

RANCANG BANGUN MINIATUR SISTEM TRANSMISI DAYA ARUS SEARAH DENGAN *RECTIFIER* SATU FASA, *BOOST CONVERTER* DAN SISTEM *MONITORING* MENGGUNAKAN *DATA LOGGER* BERBASIS MIKROKONTROLER STM32F103C8T6

Mhd Ali Mustofah Nst^{*)}, Hermawan dan Denis

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)} E-mail: mhdalimustofahnst@gmail.com

Abstrak

High Voltage Direct Current Transmission (HVDC) adalah teknologi pengiriman daya listrik tegangan tinggi (puluhan sampai ratusan kV) dalam bentuk arus searah. Penggunaan arus searah pada saluran transmisi dapat mengurangi rugi-rugi yang disebabkan adanya reaktansi pada saluran. Jatuh tegangan yang dihasilkan lebih kecil sehingga kapasitas daya kirim dapat maksimal. Prinsip dasar teknologi ini adalah pengubahan sumber arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC) kemudian ditransmisikan melalui saluran transmisi lalu diubah kembali menjadi arus AC. Pada tugas akhir ini proses pengubahan sumber AC menjadi DC menggunakan *rectifier* satu fasa gelombang penuh tak terkontrol dengan menggunakan 4 buah dioda IN5409, dan untuk menaikkan tegangan DC pada saluran transmisi menggunakan DC-DC *Chopper* tipe *boost converter* dengan menggunakan MOSFET IRF460 yang dilengkapi dengan sistem umpan balik tegangan dan kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Rangkaian sistem tugas akhir ini juga dilengkapi dengan sistem *monitoring* secara *real time* yang terhubung dengan *internet of things (IOT)* ke Thingspeak dengan pembacaan sensor pada awal dan akhir saluran transmisi. *Boost converter* dirancang dengan variasi panjang saluran dan variasi beban berupa lampu pijar dengan daya 25 watt, 40watt, 60 watt, dan 100 watt untuk mengetahui kinerja *boost converter* terhadap beban.

Kata kunci: Transmisi Daya Arus Searah, Rectifier, Boost Converter, Thingspeak, MOSFET IRF460.

Abstract

High Voltage Direct Current Transmission (HVDC) is a transmission technology. The use of direct current in the transmission line can reduce losses caused by reactance on the line. The resulting voltage drop is smaller so that the sending power capacity can be maximized. The basic principle of this technology is the conversion of alternating current sources (AC) into direct current (DC) and then transmitted through the transmission line and then converted back into AC current. In this final project the process of converting an AC source to DC uses a single phase controlled full-wave rectifier using 4 IN5409 diodes, and to increase the DC voltage on the transmission line using DC-DC Chopper type boost converter using MOSFET IRF460 which is supported with a voltage feedback system and then channeled through the transmission line. This final project system series is also equipped with a real time monitoring system that is connected to the internet of things (IoT) to Thingspeak with sensor readings at the beginning and end of the transmission line. Increases converters designed with variations in line transmission length and variations loading incandescent lamps with power of 25 watt, 40watt, 60 watt, and 100 watt to seek performance, increasing the converter to load.

Keywords: direct current power transmission, rectifier, boost converter, thingspeak, MOSFET IRF460.

1. Pendahuluan

Sistem tenaga listrik adalah suatu sistem yang menyediakan listrik yang terdiri dari beberapa pembangkit listrik yang terhubung satu dengan yang lainnya oleh jaringan transmisi dengan jaringan distribusi atau pusat beban [1].

Sistem pembangkit dan pusat beban pada umumnya terpisah dengan jarak yang jauh dalam puluhan bahkan ratusan

