

ANALISIS UNJUK KERJA INVERTER SETENGAH JEMBATAN DENGAN PIRANTI PENSAKLARAN BERBASIS IGBT DAN MOSFET

Faisal Aji Syafriarso^{*)}, Mochammad Facta, and Juningtyastuti

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

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

Abstrak

Dunia industri belakangan banyak menghadirkan perkembangan dalam berbagai bidang yang memudahkan kehidupan manusia salah satunya adalah alat-alat elektronika juga semakin beragam. Salah satu alat elektronika yang kita kenal adalah Inverter yang merupakan sebuah konverter listrik searah (DC) menjadi bolak-balik (AC). Dalam prakteknya konverter DC-AC terdapat banyak ragam, namun pada penelitian ini akan dilakukan analisa tentang konverter DC-AC half-bridge frekuensi tinggi resonan LC seri beban paralel yang berfungsi sebagai trafo step-up. Dalam perkembangannya inverter menggunakan piranti pensaklaran yang beragam, mulai dari JFET, MOSFET, serta IGBT. Pada Penelitian ini akan digunakan piranti pensaklaran MOSFET dan IGBT agar diketahui karakteristik keluaran masing – masing. Hasil dari penelitian yang didapat menunjukkan Inverter setengah jembatan dengan IGBT memiliki efisiensi terbesar bernilai 33,601 % saat beroperasi pada frekuensi 13KHz. Sedangkan Inverter Setengah Jembatan dengan MOSFET memiliki efisiensi terbesar bernilai 63,920% saat beroperasi pada frekuensi resonan.

Kata Kunci : Inverter, Konverter LC, IGBT, MOSFET

Abstract

Recent industrial world presents many developments in various fields that facilitate human life. In example electronics devices. One of the electronic devices that we know is the inverter, the inverter itself is a power converter (DC) into alternating current (AC) with the value of the output voltage and frequency as needed. In practice, a DC-AC converters are many varieties, but in this paper will be analyzed on a DC-AC converter half-bridge high frequency series resonant LC parallel loaded. Functioning as like as a step-up transformer. In the development of the inverter using a switching device are vary, ranging from the JFET, MOSFET and IGBT. In this final project will use the switching MOSFET and IGBT devices with the aim to make it known each - each output characteristics. Results of the study are obtained showed a half bridge IGBT Inverter has the largest worth 33.601% efficiency while operating at a frequency of 13KHz. While the Half-Bridge Inverter with MOSFET has the the largest worth 63.920% efficiency while operating at a frequency of 13KHz.

Keywords: inverter, converter, IGBT, MOSFET

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi konverter sudah sangat berkembang pesat seiring semakin majunya teknologi saat ini. Saat ini konverter semakin memiliki rangkaian yang lebih sederhana, berukuran lebih kecil, dapat dibuat dengan biaya yang sesedikit mungkin (low budget).

Salah satu konverter yang sering digunakan adalah inverter yang merupakan alat untuk mengubah dari tegangan DC menjadi AC. Inverter sendiri dibagi menjadi 3 jenis yaitu Jembatan penuh, setengah jembatan, dorong tarik (Push pull/centre Tapped load)[6].

Transistor merupakan salah satu piranti pemicuan yang sedang marak digunakan untuk berbagai hal yang

membutuhkan pensaklaran. Dalam penelitian ini digunakan MOSFET dan IGBT sebagai piranti pensaklaran.

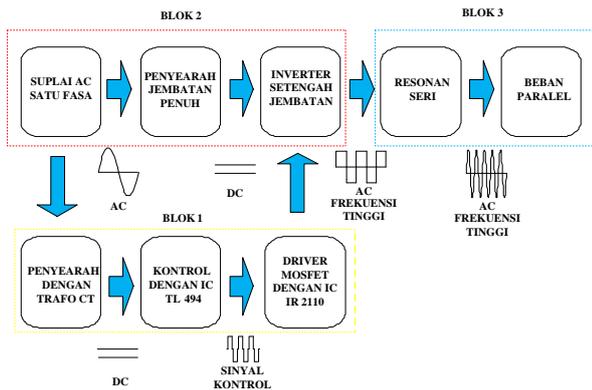
Resonansi merupakan salah satu metode yang digunakan untuk membuat konverter yang handal saat ini. Resonansi sendiri adalah keadaan disaat nilai reaktansi kapasitif dan induktif pada rangkaian akan saling meniadakan[7]. Rangkaian resonan ini juga dapat digunakan untuk menggantikan rangkaian transformator yang mempunyai rugi – rugi yang cukup besar.

Dalam penelitian yang pernah dilakukan, pembuatan perangkat keras resonan inverter menggunakan MOSFET sebagai piranti pensaklaran[2]. Oleh karena itu, pada penelitian penelitian ini akan dibuat sebuah perangkat keras resonan inverter dengan LC seri yang berbasis

IGBT sebagai piranti pensaklaran. Penggunaan IGBT dimaksudkan untuk melihat bagaimana kinerja IGBT sebagai piranti pensaklaran untuk resonan inverter dengan LC seri dibandingkan dengan MOSFET[2]. Sehingga diketahui kinerja antara IGBT dan MOSFET dalam pensaklaran. Untuk mengatur pensaklaran digunakan rangkaian kontrol menggunakan IC TL494 dan MOSFET Driver.

