

PERANCANGAN INVERTER SATU FASA TOPOLOGI JEMBATAN PENUH DENGAN RANGKAIAN BOOTSTRAP

Nieko Nata Gianza^{*}, Darjat, Hadha Afrisal

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

^{*}E-mail: niekogianza123@gmail.com

Abstrak

Panel surya dapat mengubah energi surya menjadi energi listrik dengan keluaran tegangan arus searah. Hal ini menyebabkan perlu dirancangnya inverter yang dapat mengubah tegangan DC menjadi AC. Inverter dilengkapi dengan transformator step-up untuk menaikkan tegangan hingga mencapai 220 VAC. Pemicuan sinyal menggunakan mikrokontroler Arduino Nano untuk menghasilkan sinyal SPWM. Dalam Tugas Akhir ini dilakukan pengujian dengan memvariasikan nilai frekuensi dari 40 Hz – 60 Hz dan melihat pengaruh pada tegangan keluaran, arus keluaran, dan efisiensi. Pada pengujian didapatkan nilai tegangan rata-rata pada lampu LED 12 Watt sebesar 187,422 V dan lampu pijar 100 Watt sebesar 172,367. Pengujian dengan variasi beban kipas angin 35 Watt memiliki nilai tegangan rata-rata sebesar 221,6 V. Berdasarkan pengujian tersebut didapatkan efisiensi rata-rata dengan variasi frekuensi pada keluaran inverter saat dibebani lampu LED 12 Watt sebesar 77,41% dan saat dibebani lampu pijar 100 Watt sebesar 55,31%. Pengujian variasi beban saat dibebani kipas angin 35 Watt memiliki efisiensi rata-rata sebesar 46,44%. Perubahan nilai efisiensi pada pengujian variasi frekuensi dipengaruhi oleh rugi-rugi pensaklaran MOSFET, rugi-rugi konduksi MOSFET, dan rugi-rugi lainnya.

Kata kunci : Inverter jembatan penuh, efisiensi, panel surya.

Abstract

Solar panels can convert solar energy into electrical energy by outputting direct current voltage. This causes the need to design an inverter that can convert DC voltage to AC. The inverter is equipped with a step-up transformer to increase the voltage to 220 VA. Signal triggering uses Arduino Nano microcontroller to generate SPWM signal. In this final project, a test is carried out by varying the frequency value from 40 Hz – 60 Hz and seeing the effect on the output voltage, output current, and efficiency. In the test, the average voltage value for 12 Watt LED lamps is 187.422 V and 100 Watt incandescent lamps is 172.367. Tests with a 35 Watt fan load variation have an average voltage value of 209.5 V. Based on these tests, the average efficiency with frequency variations at the inverter output when loaded with 12 Watt LED lamps is 77.41% and when loaded with incandescent lamps 100 Watts of 55.31%. The load variation test when loaded with a 35 Watt fan has an average efficiency of 46.44%. Changes in efficiency values in the frequency variation test are influenced by MOSFET switching losses, MOSFET conduction losses, and other losses.

Keywords : Full bridge inverter, efficiency, solar panel

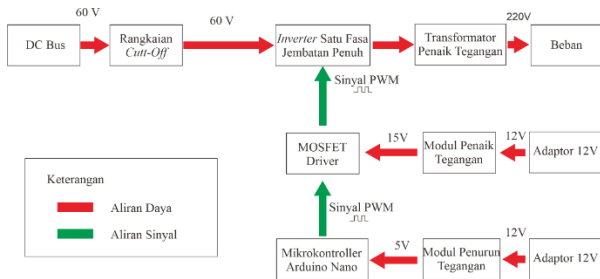
1. Pendahuluan

Pembangkit listrik di Indonesia sampai dengan tahun 2018 mengalami peningkatan dari tahun 2017 sebanyak 4,38% dan memiliki kapasitas total sebesar 64.924,90 MW [1]. Salah satu sumber energi listrik terbarukan adalah energi surya atau cahaya matahari. Penggunaan energi surya memiliki banyak kelebihan yaitu energi yang tidak terbatas, tidak menimbulkan polusi, dan tidak memerlukan bahan bakar. Penggunaan energi surya ini dapat dilakukan dengan cara mengonversi energi surya menjadi energi listrik menggunakan panel surya yang diletakan di atas atap rumah atau gedung. Energi listrik yang dihasilkan panel

surya akan dilanjutkan ke inverter[2]. Inverter berfungsi untuk mengubah tegangan searah menjadi tegangan bolak-balik [3]. Inverter memiliki banyak kegunaan di dunia industri contohnya adalah pengendalian kecepatan pada motor induksi [4]. Komponen utama dari inverter adalah transistor. Transistor yang digunakan adalah MOSFET dikarenakan mosfet memiliki nilai rugi-rugi pensaklaran lebih kecil dari IGBT dikarenakan time delay-on yang lebih lama dibandingkan dengan IGBT [5]. Inverter yang digunakan adalah inverter jembatan penuh (full bridge). Inverter jembatan penuh ini akan menghasilkan tegangan keluaran gelombang sinusoidal penuh sehingga sama atau mendekati tegangan masukannya (tegangan arus

searah)[6]. Inverter diharapkan dapat menyuplai beban arus bolak-balik dan memiliki kinerja yang baik dalam pengoperasiannya.