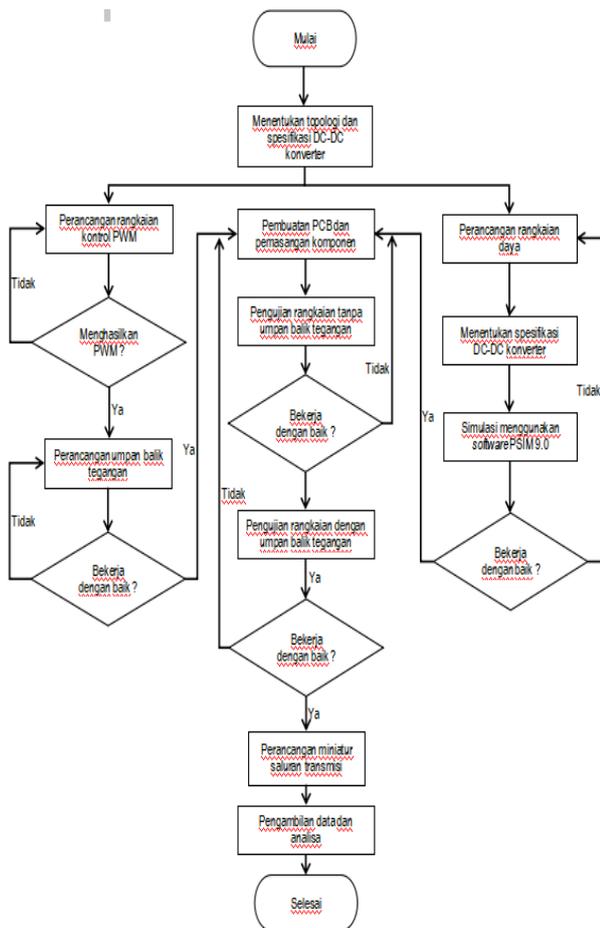
kilometer [2]. Hal ini terjadi karena beban terdistribusi di setiap tempat, sementara lokasi pembangkit pada umumnya terletak di pusat-pusat sumber energi misalnya PLTA, PLTU, dan sebagainya. Oleh karena itu tenaga listrik yang dibangkitkan harus disalurkan melalui sistem transmisi dengan menggunakan kawat-kawat transmisi [3]. Transmisi Daya Arus Searah (TDAS) adalah teknologi pengiriman (transmisi) daya listrik dalam bentuk arus searah tegangan tinggi (puluhan sampai ratusan kV) yang

dapat mengurangi rugi-rugi yang disebabkan karena adanya reaktansi pada saluran [4]. Prinsip dasar dari teknologi ini adalah pengubahan sumber arus bolak-balik (AC), sumber arus dari pembangkit, menjadi arus searah (DC) yang kemudian akan ditransmisikan oleh *transmitter* menuju ke daerah lain yang letaknya berjauhan dan selanjutnya akan dilakukan proses pengubahan kembali sumber DC ke AC. Proses pengubahan sumber AC menjadi DC membutuhkan konverter dan proses pengubahan sumber DC menjadi AC membutuhkan inverter [5].

Tugas akhir ini untuk mengetahui sistem TDAS dan mencoba membuat rangkaian penyearah satu fasa gelombang penuh tak terkontrol menggunakan dioda IN5409, rangkaian *boost converter* menggunakan MOSFET IRF460, dan sistem *monitoring* secara *real time* yang terhubung ke Thingspek. Selain itu pengambilan judul ini dimaksudkan untuk menjadi referensi agar di Indonesia bisa memakai transmisi dengan sistem TDAS ini.

2. Metode

2.1. Langkah Perancangan



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

2.2. Gambaran Umum Perancangan

Dalam perancangan miniature saluran transmisi daya arus searah sebagai media pengiriman tenaga listrik ini menggunakan beberapa komponen yang saling mendukung. Berikut komponen dari alat ini dapat dilihat pada tabel 1.

Table 1. Daftar Komponen

No	komponen
1	Mikrokontroler STM32F103C8T6
2	ESP8266-01
3	MOSFET IRF460
4	TLP250
5	Dioda
6	kapasitor
7	Induktor
8	Resistor
9	PCB
10	Kawat Penghantar
11	Plat Aluminium dan Aluminium Siku
12	MCB
13	Kabel Jumper
14	Papan Triplek

2.3. Perancangan Rectifier

Rectifier yang dibuat adalah jenis penyearah satu fasa *full wave* tidak terkontrol, dengan masukan sebesar 220V yang berasal dari sumber PLN langsung. Penyearah yang dibuat dilengkapi dengan filter kapasitor yang berfungsi untuk mengurangi *ripple* tegangan yang terjadi pada keluaran penyearah. Penentuan rating komponen dalam pembuatan *rectifier* ini dapat dilakukan dengan langkah-langkah berikut:

a. Dioda penyearah

Rating komponen yang akan digunakan disesuaikan dengan rating sistem yang akan digunakan, oleh karena itu dengan rating sistem 311 Vdc dan arus 3A maka dipilihlah dioda *bridge* jenis 1N5409 dan memiliki spesifikasi 1000 V dan arus 3 A.

b. Filter kapasitor

Untuk menentukan rating kapasitor yang digunakan untuk memperhalus *ripple* dapat dirancang dengan parameter-parameter perancangan:

$$\begin{aligned} V_r &= 1 \text{ V} \\ V_m &= 311 \text{ V} \\ f &= 50 \text{ Hz} \\ R_{\text{beban}} &= 800 \text{ ohm} \end{aligned}$$

