

SIMULASI KINERJA INVERTER - RECTIFIER KELAS D – E BERBASIS PSIM

Bayu Arie Wibowo^{*)}, and Mochammad Facta

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jln. Prof. Sudharto, SH. Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}Email : bayuarie@gmail.com

Abstrak

Konverter DC-DC merupakan salah satu jenis rangkaian elektronika daya yang berfungsi untuk mengkonversi tegangan masukan searah konstan menjadi tegangan keluaran searah yang dapat divariasikan berdasarkan perubahan duty cycle rangkaian kontrolnya. Rangkaian DC Chopper selama ini biasa dimanfaatkan untuk penyediaan tegangan keluaran DC yang bervariasi besarnya sesuai dengan permintaan beban. Meski demikian, penggunaan DC Chopper masih menyisakan kelemahan, yakni kurang sesuai ketika digunakan untuk mengkonversi DC bertegangan rendah ke tegangan yang lebih tinggi karena terlalu besarnya koefisien M (V_{out}/V_{in}), dengan nilai sekitar 18,3. Dampak dari itu adalah ketidakstabilan tegangan dan sulitnya membuat gelombang pemicuan dengan duty cycle mencapai 0,95. Pada penelitian ini, penulis mencoba menyajikan simulasi dan analisa rangkaian inverter rectifier kelas D-E dengan harapan dapat menjadi solusi atas kekurangan rangkaian DC Chopper, terutama saat digunakan untuk mengkonversi arus DC bertegangan rendah ke tegangan yang lebih tinggi. Simulasi dan analisa dilakukan menggunakan perangkat lunak PSIM 9.0, meliputi percobaan pengaturan tegangan tanpa menggunakan trafo, pengaturan pembebanan tanpa menggunakan trafo, pengaturan tegangan menggunakan trafo, serta pengaturan pembebanan menggunakan trafo, dengan parameter yang diamati berupa kualitas tegangan DC (ripple) dan efisiensi. Dari hasil pengujian menggunakan simulasi PSIM yang dirancang, efisiensi yang diperoleh sangat tinggi pada semua kondisi beban, berkisar antara 90,248 % - 99,995 %. Pengecualian terjadi saat nilai $R_L = 1,805 \text{ M}\Omega$, yang efisiensinya hanya mencapai 68 % - 77 %. Nilai ripple dari gelombang keluaran pada semua percobaan juga sangat rendah, yang besarnya tidak lebih dari 1,2 %.

Kata Kunci: Inverter, Rectifier, Kelas DE, PSIM

Abstract

DC-DC converter is a type of power electronics circuits that used to convert a constant DC input voltage to a variable DC output voltage based on duty cycle changes in the control circuit. Nowadays, DC Chopper is commonly used to supply DC output voltage that varies according to the load demand. However, the use of DC Chopper still has some weakness, which are less appropriate when used to convert a DC low-voltage to a higher DC voltage, because coefficient M (V_{out} / V_{in}) is too big that hover around 18.3. It causes voltage instability and difficulty of making trigger wave with duty cycle 0.95. In this research, the author tries to present the simulation and analysis of class D-E inverter rectifier. Hopefully this concepts of DC-DC converter can be a solution to the shortage of DC Chopper, especially when used to convert a DC low-voltage to a higher DC voltage. Simulation and analysis performed using PSIM 9.0 software which includes several experiments, such as voltage regulation without using a transformer, load regulation without using a transformer, voltage regulation using a transformer, as well as load regulation using a transformer, with the observed parameters such as the quality of DC voltage (ripple) and efficiency. From the test results using PSIM simulation designed, extremely high efficiency is obtained at all load conditions, ranging from 90.248% - 99.995%. An exception occurs when the value of $R_L = 1.805 \text{ M}\Omega$, the efficiency is only reached 68% - 77%. Value of output voltage ripple on all experiments are also very low, which amount is not more than 1.2%.

Keywords: Inverter, Rectifier, DE class, PSIM

1. Pendahuluan

Saat ini peran elektronika daya sangatlah luas pemakaiannya. Salah satu penerapan bidang elektronika daya yang banyak dibutuhkan dalam kehidupan sehari-hari adalah DC-DC konverter. Konverter DC-DC

merupakan salah satu jenis rangkaian elektronika daya yang berfungsi untuk mengkonversi tegangan masukan searah konstan menjadi tegangan keluaran searah yang dapat divariasikan berdasarkan perubahan duty cycle rangkaian kontrolnya. Rangkaian DC Chopper selama ini biasa dimanfaatkan untuk penyediaan tegangan keluaran

DC yang bervariasi besarnya sesuai dengan permintaan beban. Meski demikian, penggunaan DC Chopper masih menyisakan kelemahan, yakni kurang sesuai ketika digunakan untuk mengkonversi DC bertegangan rendah ke tegangan yang lebih tinggi karena terlalu besarnya koefisien M (V_{out}/V_{in}), dengan nilai sekitar 18,3. Dampak dari itu adalah ketidakstabilan tegangan dan sulitnya membuat gelombang pemicuan dengan *duty cycle* mencapai 0,95.

2. Metode

2.1 Prinsip dasar Konversi DC-DC

Pada penelitian ini akan diteliti metode DC-DC konverter menggunakan inverter-rectifier kelas D-E dengan harapan dapat menjawab permasalahan tersebut. Penelitian dilakukan menggunakan bantuan perangkat lunak PSIM 9.0, dengan parameter yang diamati antara lain kualitas tegangan DC (ripple) dan efisiensi.

Konverter DC-DC merupakan salah satu jenis rangkaian elektronika daya yang berfungsi untuk mengkonversi tegangan masukan searah konstan menjadi tegangan keluaran searah yang dapat divariasikan berdasarkan perubahan *duty cycle* rangkaian kontrolnya. Sumber tegangan DC dari konverter DC-DC dapat diperoleh dari baterai, atau dengan menyearahkan sumber tegangan AC yang kemudian dihaluskan dengan filter kapasitor untuk mengurangi riak (*ripple*).