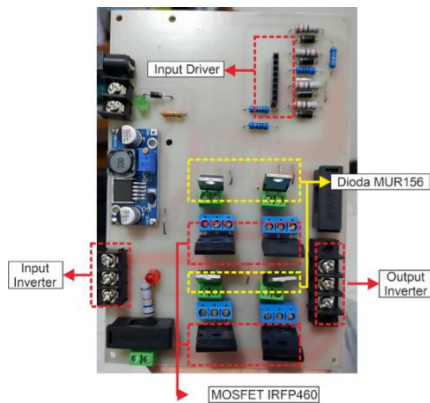
2. Metode



Gambar 1. Blok diagram perancangan

Gambar 1. merupakan blok diagram perancangan sistem *inverter* satu fasa jembatan penuh dilengkapi dengan transformator *step-up*. Perancangan ini terdiri dua sistem utama yaitu rangkaian kontrol dan rangkaian daya. Pada rangkaian kontrol terdapat adaptor 12 V sebagai sumber [2], rangkaian pemucuan Arduino Nano, dan rangkaian *driver* MOSFET IC IR2110 sekaligus sebagai rangkaian *bootstrap*, dan keluaran MPPT serta *Bidirectional Converter* sebagai sumber, *inverter* satu fasa jembatan penuh, dan transformator *step-up*.

2.1. Perancangan Perangkat Keras



Gambar 2. Blok diagram perancangan

Tabel 1. Spesifikasi Rangkaian *Inverter* Jembatan Penuh Satu Fasa

Spesifikasi	Nilai
Tegangan Masukan	60 V
Tegangan Keluaran	60 V
Switch	MOSFET IRF460
Diode	MUR1560
MOSFET Driver	IC IR2110
Arus Maksimum	10 A
Frekuensi Switching (fs)	31 kHz

Inverter yang digunakan adalah inverter satu fasa dengan topologi Jembatan Penuh untuk mengubah tegangan DC menjadi AC [7]. Gelombang keluaran yang akan dihasilkan dari inverter jembatan penuh adalah gelombang sinusoidal [8].

2.2. Perancangan *Driver* MOSFET

Pada *driver* MOSFET dilengkapi rangkaian *bootstrap* dengan menggunakan IR2110 sebagai komponen eksternal [9]. Untuk membuat rangkaian *bootstrap* maka dibutuhkan komponen tambahan yaitu dioda [10] dan kapasitor. Pemilihan Kapasitor dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 3.1 [11]:

$$C \geq \frac{2 \left[2Q_g + \frac{I_{qbs(max)}}{f} + Q_{ls} + \frac{I_{Cbs(leak)}}{f} \right]}{V_{cc} - V_f - V_{LS} - V_{Min}} \quad (1)$$

Persamaan 3.1 memiliki nilai dari masing-masing variabel berdasarkan datasheet dari MOSFET IRF460 dan IC IR2110 terdapat pada tabel 3.4 yaitu [12][13]:

Tabel 2. Parameter kapasitor *driver*

Parameter	Symbol	Nilai
MOSFET IRFP460	Q_g	270 nC
<i>Driver capacitor leakage current</i>	I_{cbs}	1 μ A
<i>Driver capacitor leakage current</i>	I_{cbs}	1 μ A
<i>Quiescent V_{bs} supply current</i>	I_{qbs}	230 μ A
<i>Level shift charge</i>	Q_{ls}	5 nC
Tegangan Suplai	V_{cc}	15 V
Frekuensi Operasi	f_o	31 kHz
<i>Forward voltage drop diode Driver</i>	V_f	1.3 V
<i>Drop tegangan low side MOSFET</i>	V_{LS}	3.5 V
Tegangan minimum antara V_b dan V_s	V_{min}	9.5 V

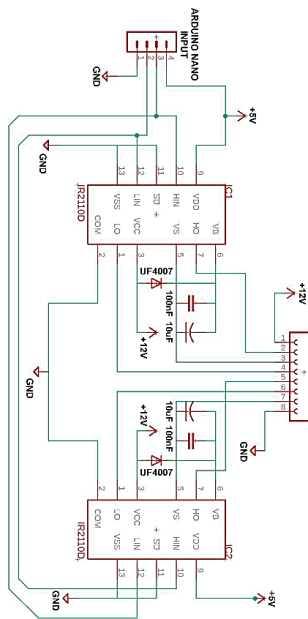
Sehingga didapatkan nilai kapasitor *driver* dengan mensubstitusikan ke persamaan 1 yaitu :

$$C \geq \frac{2 \left[2 \times 60 \times 10^{-9} + \frac{230 \cdot 10^{-6}}{31000} + 5 \times 10^{-9} + \frac{1 \times 10^{-6}}{31000} \right]}{15 - 1.3 - 3.5 - 9.5}$$