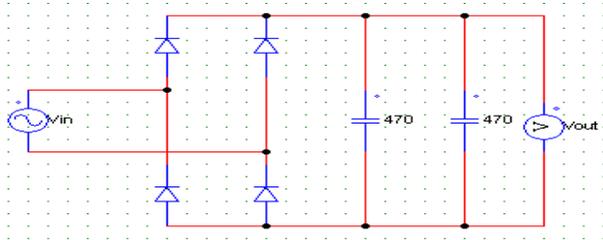
Dengan menggunakan Persamaan xx maka didapatkan nilai kapasitor:

$$\frac{V_r}{V_m} = \frac{1}{2fRC} \quad (1)$$

$$C = \frac{1}{2 \cdot 50 \cdot 800 \cdot C}$$

$$C = 192 \mu F$$

Jika disesuaikan dengan kapasitor yang ada dipasaran maka digunakan kapsitor dengan rating 470 uF/450 V, untuk lebih jelasnya bentuk penyearah yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Penyearah Full Wave Tak Terkontrol

2.4. Perancangan Boost Converter

Perancangan *boost converter* pada tugas akhir ini terdiri dari beberapa komponen utama yaitu MOSFET sebagai *switch*, induktor, kapasitor, dioda, dan beban. Oleh karena itu untuk mendesain *boost converter* perlu ditetapkan beberapa variable seperti ditunjukkan pada Tabel 2 [6].

Tabel 2. Spesifikasi Perancangan Boost Converter

Parameter	Spesifikasi
Tegangan masukan (V_{IN})	311 Vdc
Tegangan keluaran (V_{out})	400 Vdc
Arus keluaran (I_{out})	0,5 A
Frekuensi <i>switching</i> (f_s)	25 KHz
Efisiensi (η)	95 %

Dari parameter-parameter yang terdapat pada Table 2 kita bisa menghitung nilai komponen-komponen dari sistem *boost converter* dengan langkah-langkah berikut:

- *Duty cycle*

Untuk mengetahui besar *duty cycle* yang akan digunakan dapat kita hitung menggunakan Persamaan 2.12.

$$D = 1 - \left(\frac{V_{IN}}{V_{OUT} + V_F} \times \eta \right) \quad (2)$$

$$D = 1 - \left(\frac{311}{400 + 1,2} \times 0,95 \right)$$

$$D = 0,263 \text{ atau sekitar } 26,3 \%$$

- MOSFET

Pemilihan MOSFET harus memperhatikan nilai tegangan dan arus yang bekerja pada *boost converter*. Tegangan kerja pada perancangan ini adalah 400 VDC dan arus yang mengalir pada MOSFET maksimal 0.71 A, maka MOSFET yang digunakan adalah IRF460 . Spesifikasi dari MOSFET IRF460 ditunjukkan pada Tabel 3 [7].

Tabel 3 Rating MOSFET IRF460

Parameter	Simbol	Batas max
Source – Drain voltage	V_{CE}	600 V
Gate – Drain voltage	V_{GE}	± 15 V
Continuous Collector Current	I_b	25 A
Total Gate Charge	Q_g	250 nC
Turn-on delay	$t_{d(on)}$	35 ns
Turn-off delay	$t_{d(off)}$	350 ns

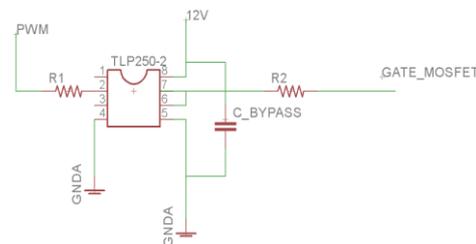
- *Driver* MOSFET

Rangkaian TLP250 digunakan untuk mengisolasi dan menguatkan sinyal kontrol *Proportional Integral* dengan level tegangan 5 Volt yang dibangkitkan oleh mikrokontroler STM32 menjadi level tegangan yang lebih tinggi untuk memicu MOSFET sebagai *driver*. Spesifikasi dari TLP250 ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Spesifikasi TLP250

Parameter	Simbol	Spesifikasi
Input current, on	I_f	Maks. 10 mA
Input forward voltage	V_f	1,6 V , Maks 1,8 V
Supply voltage	V_{CC}	10 – 35 V
Peak output current	I_{OPH}/I_{OPL}	$\pm 0,5$ A
Propagation-Delay time	L \rightarrow H H \rightarrow L	t_{pLH} t_{pHL}
		(0.15 μ s), Maks. (0.5 μ s)

Berikut adalah gambar skematik rangkaian driver yang digunakan:



Gambar 3 Rangkaian skematik TLP250

- Dioda *Boost Converter*

Dioda yang digunakan pada *boost converter* ini adalah dioda jenis MUR1560 yang memiliki spesifikasi ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Spesifikasi Dioda MUR1560

Parameter	Simbol	Spesifikasi
V_{MAX}	V_{MAX}	600 V
I_{MAX}	I_{MAX}	30 A
V_F	V_F	1.2 V
Temperature	T	(-65 – 175) °C
Recovery time	t_{rr}	60 ns

- Induktor

Berdasarkan parameter pada Tabel 2 kita bisa menghitung nilai yang kita perlukan dalam mendesain suatu *boost converter*.