2.2 Kelemahan DC Chopper (Boost) Konvensional

Untuk mengkonversi tegangan DC 12 V menjadi 220 V (*step up*), DC Chopper yang umum digunakan adalah jenis Boost. Akan tetapi, pengkonversian dengan DC Chopper Boost ini memiliki beberapa kekurangan :

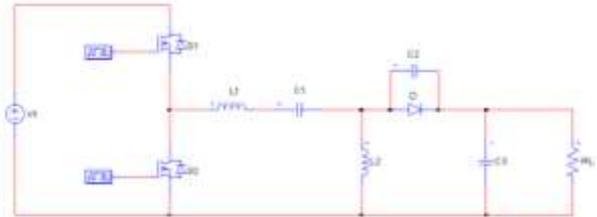
1. Berdasarkan persamaan DC Chopper Boost, untuk membuat tegangan keluaran 220 V DC dari 12 V DC, maka diperlukan *duty cycle* sebesar 0,945. *Duty cycle* ini sangatlah sulit diperoleh jika diterapkan pada perangkat keras, karena ketidaksempurnaan komponen yang mengakibatkan *duty cycle* 0,945 seolah-olah seperti lurus (*duty cycle* = 1).
2. Melesetnya nilai *duty cycle* meskipun hanya sedikit, maka akan sangat berpengaruh pada tegangan keluaran yang dihasilkan DC Chopper. Misalkan, untuk *duty cycle* 0,945 tegangan keluarannya adalah 218,1 V. Apabila *duty cycle* berubah sedikit saja menjadi 0,955 maka tegangan keluaran akan menjadi 266,7 V. Hal ini akan sangat beresiko merusak beban yang dicatu.

2.3 Perancangan Simulasi

2.3.1 Inverter - Rectifier Kelas D – E

Dalam perancangan simulasi ini diasumsikan pada penelitian ini nilai $V_i = 24$ V, $V_o = 12$ V, dan $R_L = 4,8$ Ω . Dari nilai tersebut dapat kita hitung nilai arus keluaran

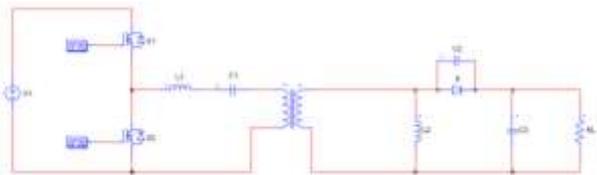
maksimal sebesar $I_{O_{max}} = V_o / R_{L_{min}} = 12$ V / 4,8 $\Omega = 2,5$ A. Dan daya maksimum yang dapat ditanggung adalah sebesar $P_{O_{max}} = V_o \times I_{O_{max}} = 12$ V x 2,5 A = 30 Watt.



Gambar 1 Rangkaian inverter-rectifier kelas D-E

2.3.2 Inverter – Rectifier Kelas D – E dengan Trafo

Simulasi ini bertujuan untuk mendapatkan rancangan inverter-rectifier kelas D-E untuk tujuan *step up* menggunakan sebuah trafo ideal. Diasumsikan nilai beban (P_o max) sama, yaitu 30 W dengan tegangan output yg diinginkan 110 V.

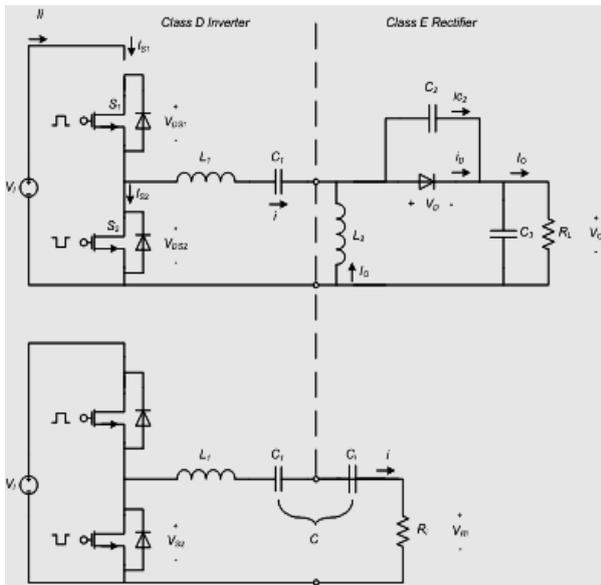


Gambar 2 Rangkaian inverter-rectifier kelas D-E dengan trafo

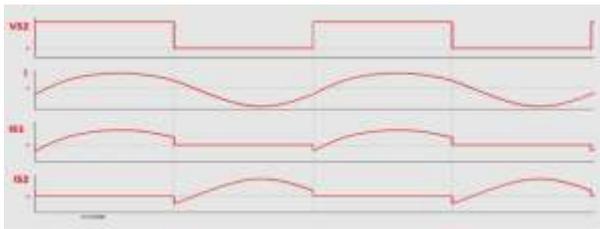
3. Hasil dan Analisa

3.1 Simulasi Inverter - Rectifier Kelas D-E

Gambar 3 merepresentasikan gelombang pemicuan dari inverter-rectifier kelas D-E. VS2 merupakan tegangan pemicuan saklar 2. Arus i merupakan arus yang mengalir melewati induktor-kapasitor hubung seri. kemudian IS1 dan IS2 merupakan arus yang mengalir melewati saklar 1 dan 2. Keterangan gambar dapat dilihat pada gambar 4.