$$C \geq \frac{8.6490 \times 10^{-7}}{0.7}$$

$$C \geq 3.402 \times 10^{-7}$$

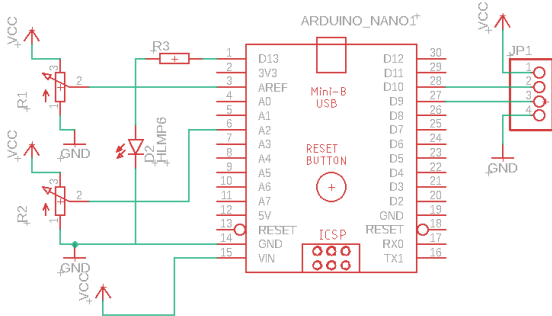
Didapatkan nilai dari kapasitor pada rangkaian *bootstrap* sebesar $C \geq 3.402 \times 10^{-7}$ sehingga kapasitor yang digunakan adalah kapasitor elektrolit dengan besar 10 μ F dengan nilai kapasitansi minimum yang dikalikan dengan faktor 15 yaitu 5,85 μ F. IC IR2110 digunakan sebagai *driver* MOSFET dan juga berfungsi rangkaian *bootstrap*. Ketika terjadi *floating supply* pada sisi *high* dari *inverter*, rangkaian *bootstrap* ini akan berfungsi sebagai penyedia ground sehingga arus dari tegangan *high* tidak melalui sisi *low* saat dalam keadaan mati [14].



Gambar 3. Perancangan Driver IR2110

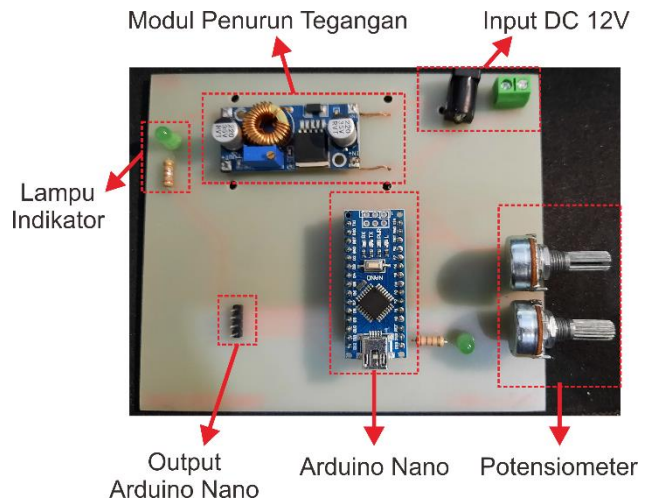
2.3. Perancangan Rangkaian Kontrol

Pada Tugas akhir ini, mikrokontroler yang digunakan adalah mikrokontroler Arduino Nano dengan besar bit sebanyak 8 bit. Mikrokontroler ini digunakan untuk memproses sinyal modulasi inverter dan sebagai pembangkit pemucuan sinyal SPWM. Mikrokontroler ini memiliki 30 buah pin [15]. Gambar 4 adalah skema penggunaan pin pada Mikrokontroler Arduino Nano dengan menggunakan aplikasi EAGLE dan realisasi rangkaian mikrokontroler Arduino Nano.



Gambar 4. Perancangan Rangkaian Kotrol Arduin Nano

Mikrokontroler Arduino Nano memiliki suplai tegangan yang berasal dari adapter 12 volt yang kemudian diturunkan tegangannya menjadi 5 volt. Sistem pemucuan MOSFET pada rangkaian Arduino dihubungkan dengan potensiometer dengan resistansi sebesar 1 kΩ. Potensiometer yang digunakan yaitu potensiometer *stereo*. Potensiometer dihubungkan dengan Vcc, GND, AREF, dan A2. Pin A2 digunakan sebagai *input* sinyal analog yang berfungsi untuk mengatur frekuensi SPWM sehingga frekuensi keluaran *inverter* dapat disesuaikan dengan keperluan.

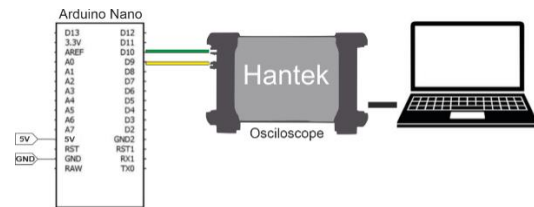


Gambar 5. Realisasi Alokasi Pin Arduino Nano

3. Pengujian dan Analisis

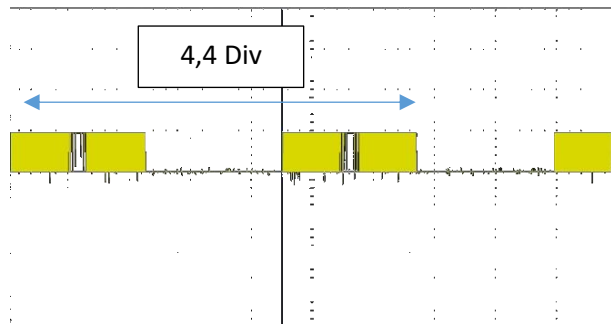
3.1. Pengujian SPWM Mikrokontroler Arduino Nano