1. Hitung nilai *duty cycle*

Langkah pertama yang harus dilakukan adalah menghitung besar *duty cycle* yang akan digunakan, besar nilai *duty cycle* dapat dihitung dengan Persamaan 2.12. Nilai *duty cycle* dari *boost converter* berdasarkan perhitungan pada 3.2.1 *Duty cycle* adalah :

$$D = 0.263 \text{ atau sekitar } 26,3\%$$

2. Hitung nilai arus pada induktor

Langkah selanjutnya adalah menghitung nilai arus pada induktor dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.16.

$$I_{IN} = I_L = \frac{(V_{OUT} + V_F) \times I_{OUT}}{\eta \times V_{IN}} \quad (3)$$

$$I_L = \frac{(400 + 1,2) \times 0,5}{311 \times 0,95}$$

$$I_L = 0.678 \text{ A}$$

Substitusikan nilai I_L untuk mendapatkan nilai ΔI_L

$$\Delta I_L = (20\% \text{ to } 40\%) I_L \quad (4)$$

$$\Delta I_L = (20\% \text{ to } 40\%) \times 0.676$$

$$\Delta I_L = 30\% \times 0.678 = 0.203 \text{ (misalnya kita ambil } 30\%)$$

Substitusikan nilai ΔI_L kedalam persamaan L_{MIN} , sehingga kita dapatkan nilai L_{MIN} sebagai berikut:

$$L_{MIN} \geq \frac{V_{IN} \times D}{f_s \times \Delta I_L} \quad (5)$$

$$L_{MIN} \geq \frac{311 \times 0.263}{25000 \times 0.203}$$

$$L_{MIN} \geq 0.01611 \text{ H}$$

$$L_{MIN} \geq 16,11 \text{ mH}$$

Agar bekerja pada mode operasi CCM, maka induktansi yang dibuat harus lebih besar dari induktansi minimal ($L > L_{min}$), sehingga induktansi yang digunakan sebesar 42 mH.

• Kapasitor

Kapasitor berfungsi sebagai filter tegangan untuk membatasi *ripple* tegangan keluaran *boost converter*. Berdasarkan parameter Tabel 3.2 dan dengan nilai dari $\Delta V_{out} = 1\% - 5\%$, misalnya diambil $\Delta V_{out} = 5\%$, dengan menggunakan Persamaan 2.21 maka didapatkan nilai C_{min} .

$$C_{MIN} = \frac{V_{OUT} \times D}{R \times f_s \times V_r} \quad (6)$$

$$C_{min} = \frac{0.5 \times 0.263}{25000 \times 5\%}$$

$$C_{min} = 1.044 \times 10^{-4} \text{ F}$$

$$C_{min} = 104.4 \mu\text{F}$$

Persentase *ripple* tegangan keluaran dipilih 5% dan dari perhitungan diatas didapatkan nilai C_{min} yang besarnya 104,4 μF . Tetapi pada realisasinya, kapasitor yang digunakan bernilai 470 $\mu\text{F}/450 \text{ V}$ karena kapasitor dengan nilai tersebut mudah dicari dipasaran. Selain itu, semakin besar kapasitor yang digunakan, maka semakin halus keluaran konverter. Besar tegangan 450 V dipilih karena

mampu menahan tegangan keluaran *boost converter* yang ditentukan sebesar 400 V.

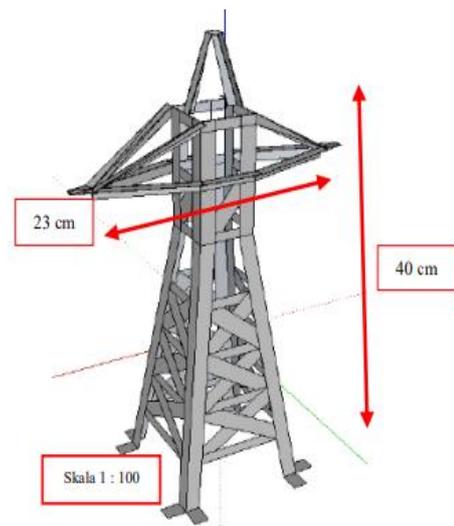
2.5. Perancangan Miniatur Saluran dan Menara Transmisi

Pada perancangan miniature saluran dan menara transmisi ini terlebih dahulu dirancang bidang alas permukaan menara menggunakan papan kayu triplek dengan dimensi: Panjang : 122 cm, Lebar : 185 cm, Tebal : 2 cm

Pemilihan bahan pada perancangan bidang alas ini berdasarkan kekuatan dan mudah dibentuk.

• Perancangan Miniatur Menara Transmisi

Pembuatan menara transmisi ini menggunakan plat aluminium dan aluminium siku sebagai bahan pembuatan menara. Bentuk menara yang dibuat memiliki bentuk huruf 'T' dengan tinggi dan lebarnya 40 cm x 23 cm. Gambar 11 menunjukkan bentuk menara yang dibuat.