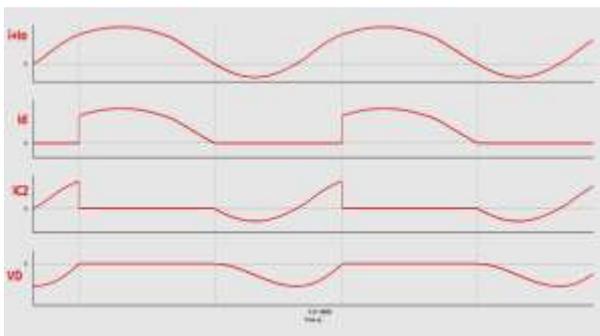


Gambar 3 Rangkaian inverter-rectifier kelas D-E



Gambar 4 Gelombang pensaklaran inverter - rectifier kelas D-E

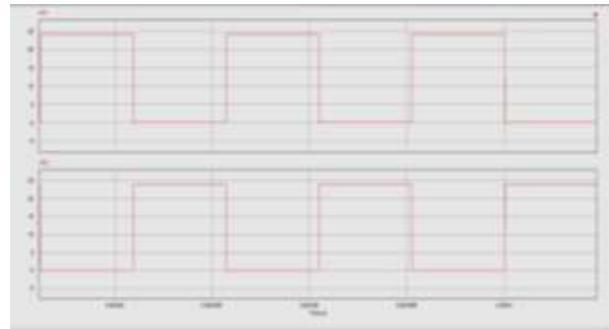
Gelombang arus yang mengalir pada sistem resonan pun sudah sama dengan gelombang arus pada dasar teori. Gambar 5 merupakan gelombang arus hasil simulasi.



Gambar 5 Gelombang arus resonan

Salah satu kelebihan dari inverter rectifier kelas D-E ini adalah tegangan yang dialami oleh komponen MOSFET-nya tidak lebih besar dari pada tegangan sumbernya. Pada prakteknya hal ini sangat menguntungkan karena MOSFET yang digunakan adalah MOSFET dengan tipe VDS yang rendah, sehingga nilai Rds ON-nya bernilai rendah. Tegangan yang dialami oleh MOSFET 1 dan

MOSFET 2 dapat dilihat pada gambar 6, yang pada simulasinya diberi tegangan masukan 24 V.

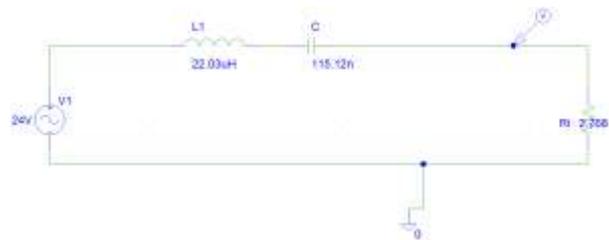


Gambar 6 Tegangan pensaklaran MOSFET 1 dan MOSFET 2

Dari gambar 6 dapat dilihat bahwa tegangan yang dialami oleh MOSFET 1 dan MOSFET 2, tidak lebih dari tegangan masukannya. Hal ini adalah salah satu kelebihan dari inverter rectifier kelas D-E.

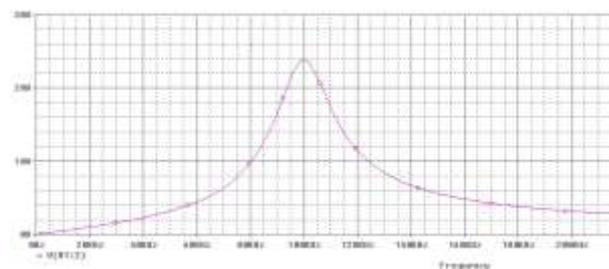
3.1.1 Perbandingan Operasi $f < f_0$

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui respon filter pada saat frekuensi pemucuan lebih kecil dari frekuensi resonansi. Untuk mengamati karakteristik operasi saat $f < f_0$, digunakan perangkat lunak bantu tambahan, yakni PSpice.



Gambar 7 Rangkaian uji beserta komponen alat ukur pada simulasi PSpice

Setelah simulasi dijalankan, akan didapat kurva respon filter berikut.



Gambar 8 Tampilan kurva respon filter pada simulasi PSpice

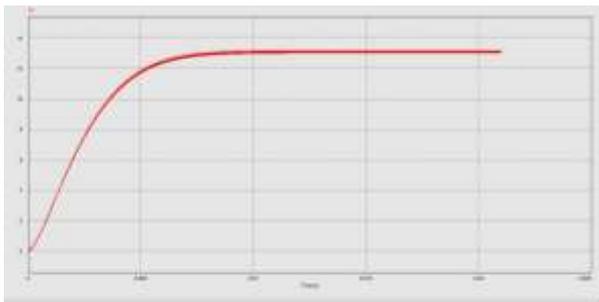
Nilai frekuensi yang diamati pada simulasi $f < f_0$ adalah frekuensi saat tegangannya sebesar 50% lebih kecil dari tegangan masukan. Dari hasil pengamatan, didapatkan frekuensinya berada pada 84,1 kHz. Untuk membandingkan antara hasil kurva respon filter dengan simulasi pengaturan tegangan, dengan frekuensi 84,1 kHz ternyata hanya menghasilkan tegangan sebesar 7,561 V dari yang seharusnya 12 V di PSIM.

3.1.2 Perbandingan Operasi $f > f_0$

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui respon filter pada saat frekuensi pemicuan lebih besar dari frekuensi resonansi. Nilai frekuensi yang diamati pada simulasi $f > f_0$ adalah frekuensi saat tegangannya sebesar 50% lebih besar dari tegangan masukan. Untuk membandingkan antara hasil kurva respon filter dengan simulasi pengaturan tegangan, dengan frekuensi 118,822 kHz. Sama seperti saat pengujian $f < f_0$, terdapat perbedaan nilai tegangan keluaran pada simulasi PSIM dan PSpice. Tegangan yang dihasilkan di simulasi PSpice hanya sebesar 7,587 V dari yang seharusnya 12 V di PSIM.