Pengujian sinyal SPWM yang dikeluarkan mikrokontroler Arduino Nano menggunakan dua channel yang diletakan pada sisi pin D9 dan pin D10. Mikrokontroler ini dirancang dengan frekuensi carrier sebesar 31 kHz. Pengujian gelombang keluaran mikrokontroler dilakukan dengan menggunakan osiloskop. Pengujian pada osiloskop dapat digambarkan pada gambar 6.



Gambar 6. Rangkaian Pengujian SPWM Arduino Nano

Pengujian dilakukan dengan tegangan sebesar 5V, t/div 5 ms dan v/div sebesar 4,4 div. Maka, hasil pengujian keluaran Arduino Nano yaitu :



Gambar 7. Gelombang sinyal SPWM Arduino Nano

Pengujian pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 menunjukkan bahwa tegangan 1 div pada skala yang digunakan adalah 5V/div dengan faktor pengali probe 1x (satu kali) sehingga dapat dihitung tegangan SPWM pada pin D9 yaitu sebesar:

$$V_{DC} = 1 \text{ div} \times 5 \text{ Volt/div} \times 1$$

$$V_{DC} = 5 \text{ Volt}$$

Perhitungan dapat diketahui dengan besar periode yaitu 4,4 div dan t/div sebesar 5 ms serta faktor pengali pada probe sebesar 1x (satu kali) sehingga dapat diketahui besar frekuensi SPWM pin D9 dan D10 sebesar :

$$T = 4,4 \text{ div} \times 5 \text{ ms/div} \times 1$$

$$T = 22 \text{ ms}$$

$$f = 1/22$$

$$f = 45,45 \text{ Hz}$$

Hasil frekuensi perhitungan keluaran dari sinyal SPWM Pin D9 dan D10 yaitu 45.45 Hz atau mendekati 45 Hz.

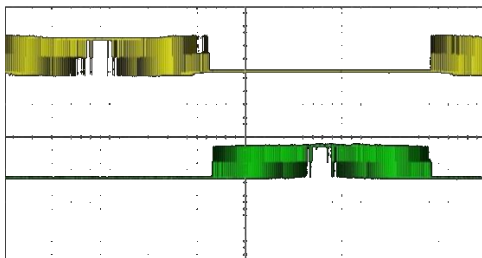
3.2. Pengujian Keluaran Rangkaian MOSFET Driver IR2110

Pengujian keluaran MOSFET driver dilakukan dengan menggunakan dua channel yang diletakan pada sisi kiri dan kanan dari MOSFET. Pengujian gelombang keluaran MOSFET driver dilakukan dengan menggunakan osiloskop. Pengujian pada osiloskop dapat digambarkan pada gambar 8.



Gambar 8. Gelombang sinyal MOSFET Driver

Pengujian dilakukan dengan nilai div sebesar 9V, t/div 2ms, dan faktor pengali probe 1x. Hasil pengujian keluaran dari MOSFET driver IR2110 :



Gambar 9. Gelombang sinyal SPWM Arduino Nano

Nilai Frekuensi dapat diketahui dengan menggunakan perhitungan yaitu:

$$T = 9 \text{ div} \times 2 \text{ ms/div} \times 1$$

$$T = 18 \text{ ms}$$

$$f = 1/18$$

$$f = 55 \text{ Hz}$$

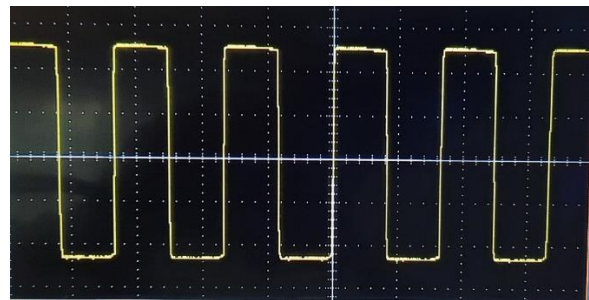
Berdasarkan perhitungan frekuensi diatas, dapat diketahui bahwa frekuensi yang dihasilkan pada MOSFET Driver yang dihubungkan langsung dengan MOSFET sebesar 55 Hz. Rangkaian IR2110 yang digunakan sebagai bootstrap berhasil mengatasi kondisi *floating supply* sehingga tegangan $V_{ground-source}$ atas dapat bernilai high dan bawah dapat bernilai low secara bergantian.

3.3. Pengujian Rangkaian Inverter Jembatan Penuh

Subbab ini membahas mengenai pengujian pada rangkaian inverter terdiri dari sumber masukan DC 60 V. Tegangan masukan kemudian akan diubah menjadi tegangan arus bolak-balik serta menjadi masukan transformator step-up. Pengujian ini dilakukan dengan beban arus bolak-balik berupa lampu LED, lampu pijar, dan kipas angin.