2. Metode

Perancangan rangkaian *inverter* jembatan penuh dengan rangkaian pasif LC beban paralel tersusun dari dua blok utama. Blok pertama adalah blok rangkaian kontrol pemucuan yang terdiri atas suplai AC, rangkaian penyearah DC, rangkaian pemucuan yang terdiri atas IC TL494, driver MOSFET. Blok yang kedua adalah blok rangkaian daya yang terdiri atas suplai AC, penyearah DC, rangkaian *inverter* setengah jembatan, rangkaian resonan LC seri beban Paralel. Gambar 1 adalah diagram blok perancangan secara keseluruhan:

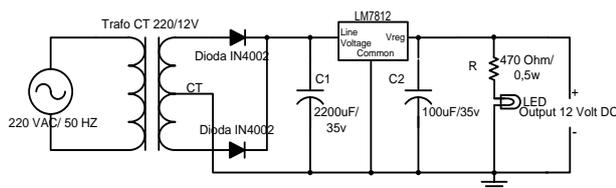


Gambar 1 Blok diagram perancangan perangkat keras secara keseluruhan

2.1 Perancangan Rangkaian Kontrol

2.1.1 Penyearah Gelombang Penuh Satu Fasa CT

Pada rangkaian ini terdapat penyearah satu fasa dengan CT, dioda, resistor, regulator, dan kapasitor, led seperti yang tertera pada Gambar 2.



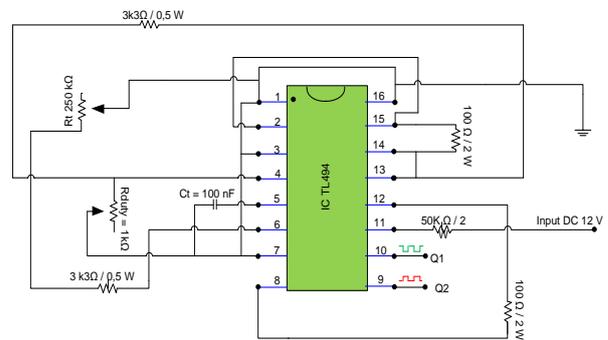
Gambar 2 Penyearah Gelombang Penuh Satu Fasa CT

Rangkaian ini merupakan sumber tegangan DC 12 V. Tegangan 12 V_{DC} berfungsi sebagai suplai untuk IC

TL494 dan *driver* MOSFET. Tegangan DC didapatkan dari hasil penyearahan tegangan AC jala – jala yang sebelumnya diturunkan tegangannya menggunakan trafo CT. Tegangan DC selanjutnya diteruskan ke IC regulator. IC regulator LM 7812 digunakan untuk keluaran 12 V_{DC}. LED pada penyearah digunakan untuk indikator rangkaian penyearah bekerja.

2.1.2 Rangkaian IC TL494

Rangkaian kontrol IC TL494 ini berguna untuk memicu gate MOSFET dan IGBT pada *inverter*. Gambar 3 adalah perancangan rangkaian kontrol ICTL494.



Gambar 3 Rangkaian kontrol IC TL494

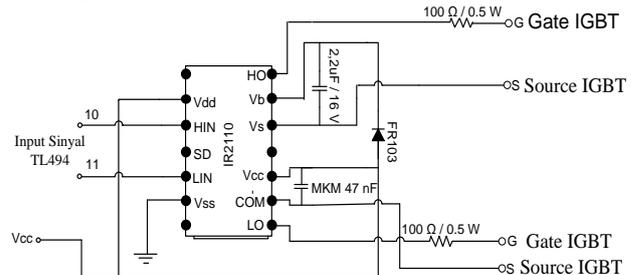
Untuk menentukan nilai frekuensi, resistor dan kapasitor maka digunakan persamaan berikut ini:

$$f_{osc} = \frac{1,1}{2.R.C}$$

Dari persamaan diatas kerja frekuensi IC ini berkisar 2,2kHz- 17 kHz, kapasitor 1 nF, resistor 3300 Ohm dan resistor variabel 250k Ohm.

2.1.3 Rangkaian Driver MOSFET

Driver MOSFET menggunakan IC IR2110 digunakan untuk memicu kedua IGBT atau MOSFET dengan konfigurasi inverter setengah jembatan. Pemilihan rangkaian ini karena inverter bekerja pada frekuensi rendah dan juga untuk mengurangi ripple. Gambar 4 adalah gambar rangkaian driver dan trafo isolator pulsa



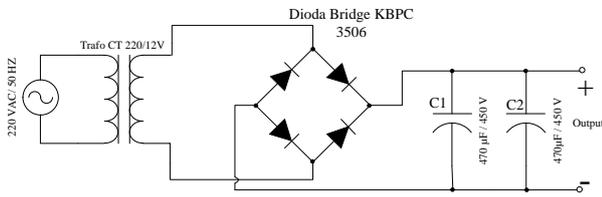
Gambar 4 Rangkaian driver dan trafo isolator pulsa

Rangkaian ini terdiri dari kapasitor elco 2,2 μ F, MKM 47nF, resistor yang digunakan pada bagian sebelum gate bernilai 100 ohm/0.5 watt. Dioda yang digunakan adalah dioda tipe FR 103.

2.2 Perancangan Rangkaian Daya

2.2.1 Penyearah Jembatan Penuh

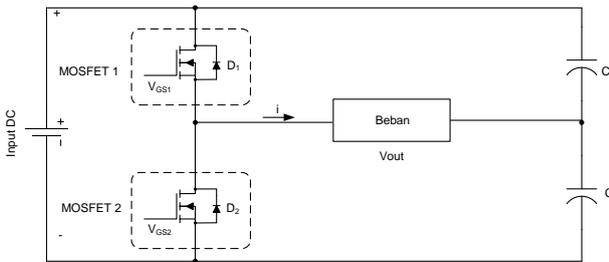
Rangkaian penyearah jembatan penuh terdiri dari diode *bridge* KBPC3506 dan kapasitor tapis sebanyak dua buah dengan nilai tiap kapasitor sebesar 470 μ F. Dengan adanya pemasangan kapasitor tapis pada keluaran penyearah sehingga tegangan keluaran rata-rata mendekati nilai rms-nya.