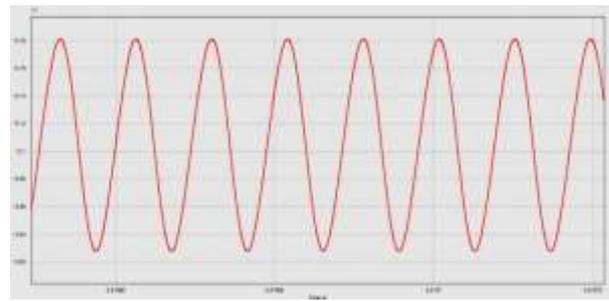
3.1.3 Pengaturan Tegangan pada Beban yang Sama

Penelitian meliputi pengujian pengaturan tegangan dengan masukan tegangan DC 24 V untuk mendapatkan tegangan keluaran DC sebesar 13,1 V, 12 V, 11 V, 10 V, 9 V, 8 V, 7 V, 6 V, dan 5 V. Pengaturan untuk memperoleh tegangan yang diharapkan dilakukan dengan cara mengatur frekuensi pemicuannya. Kemudian diamati nilai ripple dan efisiensi gelombang keluaran yang dihasilkan oleh rangkaian.



Gambar 9 Gelombang keluaran rangkaian tanpa trafo $V_{out} = 13,1 \text{ V}$ ($R_L = 4,8 \Omega$)

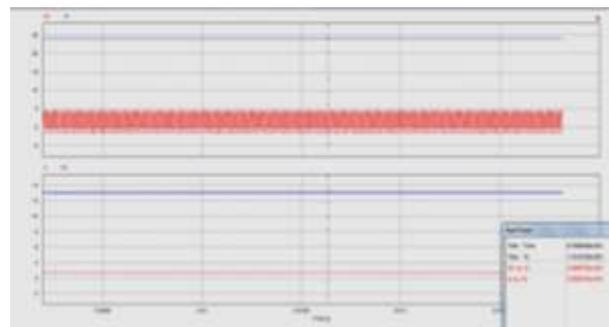
Gambar 7 merupakan gelombang keluaran dari inverter-rectifier yang dirancang. Apabila ingin mengamati ripple dari gelombang keluaran, gambar tersebut perlu diperbesar pada kondisi *steady state* yang hasilnya dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 10 Hasil pengamatan Ripple pada rangkaian tanpa trafo $V_{out} = 13,1 \text{ V}$ ($R_L = 4,8 \Omega$)

Nilai batas atas ripple adalah 13,18 V, dan batas bawahnya adalah 13,04 V. Nilai ripple didapat dari hasil pengurangan antara batas atas ripple dengan batas bawahnya.

Setelah mendapat nilai ripple, diamati pula nilai efisiensi dari masing-masing pengaturan tegangan keluaran. Pengamatan dilakukan dengan membandingkan daya masukan dari sumber DC dengan daya keluaran yang dialami oleh beban. Data arus dan tegangan dari masukan dan keluaran dapat dilihat pada gambar 9.



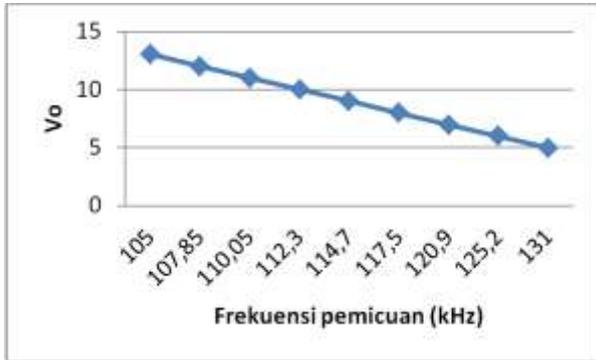
Gambar 11 Hasil pengamatan efisiensi pada rangkaian tanpa trafo $V_{out} = 13,1 \text{ V}$

Tabel yang menunjukkan pengaruh frekuensi pemicuan terhadap gelombang tegangan keluaran, ripple, dan efisiensi dapat dilihat pada tabel 1.

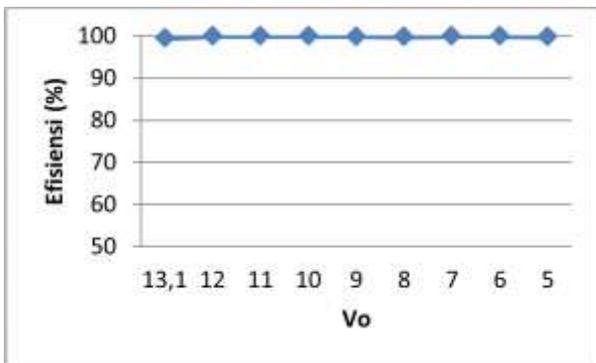
Tabel 1 Hasil analisa pengaturan tegangan tanpa trafo

Frekuensi Pemicuan (kHz)	Tegangan Keluaran (V)	Ripple (%)	Efisiensi (%)
105,00	13,1	1,215	99,421
107,85	12	1,156	99,941
110,05	11	1,143	99,995
112,30	10	1,128	99,973
114,70	9	1,131	99,906
117,50	8	1,062	99,876
120,90	7	1,072	99,933
125,20	6	1,046	99,951
131,00	5	1,013	99,823

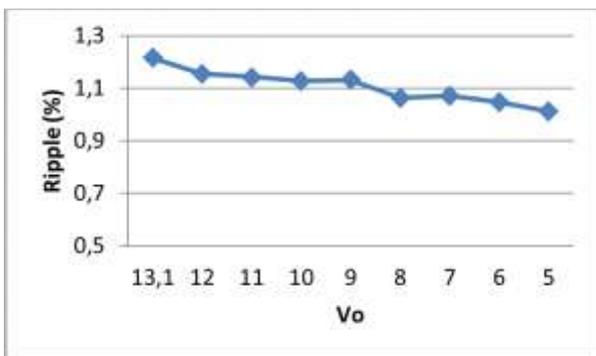
Dari hasil pengujian di atas, dapat dibuat grafik hubungan antara frekuensi pemucuan (f), tegangan keluaran (V_O), terhadap ripple, dan efisiensi sebagai berikut.