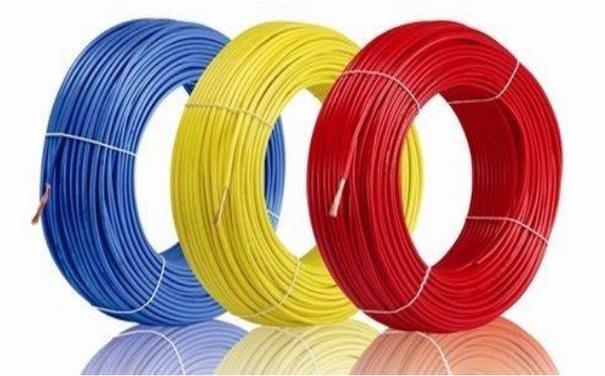
Gambar 11 Bentuk Rancang Menara Transmisi

• Perancangan Kabel Saluran Transmisi

Perancangan saluran transmisi ini menggunakan kabel jenis NYA. saluran transmisi yang digunakan memiliki panjang dengan 3 variasi, yaitu :

- Variasi 1 : 10 meter
- Variasi 2 : 20 meter
- Variasi 3 : 30 meter

Tujuan dari variasi panjang saluran ini adalah untuk mengetahui pengaruh panjang saluran terhadap tegangan jatuh pada transmisi daya arus searah. Untuk lebih jelasnya Gambar 12 menunjukkan jenis kabel yang akan digunakan.

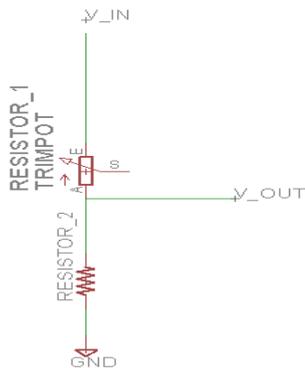


Gambar 12 kabel saluran transmisi

2.6. Sistem Monitoring

- Sensor Pembagi Tegangan

Rangkaian ini terdiri dari satu buah resistor variabel 500 Kohm dan satu buah resistor biasa yang berfungsi untuk membagi tegangan keluaran *boost converter*. Rangkaian pembagi tegangan ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Rangkaian Pembagi Tegangan

Nilai tegangan *boost converter* diatur maksimal sebesar 500 volt untuk mendapat nilai 3,3 V dari pembagi tegangan. Nilai hambatan R_1 dan R_2 dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 7 berikut:

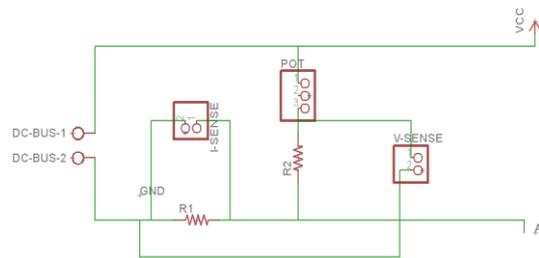
$$V_{OUT} = V_{IN} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \quad (7)$$

$$\frac{3,3}{500} = \frac{R_2}{R_2 + 500 K}$$

$$R_2 = 3,3 K \text{ ohm}$$

- Sensor arus (*Resistor Shunt*)

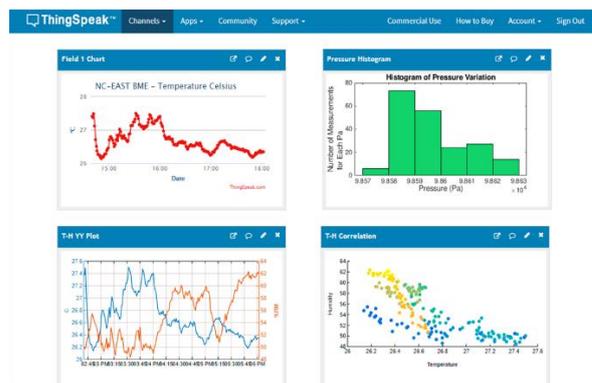
Metode yang akan digunakan untuk mengukur besar nilai arus yang mengalir pada rangkaian adalah dengan menggunakan resistor *shunt*. Rangkaian resistor shunt yang digunakan pada rangkaian ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Rangkaian Resistor Shunt

- *Webserver Thingspeak*

ThingSpeak adalah *platform open source Internet of Things (IoT)* aplikasi dan API untuk menyimpan dan mengambil data menggunakan protocol HTTP melalui internet atau melalui Local Area Network. ThingSpeak memungkinkan pembuatan aplikasi sensor *logging*, aplikasi lokasi pelacakan, dan lain-lain.