Gambar 5 Penyearah Jembatan Penuh

2.2.2 Rangkaian Inverter Setengah Jembatan

Rangkaian Inverter Setengah Jembatan yang digunakan untuk mengubah Tegangan DC menjadi Tegangan AC menggunakan MOSFET dan IGBT sebagai piranti dalam pensaklaran.



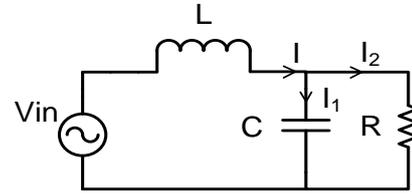
Gambar 6 Inverter Setengah Jembatan

Yang perlu diperhatikan dalam pemilihan MOSFET untuk inverter adalah tegangan kerja dan arus kerja. Tegangan masukan inverter sebesar 35,35 VDC dan arus sebesar 0,59mA. Maka MOSFET yang digunakan adalah IRF460. Sedangkan untuk IGBT digunakan seri IRG4PC50KD.

2.2.3 Perancangan Rangkaian Pasif LC Beban Paralel

Pada Penelitian ini akan merancang rangkaian pasif LC beban paralel. Dimana rangkaian ini terdiri atas induktor,

kapasitor, dan resistor. Gambar 7 adalah rangkaian pasif LC beban paralel.



Gambar 7 Rangkaian pasif LC beban paralel

Dengan menggunakan hukum kirchoff, maka dari rangkaian ekuivalen di atas didapat suatu persamaan penguat tegangan sebagai berikut:

$$|G| = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{1 - \omega^2 LC + \frac{j\omega L}{R}}$$

Di dalam penelitian ini, nilai induktor yang akan digunakan memiliki nilai 1,1 mH. Perencanaan frekuensi resonan terletak pada titik 13 kHz, sehingga didapat nilai kapasitor yang akan digunakan adalah:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$13KHz = \frac{1}{2\pi\sqrt{1,1 \times 10^{-3} \cdot C}}$$

Maka didapatkan nilai C sebesar 110nF

Karena tidak tersedianya kapasitor milar yang bernilai 110nF dipasaran, maka sebuah kapasitor bernilai 100nF dihubungkan dengan kapasitor bernilai 10nF secara paralel agar didapat nilai 110nF. Maka nilai ini yang akan digunakan dalam perencanaan pembuatan rangkaian pasif LC beban paralel ini.

3. Hasil dan Analisa

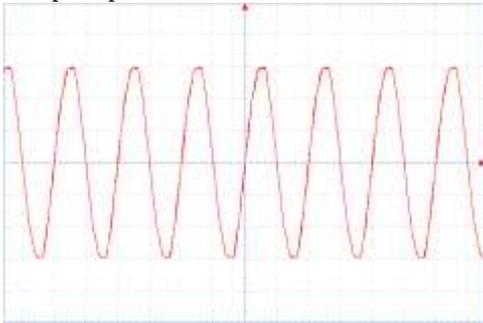
Pengujian ini adalah untuk mengetahui karakteristik dan kerja sistem untuk blok rangkian kontrol dan daya dengan cara pengukuran nilai tegangan keluaran dan bentuk gelombang keluaran dari masing – masing blok rangkaian perangkat hasil perancangan.

3.1 Pengukuran Blok Rangkaian Kontrol

Pada pengukuran blok rangkaian kontrol pemucuan dilakukan meliputi pengukuran sumber tegangan AC, Rangkaian Penyearah, Rangkaian Kontrol dengan IC TL 494, Rangkaian MOSFET Driver.

3.1.1 Pengukuran Keluaran Sumber Tegangan AC

Pengukuran Sumber tegangan yang dilakukan yaitu pengukuran tegangan satu fasa jala-jala PLN. Gelombang keluaran seperti pada Gambar 10



Gambar 8 Gelombang keluaran IC TL494

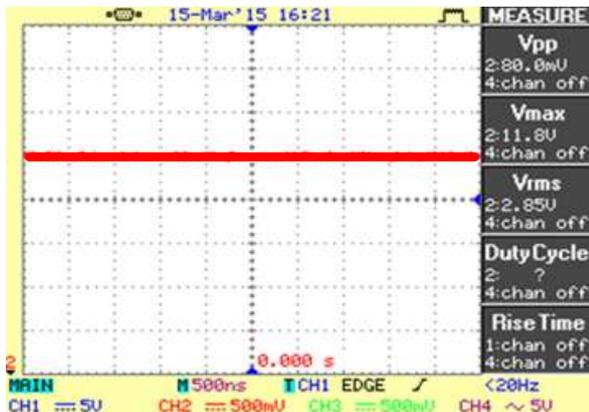
Dapat dihitung tegangan efektif (rms) sebesar :

$$V_{pp} = 6 \times 10 \frac{V}{div} \times 10 = 600V \quad V_{maks} = \frac{V_{pp}}{2} = \frac{600}{2} = 300V$$

$$V_{rms} = \frac{V_{maks}}{\sqrt{2}} = 212,13V$$

3.1.2 Pengukuran Keluaran Sumber Tegangan AC

Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui besar tegangan keluaran yang dihasilkan dari penyearah. Gelombang keluaran seperti pada Gambar 10