Gambar 12 Grafik hubungan Frekuensi switching dan V_O



Gambar 13 Grafik hubungan V_O dan efisiensi



Gambar 14 Grafik hubungan V_O dan Ripple %

Dari ketiga grafik perbandingan di atas, dapat dianalisa bahwa untuk mengatur tegangan, frekuensi switchingnya harus diubah. Tegangan akan turun apabila frekuensi switchingnya dinaikkan.

Kemudian nilai efisiensi sangat tinggi (di atas 99%) pada semua kondisi tegangan. Nilai *ripple*-pun tidak ada yang melebihi 1,3%. Artinya konverter ini memiliki kualitas yang baik pada semua kondisi.

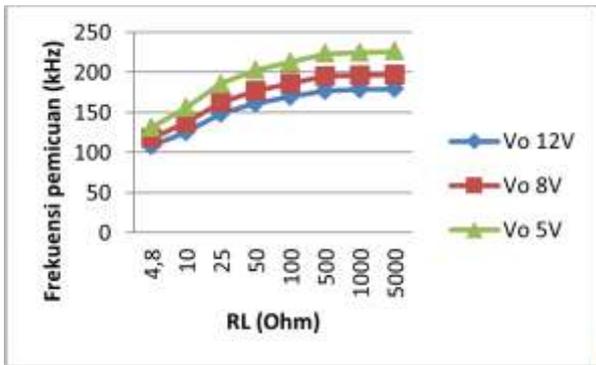
3.1.4 Pengaturan Variasi Pembebanan

Rangkaian inverter-rectifier ini memiliki kekurangan yaitu apabila nilai R_L diubah, maka akan mempengaruhi nilai Q , yang akan merubah nilai tegangan keluaran. Pada prakteknya hal ini sangat dihindari karena dapat menyebabkan kerusakan pada beban. Pada percobaan dilakukan pengujian mengenai pengaruh variasi beban terhadap tegangan dan langkah-langkah untuk menjaga tegangan agar nilainya tetap dengan cara mengatur frekuensi pemucuan. Pengujian variasi beban dilakukan dengan cara mengubah-ubah nilai R_L . Dalam pengujian ini tegangan yang dijaga tetap ada tiga macam tegangan, yakni 12 V, 8 V, dan 5 V, dan diujikan diujikan nilai beban R_L sebesar 4,8 Ω , 10 Ω , 25 Ω , 50 Ω , 100 Ω , 500 Ω , 1000 Ω , dan 5000 Ω . Selanjutnya kembali diamati nilai ripple dan efisiensi gelombang keluaran yang dihasilkan oleh rangkaian.

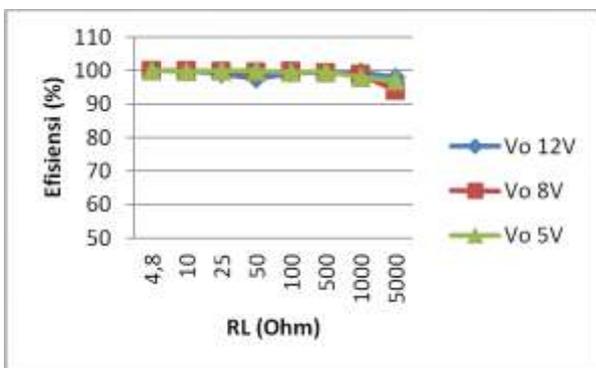
Tabel 2 Hasil analisa variasi bebantampa trafo

Setting Tegangan Keluaran (V)	R_L (Ω)	Frekuensi Pemucuan (kHz)	Ripple (%)	Efisiensi (%)
12	4,8	107.850	1,156	99,976
	10	125.850	0,668	99,909
	25	148.350	0,399	99,01
	50	161.158	0,309	97,49
	100	169.610	0,260	99,319
	500	177.360	0,227	99,489
	1000	178.445	0,222	99,435
	5000	179.300	0,217	97,951
8	4,8	117.510	1,098	99,922
	10	137.500	0,634	99,987
	25	162.660	0,381	99,679
	50	176.950	0,298	99,489
	100	186.250	0,259	99,750
	500	195.200	0,217	99,339
	1000	196.430	0,214	98,806
	5000	197.340	0,212	93,896
5	4,8	130.950	1,015	99,970
	10	155.995	0,589	99,835
	25	186.100	0,361	99,882
	50	202.500	0,288	99,949
	100	213.150	0,250	99,459
	500	223.250	0,221	99,795
	1000	224.730	0,216	97,955
	5000	225.960	0,212	97,025

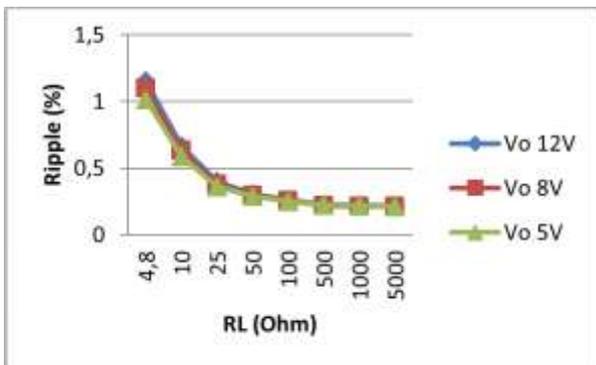
Dari tabel 2 dapat dibuat grafik hubungan antara beban R_L , tegangan keluaran (V_O), frekuensi pemucuan (f) terhadap *ripple*, dan efisiensi sebagai berikut.