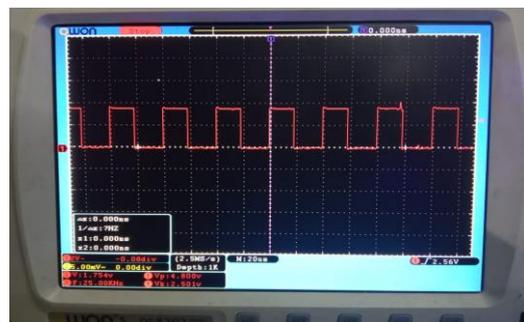


Gambar 15. Tampilan Thingspeak

3. Hasil dan Analisis

3.1. Hasil Pengujian Sinyal PWM

Pengujian sinyal keluaran PWM dari mikrokontroler STM32 menggunakan pin A8 dan *ground* dilakukan menggunakan osiloskop.



Gambar 16. Hasil pengukuran sinyal PWM dari mikrokontroler STM32

Pengamatan keluaran sinyal dilakukan dengan $V/div = 2V$ dan faktor pengali 1x. nilai keluaran sinyal PWM memiliki $div = 2,4 V$ dengan $v/div = 2V$ sehingga *magnitude* yang dihasilkan adalah.

$$V_{PWM} = div\ ukur \times v/div \times pengali \quad (8)$$

$$V_{PWM} = 2,4\ div \times 2 \frac{v}{div} \times 1$$

$$V_{PWM} = 4,8\ V$$

3.2. Pengujian Driver TLP250

Pengujian MOSFET Driver TLP250 dilakukan menggunakan osiloskop digital 1 kanal pada sisi *high* MOSFET Driver dengan titik referensi *ground*. Berikut gelombang keluaran sinyal keluaran dari *driver*.



Gambar 17. Gelombang keluaran sinyal driver

Gambar 17 menunjukkan keluaran MOSFET driver TLP250 membentuk pola yang sama dengan pola sinyal pemicuan PWM yang dibangkitkan oleh mikrokontroler, namun dengan nilai *magnitude* tegangan yang lebih besar. Keluaran TLP250 memiliki 2,2 div dalam skala $V/div = 5\ V/div$, sehingga diperoleh tegangan keluaran MOSFET driver adalah sebagai berikut.

$$V_{MOSFET\ Driver} = 2,2\ div \times 5\ V/div \times 1$$

$$V_{MOSFET\ Driver} = 11\ Volt$$

3.3. Pengujian Rectifier

Pengujian penyearah dilakukan untuk melihat besar nilai tegangan keluaran yang dihasilkan penyearah yang akan menjadi masukan ke *boost converter*. Pengukuran nilai tegangan keluaran penyearah dilakukan dengan menggunakan multimeter jenis SANWA. Berdasarkan hasil pengukuran didapatkan nilai tegangan keluaran penyearah sebesar 311 Vdc.

3.4. Pengujian Boost Converter

Pengujian *boost converter* dilakukan dengan melihat nilai tegangan keluaran yang dihasilkan *boost converter* dengan variasi beban dan panjang saluran. Pengukuran dilakukan pada masukan *boost converter*, keluaran *boost converter* (awal saluran) dan pada akhir saluran untuk mengetahui

nilai tegangan jatuh yang terjadi pada saluran. Pengujian dilakukan dengan menggunakan kontrol umpan balik dan tanpa kontrol umpan balik.

a. Pengujian Boost converter Tanpa Umpan Balik

Pengujian dilakukan dengan variasi panjang saluran dan variasi beban, dari hasil pengujian *boost converter* tanpa umpan balik didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 6. Pengujian Boost converter Tanpa Umpan Balik

Panjang Saluran (m)	Beban (watt)	V _{IN} (V)	V _{AWAL} (V)	V _{AKHIR} (V)
10	25	302	333	316
	40	302	333	314
	60	301	331	310
	100	301	333	306
20	25	302	333	310
	40	301	333	308
	60	301	331	298
	100	302	333	294
30	25	301	331	298
	40	302	333	297
	60	302	333	294
	100	301	331	286

Dari Tabel 6 dapat dilihat bahwa semakin besar beban maka tegangan yang terukur pada ujung saluran (V_{AKHIR}) semakin kecil atau tegangan jatuh yang terjadi pada saluran semakin besar. Tegangan jatuh yang terjadi pada saat beban 25 watt dengan panjang saluran 10 m dapat dihitung dengan cara sebagai berikut.

$$V_{DROP} = V_{AWAL} - V_{AKHIR} \quad (9)$$

$$V_{DROP} = 333 - 316$$

$$V_{DROP} = 17\ V$$

Dengan cara yang sama didapatkan tegangan jatuh pada tiap beban sebagai berikut.