Gambar 9 Gelombang keluaran Penyearah

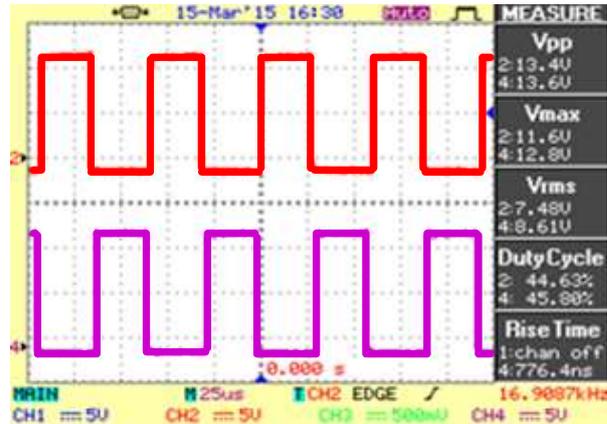
Dapat dihitung tegangan DC sebesar :

$$V_{dc} = 1,2 \times 1 \frac{V}{div} \times 10$$

$$V_{dc} = 12 \text{ Volt}$$

3.1.3 Pengukuran Rangkaian Kontrol IC TL494

Gelombang keluaran hasil pengujian rangkaian kontrol IC TL494 dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10 Gelombang keluaran IC TL494

Dari gelombang keluaran tersebut dapat dihitung frekuensi dan tegangan sebagai berikut:

$$T = 2,368 \times 25 \frac{\mu s}{div} = 59,20 \text{ ms}$$

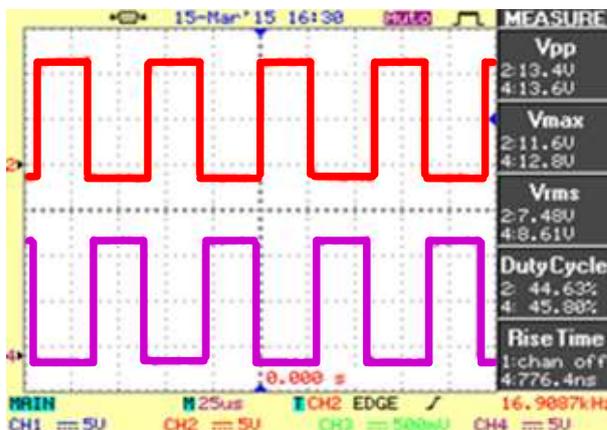
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{59,20 \times 10^{-3}} = 16,90 \text{ KHz}$$

$$\text{Tegangan } V_{pp} = 2,68 \times 5 \frac{V}{div} \times 1 = 13,4 \text{ Volt}$$

Frekuensi yang terukur sebesar 16,9 kHz dan tegangan sebesar 13,4 Volt.

3.1.4 Pengujian Rangkaian Driver MOSFET

Pengukuran rangkaian ini dilakukan untuk mengetahui bahwa gelombang tegangan keluaran dari MOSFET Driver sesuai dengan hasil perancangan serta sesuai digunakan untuk pemucuan MOSFET pada inverter. Gambar 4.11 merupakan rangkaian pengujian rangkaian MOSFET Driver.



Gambar 11 Gelombang keluaran Driver MOSFET

ambar 12 menunjukkan gelombang keluaran rangkaian driver MOSFET, dapat dihitung frekuensi dan tegangan sebagai berikut:

$$T = 2,368 \times 25m \frac{s}{div} = 59,20 \text{ ms}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{59,20 \times 10^{-3}} = 16,90 \text{ Hz}$$

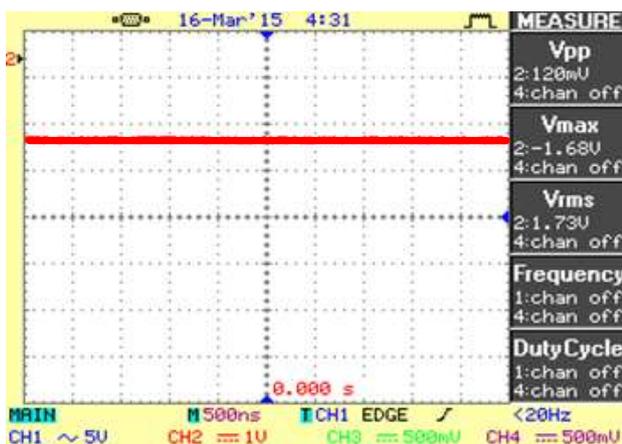
$$\text{Tegangan } V_{pp} = 2,68 \times 5 \frac{V}{div} \times 1 = 13,4 \text{ Volt}$$

Frekuensi yang terukur sebesar 16,90 kHz dan tegangan sebesar 13,4 Volt. Tegangan ini akan digunakan untuk pemucian MOSFET dan IGBT yang memerlukan $V_{GS} \pm 20 \text{ Volt}$

3.2 Pengukuran Blok Rangkaian Daya

3.2.1 Pengujian Rangkaian Penyearah untuk Rangkaian Daya

Pengukuran ini dilakukan untuk mendapatkan gelombang keluaran dari rangkaian penyearah. Gelombang keluaran seperti pada Gambar



Gambar 12 Gelombang masukan inverter sehingga tegangan keluaran DC sebesar

$$V_{dc} = 1,73 \times \frac{1V}{div} \times 10 = 17.3 \text{ Volt}$$

3.2.2 Pengujian Rangkaian Inverter

Bentuk gelombang rangkaian inverter diukur pada titik masukan dan keluaran inverter.

