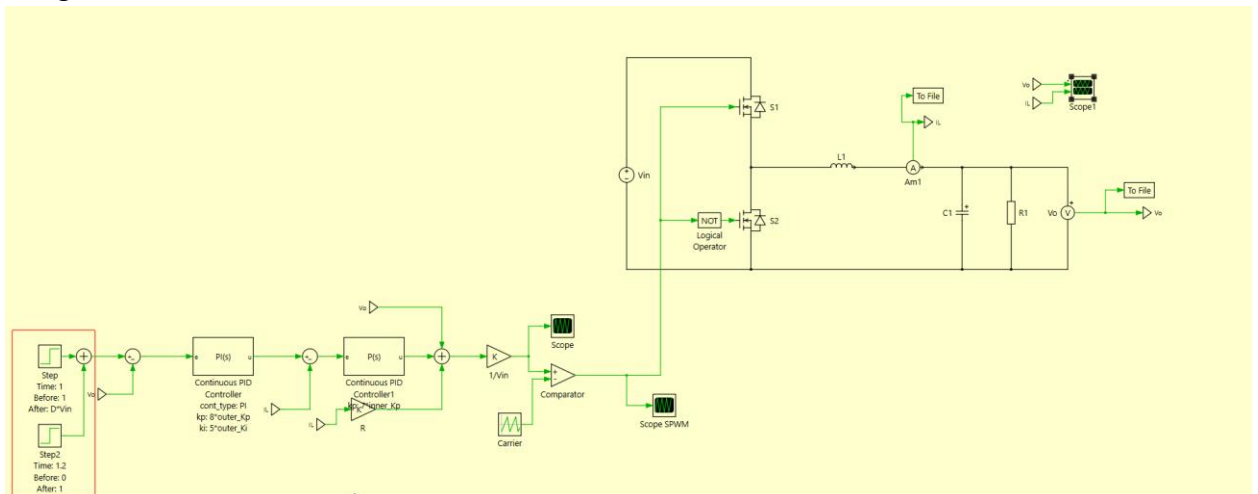
Hasil menunjukkan hasil yang sama dengan nomor 5 dan 6, dimana rangkaian akan mempertahankan ripple tegangan dan ripple arus agar sesuai dengan ketentuan dan mempertahankan tegangan agar selalu 18V, saat resistansi diubah pada detik yang 1.2.