Tabel 7 Tegangan Jatuh Saluran Tanpa Umpan Balik

Panjang saluran (m)	Beban (watt)	V _{AWAL} (V)	V _{AKHIR} (V)	Drop Voltage (V)
10	25	333	316	17
	40	333	314	19
	60	331	310	21
	100	333	306	27
20	25	333	310	23
	40	333	308	25
	60	331	298	33
	100	333	294	39
30	25	331	298	33
	40	333	297	38
	60	333	294	42
	100	331	286	45

b. Pengujian Boost converter dengan Umpan Balik

Pada pengujian ini tegangan ujung saluran dijaga tetap pada 330 V dengan menggunakan kontrol PI. Pengujian ini dilakukan dengan variasi panjang saluran dan variasi beban, dari hasil pengujian *boost converter* dengan umpan balik didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 8. Pengujian Boost converter dengan Umpan Balik Tegangan

Panjang Saluran (m)	Beban (watt)	V _{IN} (V)	V _{AWAL} (V)	V _{AKHIR} (V)	Set point (V)
10	25	302	340	330	330
	40	302	341	328	330
	60	301	346	329	330
	100	301	350	330	330
20	25	302	349	330	330
	40	302	355	329	330
	60	301	361	330	330
	100	299	364	330	330
30	25	301	358	330	330
	40	302	362	330	330
	60	302	369	327	330
	100	301	374	329	330

Dari Tabel 8 dapat dilihat bahwa semakin besar beban maka tegangan yang terukur pada awal saluran (V_{AWAL}) semakin besar atau tegangan jatuh yang terjadi pada saluran semakin besar. Tegangan jatuh yang terjadi pada saat beban 25 watt dengan panjang saluran 10 m dapat dihitung dengan cara sebagai berikut.

$$V_{DROP} = V_{AWAL} - V_{AKHIR}$$

$$V_{DROP} = 340 - 330$$

$$V_{DROP} = 10 V$$

Dengan cara yang sama didapatkan tegangan jatuh pada tiap beban sebagai berikut.

Tabel 9. Tegangan Jatuh Saluran Tanpa Umpan Balik

Panjang saluran (m)	Beban (watt)	V _{AWAL} (V)	V _{AKHIR} (V)	Drop Voltage (V)
10	25	340	330	10
	40	341	328	13
	60	346	329	17
	100	350	330	20
20	25	349	330	19
	40	355	329	26
	60	361	330	31
	100	364	330	34
30	25	358	330	28
	40	362	330	32
	60	369	327	42
	100	374	329	45

3.5. Efisiensi Boost Converter

3.5.1. Efisiensi Boost converter Tanpa Umpan Balik

Dari hasil pengukuran didapatkan data sebagai berikut.

Tabel 10. Pengujian Boost converter Tanpa Umpan Balik

Panjang Saluran (m)	Beban (watt)	V _{IN} (V)	V _{OUT} (V)	I _{IN} (A)	I _{OUT} (A)
10	25	302	333	0.12	0.09
	40	302	333	0.17	0.14
	60	301	331	0.25	0.2
	100	301	333	0.42	0.36
20	25	302	333	0.15	0.12
	40	301	333	0.26	0.2
	60	301	331	0.34	0.27
	100	302	333	0.5	0.41
30	25	301	331	0.21	0.14
	40	302	333	0.45	0.4
	60	302	333	0.51	0.43
	100	301	331	0.71	0.63

Nilai dari P_{IN} dan P_{OUT} pada saat beban 25 watt dan panjang saluran 10 m dapat dicari dengan cara berikut.

- $P_{IN} = V_{IN} \times I_{IN}$ (10)

$$P_{IN} = 302 \times 0.12$$

$$P_{IN} = 36.24 \text{ watt}$$

- $P_{OUT} = V_{OUT} \times I_{OUT}$ (11)

$$P_{OUT} = 333 \times 0.09$$

$$P_{OUT} = 29.97 \text{ watt}$$

Efisiensi boost converter dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \times 100\% \quad (12)$$

$$\eta = \frac{29.97}{36.24} \times 100\%$$

$$\eta = 82.69$$

Dengan cara yang sama didapatkan nilai efisiensi tiap beban sebagai berikut.

Tabel 11. Efisiensi Boost converter Tanpa Umpan Balik

Panjang Saluran (m)	Beban (watt)	P _{IN} (watt)	P _{OUT} (watt)	Efisiensi (%)
10	25	36.24	29.97	82.6987
	40	51.34	46.62	90.8064
	60	75.25	66.2	87.9734
	100	126.42	119.88	94.8268
20	25	45.3	39.96	88.2119
	40	78.52	66.6	84.8192
	60	102.34	89.37	87.3266
	100	149.5	136.53	91.3244
30	25	63.21	46.34	73.3112
	40	135.9	133.2	98.0132
	60	154.02	143.19	92.9684
	100	213.71	208.53	97.5762

3.5.2. Efisiensi Boost converter dengan Umpan Balik

Dari hasil pengukuran didapatkan data sebagai berikut.