Dari Gambar 13 diambil skala $50\mu s/div$ dan $1V/div$ dengan faktor pengali =10x. Sehingga dapat dihitung besar frekuensi dan tegangan sebagai berikut

$$T = 2,47 \times 50\mu s / div = 123,5\mu s$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{123,5\mu s}$$

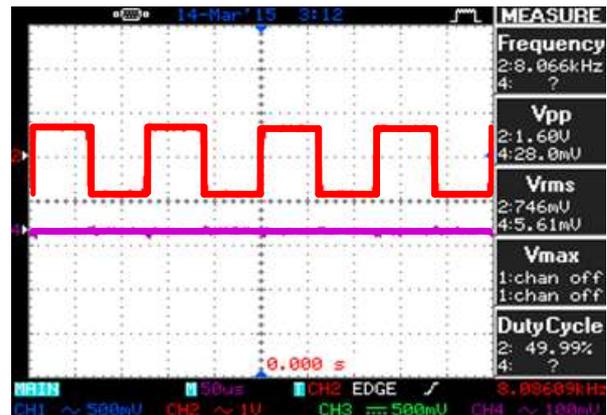
$$f = 8,097 \text{ kHz.}$$

Dapat dihitung tegangan sebagai berikut :

$$V_{pp} = 1,6 \times 1 \frac{V}{div} \times 10 = 16 \text{ Volt}$$

$$V_m = \frac{V_{pp}}{2} = \frac{16}{2} = 8 \text{ Volt}$$

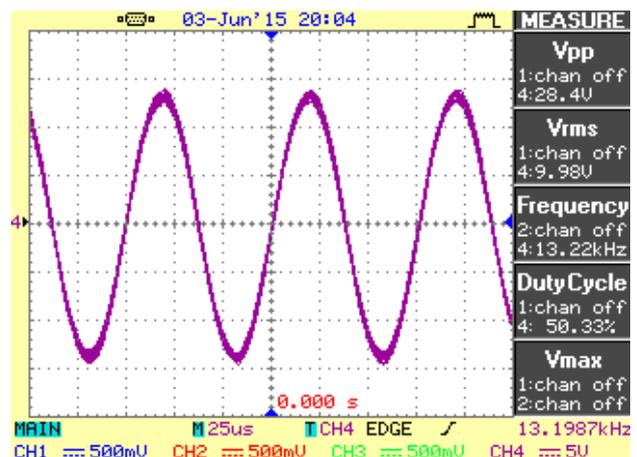
Tegangan keluaran inverter yang terukur pada osiloskop sebesar 8 Volt.



Gambar 13 Gelombang keluaran inverter setengah Jembatan

3.1.4 Pengujian Rangkaian Pasif LC beban paralel

Pengujian ini dilakukan pada 3 titik frekuensi kerja yang berbeda, diantaranya pengujian rangkaian pada saat $f_0=f_r$, $f_0 < f_r$, dan $f_0 > f_r$.



Gambar 14 Bentuk gelombang hasil pengujian tegangan pada beban saat $f_0=f_r$.

Gambar 14 memperlihatkan bentuk gelombang tegangan keluaran rangkaian pasif LC saat dioperasikan pada frekuensi resonan. Terlihat bentuk gelombangnya berupa gelombang sinus. Gambar 4.15 diambil pada skala $25\mu s/div$ dan $5 V/div$ dengan faktor pengali =10x. Sehingga

dapat dihitung besarnya frekuensi dan tegangan sebagai berikut:

$$T = 3,1x25\mu s / div = 77,5\mu s$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{77,5\mu s} = 12,90KHz$$

Dapat dihitung tegangan :

$$V_{pp} = 5,7 \times 5 \text{ V/div} \times 10 = 285 \text{ Volt}$$

$$V_m = \frac{V_{pp}}{2} = \frac{285}{2} = 142,5 \text{ Volt}$$

Dengan mengetahui V_{maks} dapat dihitung V_{out} (rms)

$$V_{rms} = V_{maks} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{142,5}{\sqrt{2}} = 100,7 \text{ Volt}$$

3.3 Analisis Keluaran Inverter Setengah Jembatan dengan Rangkaian Resonan LC Seri Beban Paralel

Analisis keluaran Inverter setengah Jembatan dilakukan untuk mengetahui karakteristik keluaran Inverter meliputi pengukuran tegangan, arus, daya, serta efisiensi.

3.3.1 Pengukuran Tegangan dan Arus

Pengukuran tegangan dan arus keluaran dilakukan untuk mengetahui tegangan dan arus inverter setengah jembatan dengan rangkaian resonan LC seri beban paralel. Pengukuran arus dan tegangan ini dilakukan pada sisi masukan dan juga keluaran inverter saat dioperasikan pada frekuensi resonan, sebelum resonan, dan setelah resonan.

3.3.1.1 Pengukuran Tegangan dan Arus Inverter dengan IGBT

Pengukuran tegangan dan arus dilakukan di sisi masukan dan juga keluaran dari inverter setengah jembatan dengan rangkaian resonan LC seri beban paralel yang menggunakan IGBT pada saat dioperasikan pada range frekuensi operasi 8KHz – 13KHz. Hasil pengukuran arus dan tegangan dapat dilihat pada tabel berikut.

Dari Tabel 1 terlihat bahwa pada saat frekuensi operasi yaitu 13 KHz tegangan masukan paling kecil, sedangkan tegangan keluaran paling besar. Tegangan masukan terkecil sebesar 33,5 V dan terbesar sebesar 36,7 V. Tegangan keluaran terbesar bernilai 80,8 V dan terkecil sebesar 24,7 V. Saat frekuensi resonan yaitu 13 khz, arus masukan terbesar dibandingkan arus pada saat beroperasi pada frekuensi sebelum atau sesudah frekuensi resonan. Arus masukan terbesar bernilai 0,58 A, dan arus terkecil bernilai 0,25 A. Begitu pula arus pada sisi keluaran arus tertinggi terjadi saat beroperasi pada frekuensi resonan. Pada sisi keluaran arus terbesar bernilai 0,08A, dan terkecil sebesar 0,0247A.