3.3.1. Pengujian Tanpa Beban

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui hasil gelombang keluaran ketika tidak ada beban pada keluaran inverter. Pengujian ini dilakukan dengan masukan inverter tetap yaitu 12 volt. Gambar 10 adalah hasil pengujian dari inverter tanpa beban.



Gambar 10. Gelombang Tgangan Keluaran Tanpa Beban

Gambar 4.9 didapat bahwa hasil tegangan dari keluaran inverteri jembatan penuh satu fasa berhasil membentuk gelombang bolak-balik. Hasil keluaran gelombang arus bolak-balik memiliki nilai tegangan 16,66 div dengan t/div sebesar 1 ms serta faktor pengali probe 1x

$$T = 16,66 \times 1 \text{ ms/div} \times 1$$

$$T = 16,66$$

$$f = 1/16,66$$

$$f = 60 \text{ Hz}$$

Berdasarkan perhitungan diatas nilai frekuensi keluaran yaitu sebesar 60 Hz yang sesuai dengan sinyal pemicuan SPWM dari MOSFET Driver.

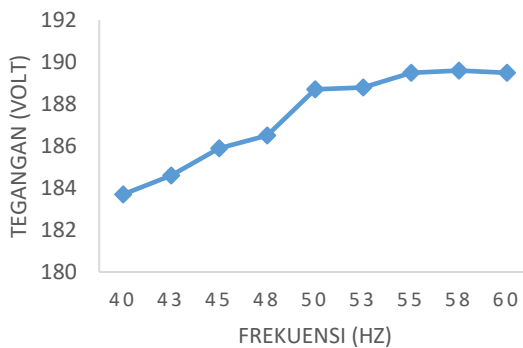
3.3.2. Pengujian Pada Beban Lampu LED

Pengujian pada beban lampu LED 12 Watt dilakukan dengan cara menghubungkan beban dengan keluaran pada rangkaian inverter. Tabel 3 merupakan data hasil pengujian rangkaian daya dengan beban lampu LED Watt.

Tabel 3. Hasil pengujian variasi frekuensi pada beban LED 12 Watt

Frekuensi	Vin (V _{oc})	Iin (A)	Vout (V _{Ac})	Iout (A)
40	66.6	1.1	183.7	0.45
43	66.5	1.1	184.6	0.45
45	66.5	1.1	185.9	0.45
48	66.5	1.1	186.5	0.45
50	66.6	1.1	188.7	0.44
53	66.6	1.1	188.8	0.44
55	66.6	1.1	189.5	0.44
58	66.6	1.1	189.6	0.44
60	66.6	1.1	189.5	0.44

Berdasarkan hasil data Tabel 3 pengujian didapatkan nilai perbandingan frekuensi dari tegangan keluaran dan frekuensi keluaran yang tertera pada Gambar 11.



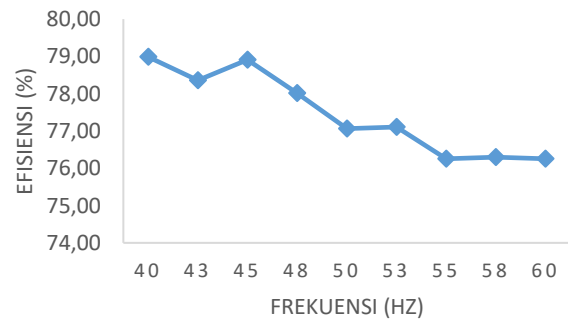
Gambar 11. Pengaruh frekuensi terhadap tegangan pada beban lampu LED 12 Watt

Pengaruh perubahan frekuensi keluaran terhadap efisiensi daya pada beban lampu LED 12 Watt terdapat pada tabel 4.

Tabel 4. Perhitungan efisiensi pada bebaan LED 12 Wat

Frekuensi (Hz)	Daya Masukan (W)	Daya Keluaran (W)	Efisiensi (%)
40	73.26	57.87	78.99
43	73.15	57.32	78.36
45	73.15	57.72	78.91
48	73.15	57.07	78.02
50	73.26	56.46	77.07
53	73.26	56.49	77.11
55	73.26	55.86	76.26
58	73.26	55.89	76.30
60	73.26	55.86	76.26

Berdasarkan Tabel 4 didapatkan besar nilai efisiensi daya terhadap variasi frekuensi sehingga dapat dibuat grafik antara frekuensi dan efisiensi seperti pada Gambar 12.