Tabel 12. Pengujian Boost converter dengan Umpan Balik

Panjang Saluran (m)	Beban (watt)	V _{IN} (V)	V _{OUT} (V)	I _{IN} (A)	I _{OUT} (A)
10	25	302	340	0.14	0.11
	40	302	341	0.18	0.14
	60	301	346	0.25	0.2
	100	301	350	0.42	0.34
20	25	302	349	0.16	0.13
	40	302	355	0.26	0.21
	60	301	361	0.34	0.27
	100	300	364	0.52	0.41
30	25	301	358	0.2	0.14
	40	302	362	0.36	0.28
	60	302	369	0.57	0.42
	100	301	374	1.2	0.9

Nilai dari P_{IN} dan P_{OUT} pada saat beban 25 watt dan panjang saluran 10 m dapat dicari dengan cara berikut.

- $P_{IN} = V_{IN} \times I_{IN}$
- $P_{IN} = 302 \times 0.14$

$$P_{IN} = 42.28 \text{ watt}$$

- $P_{OUT} = V_{OUT} \times I_{OUT}$
 $P_{OUT} = 340 \times 0.11$
 $P_{OUT} = 37.4 \text{ watt}$

Efisiensi *boost converter* dapat dicari dengan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{42.28}{37.24} \times 100\%$$

$$\eta = 88.45$$

Dengan cara yang sama didapatkan nilai efisiensi tiap beban sebagai berikut.

Tabel 13 Efisiensi *Boost converter* denga Umpan Balik

Panjang Saluran (m)	Beban (watt)	P _{IN} (watt)	P _{OUT} (watt)	Efisiensi (%)
10	25	42.28	37.4	88.4579
	40	54.36	47.74	87.8219
	60	75.25	69.2	91.9601
	100	126.42	119	94.1307
20	25	48.32	45.37	93.8949
	40	78.52	74.55	94.944
	60	102.34	97.47	95.2414
	100	156	149.24	95.6667
30	25	60.2	50.12	83.2558
	40	108.72	101.36	93.2303
	60	172.14	154.98	90.0314
	100	361.2	336.6	93.1894

4. Kesimpulan

Boost converter berhasil dibuat dan dapat digunakan untuk menaikkan tegangan keluaran dengan menjaga tegangan ujung saluran tetap pada beban dan pajang saluran yang berbeda. Pada percobaan tanpa umpan balik tegangan, semakin besar beban yang digunakan semakin besar *drop voltage* yang terjadi disaluran, begitu juga dengan panjang saluran, semakin besar panjang saluran yang digunakan maka tegangan yang sampai ke ujung saluran semakin kecil. Pada pengujian dengan menggunakan umpan balik tegangan pada ujung saluran dijaga tetap mendekati *set point* yaitu 330 V, dari pengukuran yang dilakukan error yang paling besar adlah 3 V dengan pembacaan tegangan pada ujung saluran sebesar 327 V. Rata-rata efisiensi *boost converter* tanpa umpan balik tegangan dengan variasi beban adalah 89.076% dengan panjang saluran 10 m, 87.92% dengan panjang saluran 20 m, dan 90.46% dengan panjang saluran 30 m. Rata-rata efisiensi *boost converter* dengan umpan balik tegangan dengan variasi beban adalah 90.593% dengan panjang saluran 10 m, 94.937% dengan panjang saluran 20 m, dan 89.927% dengan panjang saluran 30 m.

Tugas akhir ini dapat dikembangkan dengan perancangan suplai daya energi terbarukan, menggunakan tipe *rectifier* lain, tipe *boost converter* lain, menggunakan umpan balik arus dan pengaplikasian pada beban yang lain.

Referensi

- [1]. Wildi, Theodore. "Electrical Machines, Drives, and Power System", Prentice Hall Inc, New Jersey. 2002.
- [2]. Zuhail. "Prinsip Dasar Elektroteknik", Penerbit Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2004.
- [3]. Chapman, Stephen J. "Electric Machinery Fundamentals", Second Edition Mc Graw Hill Companies, Singapore, 1991.
- [4]. I. Rahardjo and I. Fitriana, "Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Indonesia," Strateg. Penyediaan List. Nas. Dalam Rangka Mengantisipasi Pemanfaat. PLTU Batubara Skala Kecil, PLTN, dan Energi Terbarukan, P3TKKE, BPPT, Januari, pp. 43–52, 2005.
- [5]. Daniel W Hart ,Power Electronics,2nd ed.New York:McGraw-Hill,2011.
- [6]. M. H. Rashid, POWER ELECTRONICS Academic Press Series in Engineering , 2001.
- [7]. P. c. Sen, Principles of Electric Machines Power Electronics, Second. Canada, 1996.
- [8]. A. E. Fitzgerald, C. Kingsley, and S. D. Umans, Electric Machinery, Sixth. New York: McGraw-Hill, 2003.