8. Simulasi saat V_{ref} diubah

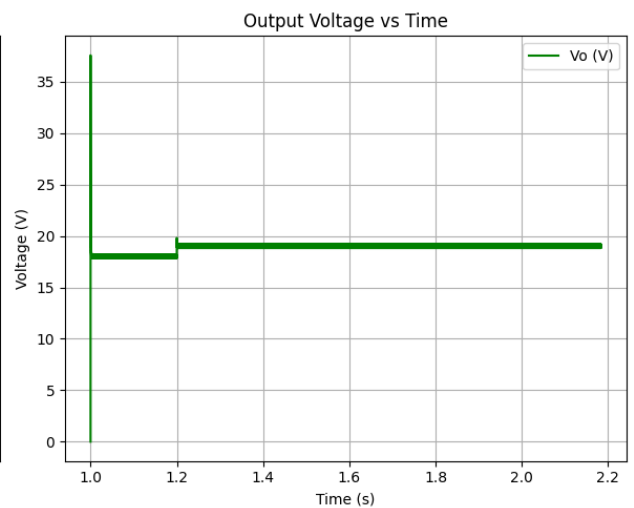
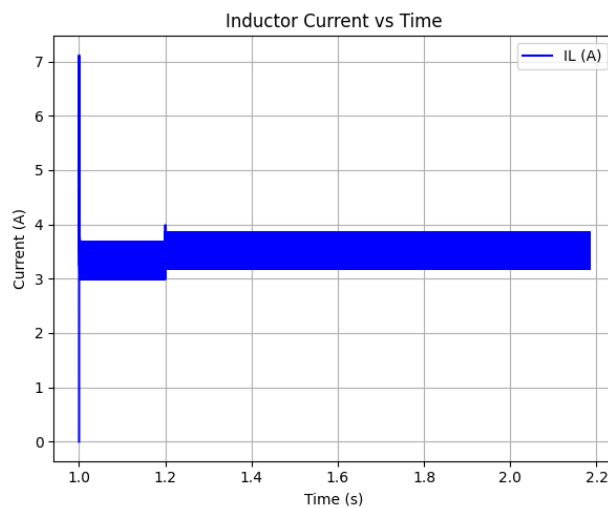
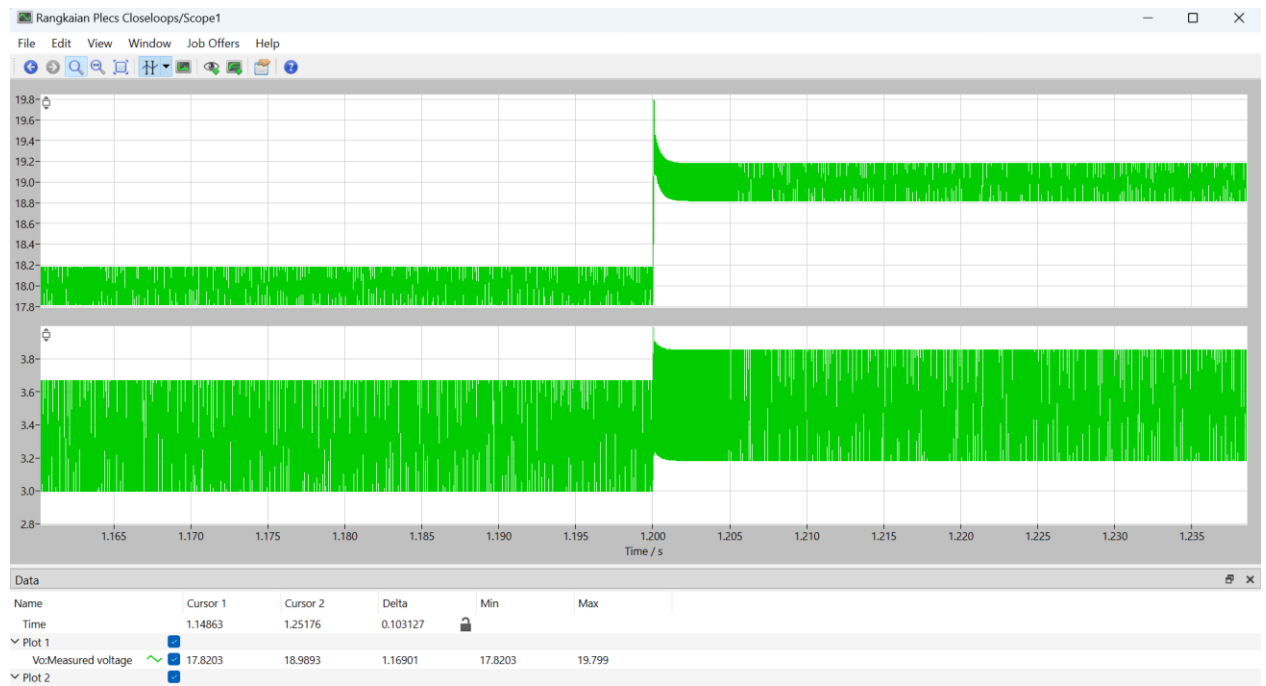
V_{ref} diubah dengan cara menambahkan variable step time lainnya, dimana saat detik yang 1.2, output dari step time 1 ($D \cdot V_{in}$) akan bertambah. Modelnya adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned} V_{ref} &= 0 & t < 1 \\ V_{ref} &= D(V_{in}) & 1 \leq t < 1.2 \\ V_{ref} &= D(V_{in}) + 1 & t \geq 1.2 \end{aligned}$$

Rangkaian



Hasil rangkaian dan plot simulasi :



Vref sangat mempengaruhi kontrol, dimana saat v_{ref} bertambah atau diubah maka tegangan output dan arus output akan ikut berubah. Akan tetapi, kontrol akan mempertahankan sistem agar menghasilkan hasil yang sesuai kriteria

Task 2

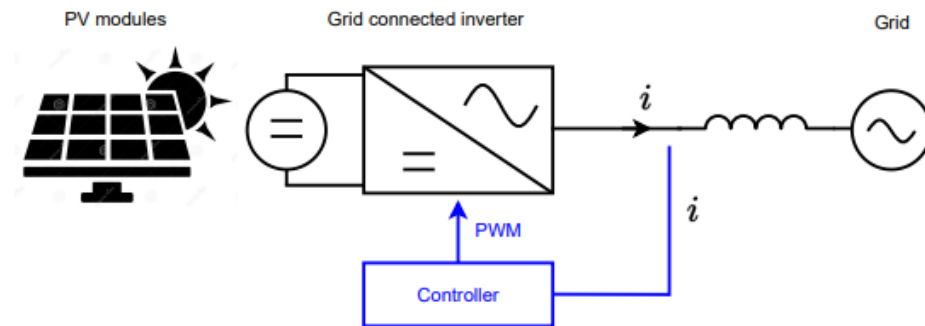


Figure 1: PV grid connected inverter

You are assigned to design a PV grid-connected inverter system as illustrated in Figure 1. The task includes determining the inverter and PV module specifications, selecting system components, and designing a control strategy to regulate both active and reactive power injected into the grid. Follow the detailed instructions below:

1. Define the configuration of the photovoltaic (PV) array. Specify key parameters such as module voltage, current, and how modules are arranged (series/parallel).
2. Determine the PV module configuration and its rating such as voltage and current.
3. Determine the specifications of the inverter. At a minimum, include:
 - DC-link voltage
 - AC output voltage
 - Power rating
 - Semiconductor devices used
 - Modulation strategy

Justify your choices with technical reasoning and/or references.