Tabel 1 Data pengukuran tegangan masukan dan keluaran

No	Frekuensi (KHz)	Masukan		Keluaran	
		Tegangan Volt	Arus Ampere	Tegangan Volt	Arus Ampere
Sebelum Resonan					
1	8	36.7	0.25	24.7	0.0247
2	9	36.4	0.26	27.8	0.0278
3	10	36	0.29	31.6	0.0316
4	11	35.5	0.35	44.1	0.0441
5	12	34.2	0.45	59	0.059
Saat Resonan					
6	13	33.5	0.58	80.8	0.0808
Setelah Resonan					
7	14	34.5	0.5	74.3	0.0743
8	15	35.9	0.39	48.8	0.0488
9	16	36.3	0.35	34.1	0.0341
10	17	36.3	0.33	27.5	0.0275

3.3.1.2 Pengukuran Tegangan dan Arus Inverter dengan MOSFET

Pengukuran tegangan dan arus dilakukan di sisi masukan dan juga keluaran dari inverter setengah jembatan dengan rangkaian resonan LC seri beban paralel yang menggunakan MOSFET pada saat dioperasikan pada range frekuensi 8KHz – 13KHz. Hasil pengukuran arus dan tegangan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2 Data pengukuran tegangan masukan dan keluaran

No	Frekuensi (KHz)	Masukan		Keluaran	
		Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)
Sebelum Resonan					
1	8	40.9	0.15	28.6	0.029
2	9	40.7	0.16	32.4	0.032
3	10	40.3	0.2	40.9	0.041
4	11	39.6	0.24	50.8	0.051
5	12	38.2	0.37	75.5	0.076
Saat Resonan					
6	13	37.1	0.42	99.8	0.100
Setelah Resonan					
7	14	38.7	0.26	73.3	0.073
8	15	40.1	0.16	52.9	0.053
9	16	41	0.13	38.7	0.039
10	17	41.4	0.11	30.2	0.030

Dari Gambar 2 terlihat bahwa pada saat frekuensi operasi yaitu 13 KHz tegangan masukan terkecil, sedangkan tegangan keluaran terbesar. Tegangan masukan terkecil sebesar 37,1 V dan terbesar sebesar 41,4 V. Tegangan keluaran terbesar bernilai 99,8 V dan terkecil sebesar 28,6 V. Dan arus masukan terbesar dibandingkan arus pada saat beroperasi pada frekuensi sebelum atau sesudah frekuensi resonan. Arus masukan terbesar bernilai 0,42 A, dan arus terkecil bernilai 0,11A. Begitu pula arus pada sisi keluaran arus tertinggi terjadi saat beroperasi pada frekuensi resonan. Pada sisi keluaran arus tertinggi bernilai 0,100A, dan terkecil sebesar 0,029A.

3.3.2 Pengukuran Daya Keluaran

Pengukuran daya masukan dan keluaran dilakukan untuk mengetahui daya inverter setengah jembatan dengan rangkaian resonan LC seri beban paralel. Pengukuran daya dilakukan pada sisi masukan dan juga keluaran

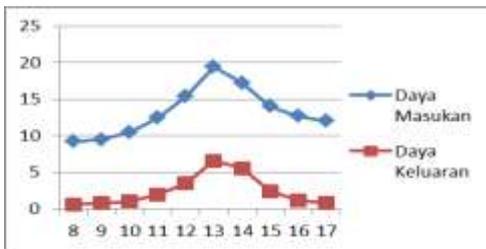
1.3.2.1 Pengukuran Daya Inverter dengan IGBT

Pengukuran daya dilakukan di sisi masukan dan juga keluaran dari inverter setengah jembatan dengan rangkaian resonan LC seri beban paralel yang menggunakan IGBT pada range frekuensi operasi 8KHz – 13KHz. Hasil pengukuran daya dapat dilihat seperti pada tabel 3 Berikut.

Tabel 3 Perbandingan daya masukan serta keluaran

Frekuensi (KHz)	Daya Masukan (Watt)	Daya Keluaran (Watt)
Sebelum Resonan		
8	9.175	0.610
9	9.464	0.773
10	10.44	0.999
11	12.425	1.945
12	15.39	3.481
Saat Resonan		
13	19.43	6.529
Setelah Resonan		
14	17.25	5.520
15	14.001	2.381
16	12.705	1.163
17	11.979	0.756

Dari tabel 3 dapat dilihat tegangan masukan dan keluaran inverter setengah jembatan dengan rangkaian resonan LC seri beban paralel. Dari tabel 4.3 dapat dibuat grafik perbandingan seperti berikut.



Gambar 15 Grafik daya masukan dan keluaran pada Inverter dengan IGBT

Dari gambar 15 terlihat daya pada inverter setengah jembatan dengan rangkaian resonan LC seri beban paralel yang beroperasi pada range frekuensi operasi. Saat frekuensi 13 khz, daya masukan terbesar dibandingkan daya saat beroperasi pada frekuensi sebelum atau sesudah frekuensi resonan. Daya masukan terbesar bernilai 19,43 Watt, dan daya terkecil bernilai 9,175 Watt pada frekuensi 8KHz. Begitu pula daya pada sisi keluaran daya tertinggi terjadi saat beroperasi pada frekuensi resonan bernilai

6,529 Watt, dan terkecil sebesar 0,610 Watt pada frekuensi 8KHz.

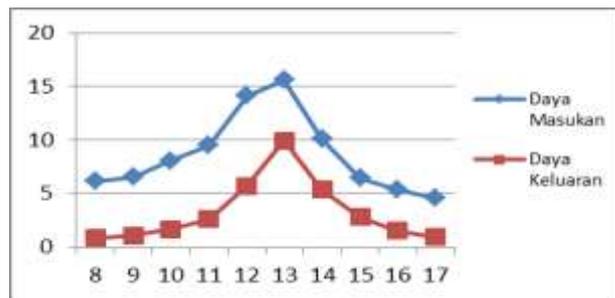
3.3.2.2 Pengukuran Daya Inverter dengan MOSFET

Pengukuran daya dilakukan di sisi masukan dan juga keluaran dari inverter setengah jembatan dengan rangkaian resonan LC seri beban paralel yang menggunakan MOSFET pada saat dioperasikan pada range frekuensi operasi 8KHz – 13KHz. Hasil pengukuran daya dapat dilihat seperti pada tabel 4 Berikut.