Gambar 12. Pengaruh frekuensi terhadap efisiensi pada beban lampu LED 12 Watt

Berdasarkan hasil dari tabel 4 dapat dilihat bahwa pada frekuensi 40 Hz didapatkan efisiensi sebesar 78,99% sedangkan untuk frekuensi 60 Hz didapatkan nilai efisiensi sebesar 76,26 %. Berdasarkan analisis nilai dari efisiensi tidak berubah secara signifikan terhadap perubahan frekuensi. Perbedaan nilai dari efisiensi dikarenakan terdapat adanya rugi-rugi daya. rugi-rugi pensaklaran dapat dihitung dengan menggunakan persamaan.

$$P_{loss\ switching} = (P_{loss\ \tau_{on}} + P_{loss\ \tau_{off}}) \times \text{jumlah\ mosfet}$$

$$P_{loss\ \text{saat } \tau_{on}} = I_{d\ (ON)} \times V_{in} \times T_{on} \times \text{duty\ cycle} \times fs$$

$$P_{loss\ \text{saat } \tau_{off}} = I_{d\ (ON)} \times V_{in} \times T_{off} \times \text{duty\ cycle} \times fs$$

Dimana :

I_d : Arus keluaran (*drain*)

T_{on} : Waktu hidup MOSFET

T_{off} : Waktu mati MOSFET

fs : Frekuensi *switching*

Rugi-rugi dari konduksi MOSFET dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$P_{loss\ switching} = I_{drain\ (ON)} \times R_{DS(ON)} \times \text{duty\ cycle} \times n$$

Dimana:

$I_{d\ (on)}$: Arus keluaran (*drain*)

R_{DS} : resistansi MOSFET saat hidup

n : Jumlah MOSFET

Dicuplik dari frekuensi 50 Hz maka didapatkan nilai rugi-rugi pensaklaran MOSFET sebesar 7,56 Watt dan rugi-rugi konduksi MOSFET sebesar 5,346 Watt.

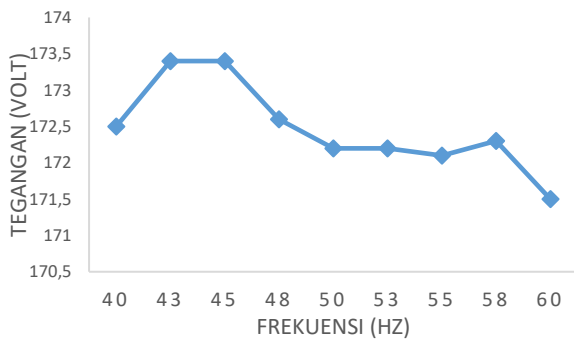
3.3.3. Pengujian Pada Beban Lampu Pijar

Pengujian pada beban lampu Pijar 100 Watt dilakukan dengan cara menghubungkan beban dengan keluaran pada rangkaian inverter. Tabel 5 merupakan data hasil pengujian rangkaian daya dengan beban lampu Pijar 100 Watt.

Tabel 5. Hasil pengujian variasi frekuensi pada beban lampu pijar 100 Watt

Frekuensi	Vin (V _{DC})	Iin (A)	Vout (V _{AC})	Iout (A)
40	66.6	1.8	172.5	0.57
43	66.5	1.8	173.4	0.57
45	66.5	1.8	173.4	0.57
48	66.5	1.8	172.6	0.57
50	66.6	1.8	174.2	0.56
53	66.6	1.8	173.2	0.56
55	66.6	1.8	173.1	0.56
58	66.6	1.8	172.3	0.56
60	66.6	1.8	170.3	0.56

Berdasarkan hasil data Tabel 5 pengujian didapatkan nilai perbandingan frekuensi dari tegangan keluaran dan frekuensi keluaran yang tertera pada Gambar 13.



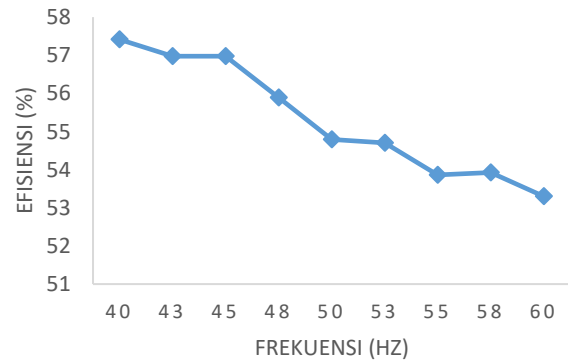
Gambar 13. Pengaruh frekuensi terhadap tegangan pada beban lampu pijar 100 Watt

Pengaruh perubahan frekuensi keluaran terhadap efisiensi daya pada beban lampu LED 12 Watt terdapat pada tabel 6.

Tabel 6. Perhitungan efisiensi pada bebaan lampu pijar 100 Watt

Frekuensi (Hz)	Daya Masukan (W)	Daya Keluaran (W)	Efisiensi (%)
40	119.88	68.83	57.41
43	119.7	68.20	56.97
45	119.7	68.20	56.97
48	119.7	66.90	55.89
50	119.88	65.69	54.79
53	119.88	65.57	54.70
55	119.88	64.57	53.86
58	119.88	64.65	53.93
60	119.88	63.90	53.30

Berdasarkan Tabel 6 didapatkan besar nilai efisiensi daya terhadap variasi frekuensi sehingga dapat dibuat grafik antara frekuensi dan efisiensi seperti pada Gambar 14.