Gambar 15 Grafik hubungan R_L dan frekuensi switching pada tiga nilai tegangan



Gambar 16 Grafik hubungan R_L dan efisiensi pada tiga nilai tegangan

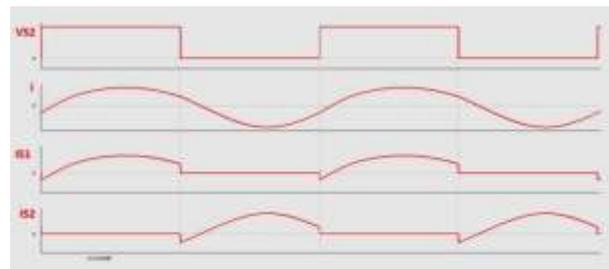


Gambar 17 Grafik hubungan R_L dan ripple pada tiga nilai tegangan

Dari ketiga grafik tersebut dapat dianalisa bahwa untuk mendapatkan tegangan yang tetap, apabila nilai beban (R_L) diubah, maka nilai frekuensiyapun harus diubah. ketika nilai R_L ditambah, maka frekuensi harus ditambah untuk mendapatkan nilai tegangan yang sama. Kemudian untuk nilai efisiensinya, sangat tinggi (di atas 97%) pada semua kondisi beban. Dan nilai ripple-nya juga sangat rendah, tidak lebih dari 1,2%. Ada sedikit fenomena di mana semakin tinggi nilai R_L , maka semakin kecil pula ripple-nya.

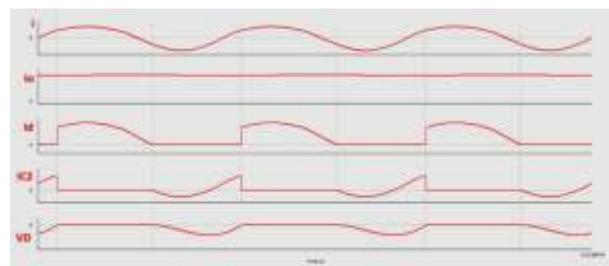
3.2 Simulasi Inverter Rectifier Kelas D-E Dengan Trafo

Percobaan ini merupakan simulasi rangkaian inverter rectifier kelas D-E pada kondisi rangkaian menggunakan trafo untuk tujuan step up. Pengujian yang dilakukan hampir sama dengan pembahasan pada rangkaian tanpa trafo, yaitu mensimulasikan rangkaian meliputi cara kerja rangkaian, bentuk gelombang dari masing-masing komponen, serta pembahasan mengenai kualitas (*ripple* dan efisiensi) inverter-rectifier yang dirancang.



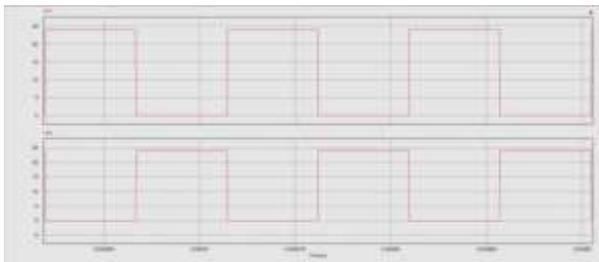
Gambar 18 Gelombang pensaklaran Inverter-rectifier kelas D-E dengan trafo

Pada gelombang arus yang mengalir pada sistem resonan, ada sedikit perbedaan dikarenakan adanya penggunaan trafo. Nilai arus i (arus pada sisi resonan seri) merupakan nilai arus pada bagian sisi primer trafo. Sedangkan nilai i_0 (arus induktor 2), arus dioda dan arus kapasitor (i_d dan i_{c2}) merupakan arus pada sisi trafo bagian sekunder, sehingga antara keempatnya tidak dapat dibandingkan secara langsung.



Gambar 19 Gelombang arus resonan Inverter-rectifier kelas D-E dengan trafo

Kemudian diamati tegangan pensaklaran pada masing-masing MOSFET. Pada kondisi tanpa trafo, salah satu kelebihan inverter rectifier kelas D-E ini adalah tegangan pensaklarannya rendah. Gambar tegangan pensaklaran pada kondisi dengan trafo dapat dilihat pada gambar 18.



Gambar 20 Tegangan pensaklaran pada aplikasi trafo

Ternyata pada kondisi dengan trafo (untuk aplikasi step up) nilai tegangan pensaklarannya masih tidak lebih dari tegangan masukannya. Hal inilah yang menjadi kelebihan inverter rectifier kelas DE.

3.2.1 Pengaturan Tegangan pada Beban yang Sama

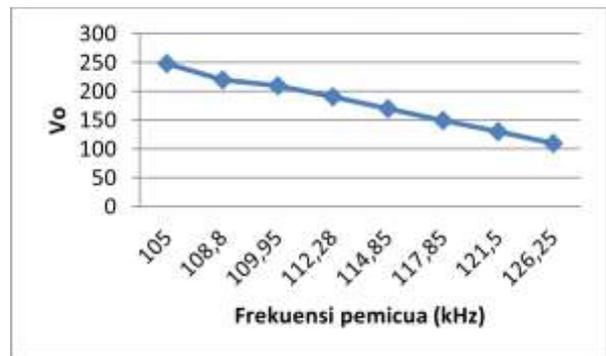
Percobaan ini menguji pengaturan tegangan keluaran inverter-rectifier kelas D-E pada beban yang sama, untuk aplikasi step up dengan menggunakan trafo. Cara untuk mengatur tegangan keluaran pada percobaan ini sama dengan percobaan tanpa trafo, yaitu dengan cara mengatur frekuensi pemicuan pada kedua MOSFET. Apabila tegangannya akan diubah, maka frekuensi pemicuannya pun harus diubah. Untuk menurunkan tegangan keluaran, frekuensi pemicuan perlu ditambah. Artinya hubungan antara tegangan keluaran dengan frekuensi pemicuan adalah berbanding terbalik.

Pengujian dilakukan dengan melakukan pengaturan tegangan pada sample tegangan 248 V, 220 V, 210 V, 190 V, 170 V, 150 V, 130 V, dan 110 V. Kemudian diamati nilai ripple dan efisiensi gelombang keluaran yang dihasilkan oleh rangkaian.