Tabel 4 Perbandingan daya masukan serta keluaran

Frekuensi (KHz)	Daya Masukan (Watt)	Daya Keluaran (Watt)
Sebelum Resonan		
8	6.135	0.818
9	6.512	1.050
10	8.06	1.673
11	9.504	2.581
12	14.134	5.700
Saat Resonan		
13	15.582	9.960
Setelah Rsonan		
14	10.062	5.373
15	6.416	2.798
16	5.33	1.498
17	4.554	0.912

Dari tabel 4 dapat dilihat tegangan masukan dan keluaran inverter setengah jembatan dengan rangkaian resonan LC seri beban paralel. Dari tabel 4.3 dapat dibuat grafik perbandingan seperti berikut.



Gambar 16 Grafik daya masukan dan keluaran pada inverter dengan MOSFET

Dari gambar 16 terlihat daya pada inverter beroperasi pada range frekuensi operasi. Saat frekuensi 13khz, daya masukan terbesar dibandingkan daya saat beroperasi pada frekuensi sebelum atau sesudah frekuensi resonan. Daya masukan terbesar bernilai 15,582 Watt, dan daya terkecil bernilai 4,554Watt pada frekuensi 17KHz. Begitu pula daya pada sisi keluaran daya tertinggi terjadi saat beroperasi pada frekuensi resonan bernilai 9,960 Watt, dan terkecil sebesar 0,818 Watt pada frekuensi 8KHz.

3.3.3 Perhitungan Efisiensi

Perhitungan efisiensi inverter setengah jembatan dengan rangkaian pasif LC ketika dioperasikan pada frekuensi resonan, sebelum resonan, dan setelah resonan.

3.3.3.1 Perhitungan Efisiensi Inverter dengan IGBT

Dengan mengetahui daya masukan dan daya keluaran, dapat dihitung nilai efisiensi dari alat ini.

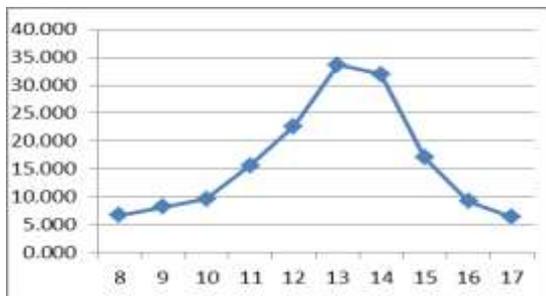
$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{0,610}{9,175} \times 100\% = 6,649\%$$

Dengan cara yang sama dapat diperoleh data sebagai berikut:

Table 5 Data efisiensi inverter dengan rangkaian pasif LC dengan piranti pensaklaran IGBT

No	Frekuensi (KHz)	Daya Masukan (Watt)	Daya Keluaran (Watt)	Efisiensi (%)
Sebelum Resonan				
1	8	9.175	0.610	6.649
2	9	9.464	0.773	8.166
3	10	10.44	0.999	9.565
4	11	12.425	1.945	15.652
5	12	15.39	3.481	22.619
Saat Resonan				
6	13	19.43	6.529	33.601
Setelah Resonan				
7	14	17.25	5.520	32.003
8	15	14.001	2.381	17.009
9	16	12.705	1.163	9.152
10	17	11.979	0.756	6.313

Dari Tabel 5 menunjukkan perbandingan efisiensi untuk setiap frekuensi kerja yang berbeda yaitu 8 KHz – 17 KHz. Perhitungan efisiensi inverter ini dilakukan dengan membandingkan daya masukan dan keluaran inverter untuk masing – masing frekuensi kerja. Dari tabel 5 dapat dibuat grafik perbandingan sebagai berikut.



Gambar 17 Grafik hubungan frekuensi dan efisiensi pada inverter dengan IGBT

Terlihat pada Gambar 17 efisiensi terbesar dari inverter sebesar 33,601% dan terjadi pada saat frekuensi 13 kHz

dan efisiensi terkecil sebesar 6,313% pada frekuensi 17KHz.

3.3.3.2 Perhitungan Efisiensi Inverter dengan MOSFET

Berdasarkan Tabel 4.4, Dengan mengetahui daya masukan dan daya keluaran, dapat dihitung nilai efisiensi dari alat ini.

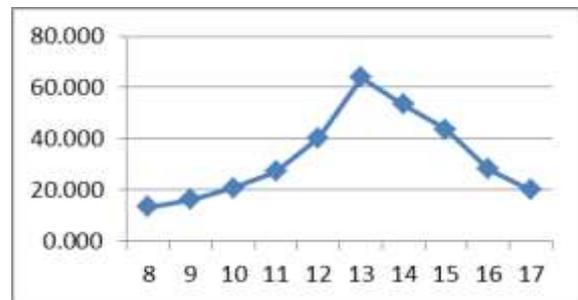
$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{0,818}{6,135} \times 100\% = 13,33\%$$

Dengan cara yang sama dapat diperoleh data sebagai berikut:

Table 6 Data Efisiensi inverter dengan rangkaian pasif LC dengan piranti pensaklaran MOSFET

No	Frekuensi (KHz)	Daya Masukan (Watt)	Daya Keluaran (Watt)	Efisiensi (%)
Sebelum Resonan				
1	8	6.135	0.818	13.333
2	9	6.512	1.050	16.120
3	10	8.06	1.673	20.754
4	11	9.504	2.581	27.153
5	12	14.134	5.700	40.330
Saat Resonan				
6	13	15.582	9.960	63.920
Setelah Resonan				
7	14	10.062	5.373	53.398
8	15	6.416	2.798	43.616
9	16	5.33	1.498	28.099
10	17	4.554	0.912	20.027

Dari Tabel 6 menunjukkan perbandingan efisiensi untuk setiap frekuensi kerja yang berbeda yaitu 8KHz – 17 KHz. Grafik efisiensi yang ditunjukkan pada gambar 18 berikut.