Gambar 14. Pengaruh frekuensi terhadap efisiensi pada beban lampu pijar 100 Watt

Berdasarkan hasil dari Tabel 4.5 dapat dilihat bahwa pada frekuensi 40 Hz didapatkan efisiensi sebesar 57,41% sedangkan untuk frekuensi 60 Hz didapatkan nilai efisiensi sebesar 53,3 %. Berdasarkan analisis nilai dari efisiensi tidak berubah secara signifikan terhadap perubahan frekuensi. Perbedaan nilai dari efisiensi dikarenakan terdapat rugi-rugi dari pensaklaran inverter dapat dicuplik dari frekuensi 50 Hz maka didapatkan nilai rugi-rugi pensaklaran MOSFET sebesar 12,38 Watt dan rugi-rugi konduksi MOSFET sebesar 8,748 Watt.

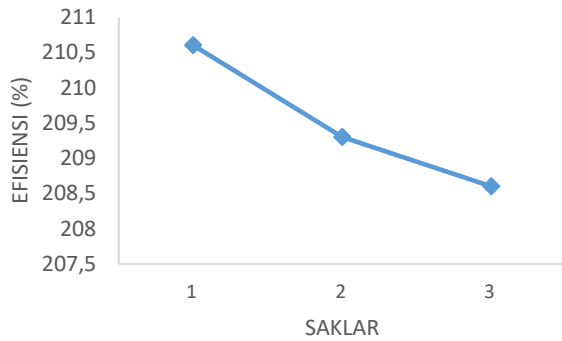
3.3.4. Pengujian Pada Beban Kipas Angin

Pengujian pada beban kipas angin 35 Watt dilakukan dengan cara menghubungkan beban dengan keluaran pada rangkaian inverter. Tabel 7 merupakan data hasil pengujian rangkaian daya dengan beban kipas angin 35 Watt.

Tabel 7. Hasil pengujian variasi frekuensi pada beban kipas angin 35 watt

Saklar	Vin (V _{DC})	Iin (A)	Vout (V _{AC})	Iout (A)	Cos φ
1	66.5	1.8	210.6	0.45	0.6
2	66.6	1.85	209.3	0.46	0.59
3	66.5	1.87	208.6	0.47	0.58

Berdasarkan Tabel 7 dapat dilihat bahwa hasil pengujian sudah sesuai dengan teori yaitu semakin besar nilai dari suatu beban maka besar arus yang mengalir juga akan semakin meningkat. Nilai arus keluaran *inverter* setelah transformator step-up terkecil adalah 0,45 A ketika pada beban saklar 1 sedangkan nilai arus keluaran terbesar adalah 0,47 A yaitu ketika pada beban saklar 3. Berdasarkan data hasil pengujian pada Tabel 7 dapat dibuat grafik perbandingan antara perubahan beban terhadap tegangan keluaran inverter setelah transformator step-up seperti pada gambar 15.



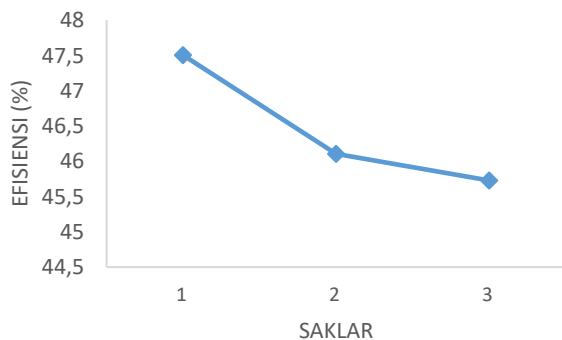
Gambar 15. Pengaruh frekuensi terhadap tegangan pada beban kipas angin 35 Watt

Berdasarkan Tabel 7 nilai dari efisiensi dari inverter jembatan penuh satu fasa dapat dihitung serta dapat dilakukan perbandingan antara efisiensi dan frekuensi keluaran. Pengaruh perubahan frekuensi keluaran terhadap efisiensi daya pada beban lampu LED 12 Watt terdapat pada tabel 8.

Tabel 8. Perhitungan efisiensi pada beban kipas angin 35 Watt

Saklar	Daya Masukan (W)	Daya Keluaran (W)	Efisiensi (%)
1	119.7	56.86	47.50
2	121.878	56.80	46.10
3	122.36	56.86	45.73

Berdasarkan Tabel 8 didapatkan grafik perbandingan perubahan efisiensi dari kipas angin pada rangkaian inverter jembatan penuh satu fasa yaitu:



Gambar 15. Pengaruh frekuensi terhadap efisiensi pada beban kipas angin 35 Watt

Berdasarkan Gambar 15 didapatkan bahwa kondisi saklar 1 memiliki efisiensi lebih tinggi dibandingkan saklar 2 dan 3. Kipas angin dengan saklar 1 memiliki efisiensi 47,5%, kipas angin dengan saklar 2 memiliki efisiensi sebesar 46,1%, dan kipas angin dengan saklar 3 memiliki efisiensi 45,73%. Berdasarkan pengujian, inverter jembatan penuh satu fasa memiliki efisiensi yang menurun seiring bertambahnya daya beban saat saklar kipas angin dinaikkan.