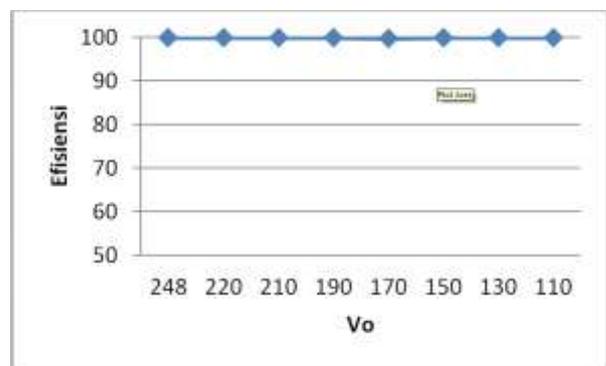
Tabel 3 Hasil analisa pengaturan tegangan dengan trafo

Frekuensi Pemicuan (kHz)	Tegangan Keluaran (V)	Ripple (%)	Efisiensi (%)
105	248	1,175	99,881
108.8	220	1,150	99,970
109.95	210	1,142	99,912
112.28	190	1,128	99,928
114.85	170	1,111	99,761
117.85	150	1,091	99,913
121.5	130	1,068	99,914
126.25	110	1,040	99,886

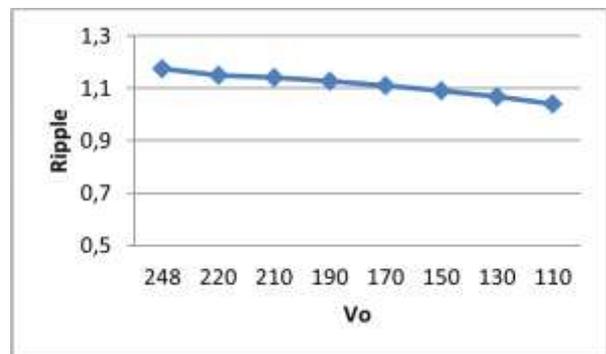
Dari hasil pengujian di atas, dapat dibuat grafik hubungan antara frekuensi pemicuan (f), tegangan keluaran (V_o), terhadap ripple, dan efisiensi sebagai berikut.



Gambar 21 Grafik hubungan Frekuensi switching dan V_o



Gambar 22 Grafik hubungan V_o dan Efisiensi



Gambar 23 Grafik hubungan V_o dan ripple %

Dari ketiga grafik perbandingan di atas, dapat dianalisa bahwa untuk mengatur tegangan, frekuensi switchingnya harus diubah. Tegangan akan turun apabila frekuensi switchingnya dinaikkan.

Kemudian nilai efisiensi sangat tinggi (di atas 99%) pada semua kondisi tegangan. Nilai ripple-pun tidak ada yang melebihi 1,3%. Artinya konverter ini memiliki kualitas yang baik pada semua kondisi.

3.2.2 Pengaturan Variasi Pembebanan

Sama seperti pengujian variasi pembebanan tanpa trafo, dalam pengujian ini tegangan dijaga tetap pada tiga

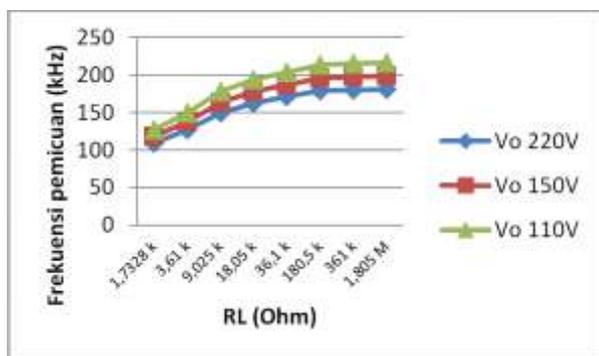
macam tegangan, yakni 220 V, 150 V, dan 110 V, dan diujikan diujikan nilai beban RL sebesar 1,7328 kΩ, 3,61 kΩ, 9,025 kΩ, 18,05 kΩ, 36,1 kΩ, 180,5 kΩ, 361 kΩ, dan 1,805 MΩ. Selanjutnya diamati nilai ripple dan efisiensi gelombang keluaran yang dihasilkan oleh rangkaian.

Tabel yang menunjukkan pengaruh frekuensi pemucuan terhadap gelombang tegangan keluaran, ripple, dan efisiensi pada pengujian variasi pembebanan dapat dilihat pada tabel berikut.

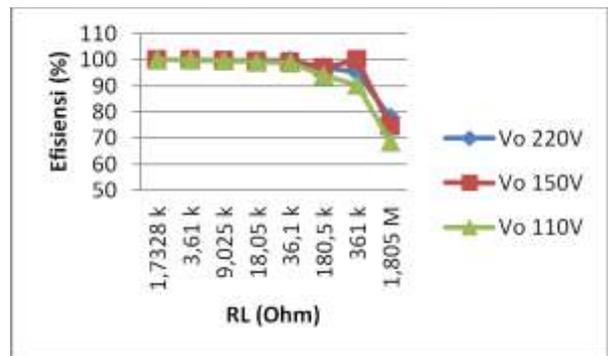
Tabel 4 Hasil analisa variasi bebantampa trafo

Setting Tegangan Keluaran (V)	RL (Ω)	Frekuensi Pemucuan (kHz)	Ripple (%)	Efisiensi (%)
220	1,7328 k	108,780	1,150	99,938
	3,61 k	126.780	0,666	99,884
	9,025 k	149.520	0,395	99,805
	18,05 k	162.517	0,305	99,578
	36,1 k	170.930	0,259	99,533
	180,5 k	178.950	0,221	97,113
	361 k	180.020	0,216	95,252
	1,805 M	180.880	0,212	77,809
	1,7328 k	117.850	1,091	99,921
150	3,61 k	137.950	0,633	99,883
	9,025 k	163.260	0,38	99,784
	18,05 k	177.600	0,297	99,488
	36,1 k	186.900	0,255	99,120
	180,5 k	195.880	0,221	96,778
	361 k	197.115	0,216	99,922
	1,805 M	198.110	0,212	74,496
	1,7328 k	126.250	1,040	99,895
	3,61 k	149.500	0,604	99,866
110	9,025 k	177.900	0,367	99,605
	18,05 k	193.640	0,290	99,172
	36,1 k	203.800	0,252	98,747
	180,5 k	213.620	0,219	94,048
	361 k	214.980	0,215	90,243
	1,805 M	216.110	0,212	68,638