4. Calculate the value of the inductor (L) connecting the inverter to the grid (three-phase voltage of 380 V. Support your answer with a phasor (vector) analysis diagram showing voltage and current relationships.
5. Design a control system capable of regulating both active and reactive power.
 - Present your control design using block diagrams.
 - Explain the method used to determine controller gain parameters.
6. Simulate and plot inverter currents in the dq -reference frame.
 - Compare reference and measured currents.
 - Demonstrate three operating conditions:

Jawaban soal (1 dan 2) :

- a. PV modul yang saya pakai adalah SunPower SPR-X21-345, dimana spesifikasi modulnya seperti berikut :
 - Daya maksimum (P_{\max}) : 345 W

- Tegangan saat daya maksimum (V_{mp}) : 57.3V
 - Arus saat daya maksimum (I_{mp}) : 6.02 A
 - Tegangan open-circuit (V_{oc}) : 68.2 V
 - Arus short-circuit (I_{sc}) : 6.39 A
- b. Target system yang digunakan merupakan wilayah komersial kecil, dimana daya yang dibutuhkan adalah sekitaran 10 kW. Tegangan grid yang ada pada wilayah komersial kecil tersebut adalah 380VAC (3-fasa). Maka, untuk mencari Tegangan DC-link (V_{dc}) yang sesuai adalah sebagai berikut :

$$V_{DC} \geq \frac{V_{ac(line\ to\ line)}(\sqrt{2})}{MI}$$

- $V_{ac(line\ to\ line)}$: 380 VAC
- MI : 0.9 (Nilai optimal dari SPWM)

Maka,

$$V_{DC} \geq \frac{V_{ac(line\ to\ line)}(\sqrt{2})}{MI} = \frac{380(\sqrt{2})}{0.9} \approx 600\ Vdc$$

Berdasarkan perhitungan, tegangan minimum DC-Link harus lebih besar atau sama dengan 600 Vdc. Oleh karena itu, saya akan memilih tegangan DC-Link yang sesuai adalah 800 V. Hal itu dikarenakan untuk menjaga sistem dari rugi arus dan menjaga stabilitas.

c. Susunan Array PV

- Jumlah Modul per String Seri :

$$N_{seri} = \frac{V_{DC-link}}{V_{mp}} = \frac{800}{57.3} \approx 14 \text{ modul}$$

Maka tegangan modul $V_{oc} = 14 \times 57.3 = 802\ V$

- Jumlah Modul per String paralel :

$$N_{paralel} = \frac{P_{komersial}}{P_{per-string}} = \frac{10\ kW}{14 \times 345} \approx 3\ \text{string paralel}$$

Maka,

- Arus total $I_{MPP} = 3 \times I_{mp} = 18.06\ A$
- Daya aktual di dapat menggunakan hasil perkalian dari jumlah modul per string seri, jumlah modul per string paralel, dan daya maksimum. Berdasarkan perhitungan didapat total daya maksimum adalah 11.1 kW
- Konfigurasi yang digunakan adalah 14 modul seri dengan 3 string paralel

Jawaban soal 3

Spesifikasi Inverter :

- Tegangan DC-link : 800 V
- Tegangan Keluaran (AC) : 380 V
- Daya Rating : 15 kVA, dipilih lebih tinggi karena toleransi.
- Komponen Semikonduktor : IGBT
- Strategi Modulasi : SPWM, dipilih karena sederhana dan punya efisiensi tinggi

Jawaban Soal 4

- Parameter :
 - $V_{\text{grid}} = 380 \text{ V}$
 - $F_{\text{sw}} = 10 \text{ kHz}$
 - $\Delta i = 10\% \times I_{\text{nominal}}$
$$= 10\% \times \frac{P}{\sqrt{3} \times V_{\text{grid}}}$$
$$= 10\% \times \frac{10 \text{ kW}}{\sqrt{3} \times 380 \text{ V}}$$
$$= 1.52 \text{ A}$$
- Mencari Induktor (L)
$$L = \frac{V_{\text{inverter}} - V_{\text{grid}}}{2 \times f_{\text{sw}} \times \Delta i}$$
$$= \frac{\frac{V_{\text{dc-link}}}{2} - V_{\text{grid}}}{2 \times f_{\text{sw}} \times \Delta i}$$
$$= \frac{\frac{800}{2} - 380}{2 \times 10000 \times 1.52}$$
$$= 660 \mu \text{ H}$$

Referensi

[Microsoft Word - Module Datasheets USA v0.97D rebrand.v2g.doc](#)

[Henry01batubara/UAS Elektronika-Daya: UAS Elektronika-Daya Henry Gamaliel Batubara](#)