4. Kesimpulan

Inverter satu fasa jembatan penuh dengan transformator *step-up* berhasil dibuat dengan variasi frekuensi 40 Hz – 60 Hz. Berdasarkan pengujian hasil dari pengujian inverter topologi jembatan penuh satu fasa didapatkan besar nilai rata-rata efisiensi saat terbebani lampu LED yaitu 77,47 %, saat terbebani lampu pijar efisiensi rata-rata sebesar 55,31 %, dan saat terbebani kipas angin efisiensi rata-rata sebesar 54,86 %. Pada pengujian beban lampu pijar 100 W dan lampu LED 12 W, variasi frekuensi tidak mempengaruhi tegangan keluaran dan arus keluaran secara signifikan. Sebaliknya efisiensi mengalami penurunan dikarenakan terdapat rugi-rugi pensaklaran MOSFET, rugi-rugi konduksi MOSFET, dan rugi-rugi lainnya. Hal ini dibuktikan ketika beban lampu LED saat frekuensi 40 Hz memiliki efisiensi sebesar 78,99% dan saat frekuensi 60 Hz memiliki efisiensi sebesar 76,26%. Pada pengujian variasi frekuensi pada beban LED 12 W tegangan mengalami kenaikan saat 40 Hz- 50Hz yaitu 183,7 V sampai 188,7 V. Hal ini dikarenakan beban lampu LED cenderung menyerupai beban kapasitif dimana semakin besar frekuensi maka nilai impedansi akan semakin menurun sehingga nilai tegangan dan arus akan meningkat. 5. Pada pengujian variasi beban kipas angin, efisiensi berbanding terbalik dengan arus keluaran dimana efisiensi menurun seiring bertambahnya arus.

Referensi

- [1] K. ESDM and D. Ketenagalistrkan, "Statistik Ketenaga Listrik Tahun 2018," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2019.
- [2] S. M. Suroso, I. Setiawan, and B. Winardi, "PERANCANGAN INVERTER SATU FASA OFF-GRID MENGGUNAKAN DSPIC30F4011 DENGAN KONTROL ARUS METODE PROPORTIONAL RESONANT," *TRANSIENT*, vol. 7, no. 3, p. 754, May 2018.
- [3] W. Hart Danial, *Power Electronics*. New York: McGraw-Hill Book Company, 2011.
- [4] K. T. Atmojo, M. Facta, and T. Sukmadi, "Inverter Full Bridge Satu Fasa Berbasis Ic Sg3524," *Transient*, vol. 6, no. 3, p. 467, 2017, doi: 10.14710/transient.6.3.467-475.
- [5] "MOSFET IRF460 Datasheet," no. 2291, pp. 359–365, 1999.
- [6] M. H. Rashid, *Power Electronics Handbook: Circuits, Devices, and Application, Second*. San Diego, California: Elsevier Inc, 2007.
- [7] A. E. Fitzgerald, *Electric Machinery, Sixth Edition*. New York: McGraw-Hill Companies, Inc, 2003.
- [8] S. Maheshri and P. Khampariya, "Simulation of single phase SPWM (Unipolar) inverter," *Int. J. Innov. Res. Adv. Eng.*, vol. 1, no. 9, pp. 12–18, 2014.
- [9] R. Baharom, K. S. Muhammad, M. N. Seroji, and M. K. M. Salleh, "Development of a gate drive with overcurrent protection circuit using IR2110 for fast switching halfbridge converter," *ARN J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 10, no. 23, pp. 17463–17467, 2015.

- [10] Semiconductor Technical Data, "MUR1510, MUR1515, MUR1520, MUR1540, MUR1560," *Power*, pp. 1–7, 1996.
- [11] International Rectifier, "Datasheet Gate Driver Ir2110," *Www.Irf.Com*, vol. 2110, pp. 1–18, 2007, [Online]. Available: <https://www.infineon.com/cms/en/product/power/gate-driver-ics/ir2110/>.
- [12] International Rectifier, "IR2110 (-1-2)(S) PbF / IR2113 (-1-2)(S) PbF Absolute Maximum Ratings," *Data Sheet No. PD60147*, vol. 2110, pp. 1–18.
- [13] Philips Semiconductors, "PowerMOS transistors Avalanche energy rated QUICK REFERENCE DATA PowerMOS transistors Avalanche energy rated," no. September, pp. 1–7, 1999.
- [14] Semiconductor Components Industries, "AN-6076 Design and Application Guide of Bootstrap Circuit for High Voltage MOSFETs," *Semicond.*, pp. 1–15, 2017.
- [15] U. Manual, "Arduino Nano V2.3 User Manual," *Arduino*, pp. 1–5, 2008, [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>.