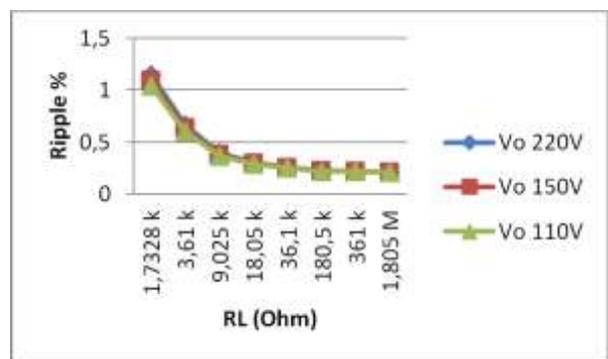
Dari tabel 4 dapat dibuat grafik hubungan antara beban RL, tegangan keluaran (Vo), frekuensi pemucuan (f) terhadap ripple, dan efisiensi sebagai berikut.



Gambar 24 Grafik hubungan RL dan frekuensi switching pada tiga nilai tegangan



Gambar 25 Grafik hubungan RL dan efisiensi pada tiga nilai tegangan



Gambar 26 Grafik hubungan RL dan ripple % pada tiga nilai tegangan

Dari ketiga grafik tersebut dapat dianalisa bahwa untuk mendapatkan tegangan yang tetap, apabila nilai beban (RL) diubah, maka nilai frekuensiyapun harus diubah. Ketika nilai RL ditambah, maka frekuensi harus ditambah untuk mendapatkan nilai tegangan yang sama.

Kemudian untuk nilai efisiensinya, sangat tinggi (di atas 90%) pada semua kondisi beban, kecuali pada nilai RL 1,805MΩ yang bernilai 68%-77%. Kemudian nilai ripple-nya juga sangat rendah, tidak lebih dari 1,2%. Ada sedikit fenomena di mana semakin tinggi nilai RL, maka semakin kecil pula ripple-nya.

4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisa penelitian dengan judul “Simulasi Kinerja Inverter - Rectifier Kelas D – E Berbasis PSIM” pada kondisi tanpa trafo, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa inverter rectifier kelas D-E ini dapat diatur tegangannya dengan mengatur frekuensi pemucuan. Hasil pengujian pengaturan beban, dapat dianalisa bahwa salah satu karakteristik dari inverter rectifier kelas D-E ini adalah apabila bebannya diubah, maka frekuensinya perlu disesuaikan untuk mendapatkan nilai tegangan yang sama. Pada prakteknya, inverter rectifier kelas D-E ini perlu dirangkai dengan metode kontrol *close loop* agar nilai tegangannya tetap.

Pada pengujian kondisi menggunakan trafo, didapatkan hasil bahwa rangkaian ini mampu mengkonversi DC bertegangan rendah ke tegangan yang lebih tinggi hingga 248 V DC dengan hasil yang sangat baik.

Pada semua kondisi tegangan baik menggunakan trafo maupun tidak, nilai ripple sangatlah kecil, yaitu berkisar antara 0,212% hingga 1,215%. Kemudian nilai efisiensinya juga sangat tinggi, yaitu di atas 90%, kecuali pada nilai R_L 1,805 M Ω yang berkisar antara 68%-77%.

Sebagai saran, ke depannya hasil penelitian berupa simulasi ini dapat dikembangkan lagi dengan cara merealisasikannya dalam bentuk perangkat keras. Pada aplikasi perangkat keras yang akan dirancang, alat ini dapat digunakan untuk mensuplai beban DC yang nilai bebannya tetap. Kemudian perlu ditambahkan sistem *close loop*, agar nilai tegangannya tetap pada beban berapapun.

Referensi

- [1]. Kazimierczuk, Marian and Czarkowski, Dariusz. "Resonant Power Converters", John Wiley & Sons, Inc. USA, 1995.
- [2]. Hamill, David C. "Class DE Inverters and Rectifiers for DC-DC Conversion", Department of Surrey, Guildford GU2 5XH. United Kingdom, 1996.
- [3]. Hart, Daniel W. "Power Electronics", McGrawHill. New York, 2010.
- [4]. Rashid, Muhammad H. "Power Electronics Handbook", Academic Press. USA, 2001.
- [5]. Mohan, Ned, dkk. "Power Electronics; Converters, Applications, and Design", John Wiley & Sons, Inc. USA, 1995.
- [6]. Molnar, Bela, dkk. "Class E High-Frequency High-Efficiency DC/DC Power Converter", Patent Publication No. US 4607323 A, 1986.
- [7]. Chandrasekhar, P. and Reddy, S. Rama. "Design Consideration of LLC Resonant Converter for Electrolyser", International Journal on Electrical Engineering and Informatics – Volume 3, Number 3, 2011.
- [8]. Margaranu,FitriaPanji. *AnalisisdanSimulasi "Load Resonant & Quasi Resonant DC - DC Converters" dengan PSIM Versi 4.1*,UniversitasDiponegoro.Semarang, 2008.
- [9]. Koizumi, Hirotaka, dkk. "Resonant DC/DC Converter with Class DE Inverter and Class E Rectifier Using Thinned-Out Method", IEEE Transactions on Circuits and Systems – Fundamental Theory and Applications, Vol. 48, No. 1, 2001.
- [10]. De Vries, Ian Douglas. "High Power and High Frequency Class-DE Inverters", Thesis for Degree of Doctor of Philosophy Departement of Electrical Engineering, University of Cape Town, 1999.
- [11]. Arumugam, S. andReddy, S.Rama. "A Noval Comparison of Class D and Class E Inverter Based High Frequency Application",The Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati Fascicle III, Vol.34, No.2, 2011.