Gambar 18 Grafik hubungan efisiensi dan frekuensi pada inverter dengan MOSFET

Terlihat pada Gambar 18 efisiensi terbesar dari inverter ini sebesar 63,920% dan pada saat frekuensi 13kHz dan efisiensi paling kecil sebesar 13,333% pada frekuensi 8KHz.

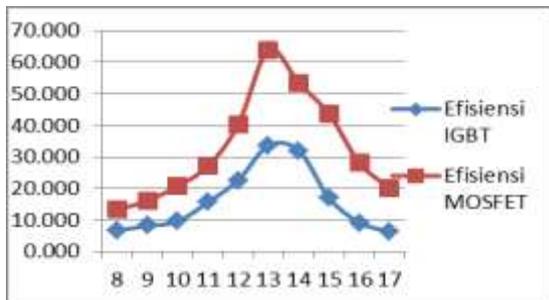
3.3.3.3 Rekapitulasi Efisiensi Inverter

Setelah kita menghitung efisiensi inverter dengan IGBT dan MOSFET, maka kita dapat direkapitulasi data efisiensi inverter yang dapat dilihat pada Tabel 7 berikut.

Table 7 Data Efisiensi inverter dengan rangkaian pasif LC dengan piranti pensaklaran IGBT dan MOSFET

Frekuensi (KHz)	Efisiensi	
	IGBT (%)	MOSFET (%)
Sebelum Resonan		
8	6.649	13.333
9	8.166	16.120
10	9.565	20.754
11	15.652	27.153
12	22.619	40.330
Saat Resonan		
13	33.601	63.920
Setelah Resonan		
14	32.003	53.398
15	17.009	43.616
16	9.152	28.099
17	6.313	20.027

Dari tabel 7 tersebut dapat dibuat grafik perbandingan seperti pada gambar 19 berikut.



Gambar 19 Grafik Perbandingan Efisiensi Inverter dengan IGBT dan MOSFET

Terlihat pada Gambar 19 efisiensi terbesar pada inverter dengan IGBT dan MOSFET berada pada saat frekuensi 13 KHz yang merupakan frekuensi resonan. Dari gambar 19 juga dapat dilihat efisiensi yang lebih baik ditunjukkan oleh inverter dengan MOSFET sebagai piranti pensaklarannya karena memiliki efisiensi yang lebih baik dibandingkan dengan inverter dengan IGBT sebagai piranti pensaklarannya.

4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisa dalam penelitian ini, maka didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil pengukuran tegangan keluaran inverter *half bridge* Untuk $V_{IN}=32V_{AC}$ yang disearahkan menjadi $V_{IN} = 45 V_{DC}$, hasil pengukuran keluaran inverter $V_{Inverter}= 20,5V_{ac}$ sedangkan hasil perhitungan sebesar $22,6 V_{AC}$.
2. Efisiensi pada inverter *half bridge* dengan rangkaian resonan LC seri dengan tegangan masukan $V_{IN} = 25 V_{AC}$ pada kondisi frekuensi resonan sebesar 8 KHz efisiensi sebesar 13,33% dengan MOSFET, dan 6,649 % dengan IGBT.
3. Efisiensi pada inverter *half bridge* dengan rangkaian resonan LC seri dengan tegangan masukan $V_{IN} = 25 V_{AC}$ pada frekuensi resonan sebesar 13 KHz mempunyai efisiensi sebesar 63,92% dengan MOSFET, dan 33,60 % dengan IGBT.
4. Efisiensi pada inverter *half bridge* dengan rangkaian resonan LC seri dengan tegangan masukan $V_{IN} = 25 V_{AC}$ pada kondisi frekuensi sebesar 16 KHz efisiensi sebesar 28,09% dengan MOSFET, dan 9,152 % dengan IGBT.

Referensi

- [1]. Kazimierzczuk Marian K, Czarkowski Darius, *Resonant Power Converter*, John Wiley and Sons, Inc.1995
- [2]. Budiman, Rezon Arif. "Perancangan Half Bridge Inverter untuk Catu Daya Pemanas Induksi pada Alat Extruder Plastik", Penelitian, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang .2012
- [3]. Surjono, Herman Dwi. *Elektronika Lanjut*. Jember: Penerbit Cerdas Ulet Kreatif, 2009.
- [4]. Hart, Daniel W. *Power Electronics* : Mc Graw Hill. 2009
- [5]. Reimann, Tobias, Wintrich, Arendt, Nicolai, Ulrich, Tursky, Werner. *Aplication Manual Power Semiconductor* : SEMIKRON International GmbH. 2011.
- [6]. Rashid, Muhammad H., *Power Electronic Handbook Third Edition* : Butterworth-Heinemann. 2011.
- [7]. Ramdhani, Mohamad. *Rangkaian Listrik* : Erlangga. 2008.
- [8]. Safarudin, Yanuar Mahfudz."Perancangan Modul Praktikum Inverter Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) 2 Level, 3 Level dan Sinusoidal", Penelitian, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang . 2013.
- [9]. Tobing, Bonggas L, *Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2003.
- [10]. Abduh, Syamsir, "Teknik Tegangan Tinggi", Jakarta, Salemba Teknika, Halaman 36-38. 2001