

# PERANCANGAN INVERTER RESONAN SERI FREKUENSI TINGGI SEBAGAI SUPLAJ PEMANAS INDUKSI PADA ALAT PEMANAS BEARING

Pandu Sandi Pratama<sup>1</sup>, Agung Warsito<sup>2</sup>, Karnoto<sup>2</sup>  
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik – Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Soedarto SH Tembalang, Semarang 50275  
email : pandu\_sandi@yahoo.com

## ABSTRAK

Pemakaian bearing merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari setiap peralatan mesin yang terpasang. Studi Svenska Kullagerfabriken (SKF) produsen bearing dari Swedia, menunjukkan bahwa kasus kerusakan awal bearing yang disebabkan oleh pemasangan bearing secara sederhana (dengan cara dipukul) menyumbang 16 % dari total kerusakan pada bearing. Adanya kerusakan bearing akan mengganggu kinerja mesin.

Untuk mengatasi masalah ini, dikembangkan metode pemasangan bearing dengan memanfaatkan prinsip pemanasan secara induksi. Pemanasan lebih optimal jika dilakukan menggunakan frekuensi tinggi. Pada tugas akhir ini dibuat power suplai menggunakan inverter resonan seri frekuensi tinggi topologi halfbridge dengan piranti pensaklaran menggunakan mosfet yang pemicuannya diatur oleh IC 4047. Pengaturan daya dilakukan dengan mengubah frekuensi pemicuan sehingga tidak diperlukan rangkaian tambahan yang menjadikan rangkaian menjadi lebih rumit dan tidak efisien.

Pemanas yang telah dirancang, dapat menaikkan suhu bearing berdiameter dalam 100 mm hingga suhu 80 °C dalam waktu 6,5 menit dengan daya masukan 180 watt ketika inverter dioperasikan pada frekuensi resonan 42 kHz. Daya pemanas maksimal pada saat frekuensi resonan dan berkurang ketika frekuensi pemicuan dinaikkan maupun diturunkan. Kenaikan suhu terjadi secara linier dengan kenaikan suhu rata-rata 0,13 °C per detik. Efisiensi inverter pada frekuensi 42 kHz sebesar 80%.

Kata kunci : bearing, pemanas induksi, Inverter resonan, frekuensi tinggi.

## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Dalam dunia industri pemakaian bearing merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari setiap peralatan mesin yang terpasang. Cara perawatan dan pemasangan bearing yang baik merupakan upaya untuk mencegah kerusakan komponen ini. Dari studi Svenska Kullagerfabriken (SKF), produsen bearing dari Swedia menunjukkan bahwa kasus kerusakan awal bearing yang disebabkan oleh pemasangan bearing secara sederhana (dengan cara dipukul) menyumbang 16 % dari total kerusakan pada bearing<sup>[21]</sup>. Adanya kerusakan bearing akan mengganggu kinerja mesin.

Untuk mengatasi masalah ini telah dikembangkan metode pemasangan bearing yang mampu mengatasi proses pemasangan yang masih sederhana yaitu dengan pemanasan secara induksi<sup>[16] [11]</sup>. Setelah proses pemanasan, maka dimensi bearing akan melewati nilai toleransi dari poros sehingga bearing dapat dipasang pada poros tanpa melalui proses pemukulan saat pemasangan.

Pemanasan induksi akan bekerja secara optimal pada frekuensi tinggi<sup>[11]</sup> sehingga dibutuhkan sebuah power suplai khusus yang akan digunakan untuk menyuplai pemanas induksi, yaitu berupa inverter resonan seri yang dapat menghasilkan tegangan AC dengan frekuensi tinggi<sup>[4] [5] [16]</sup>.

### 1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari Tugas Akhir ini antara lain.

1. Merancang inverter resonan seri setengah jembatan frekuensi tinggi dengan sumber 220V 50Hz untuk suplai pemanas induksi.
2. Mengetahui karakteristik perubahan daya terhadap perubahan frekuensi pemicuan inverter resonan seri setengah jembatan frekuensi tinggi.
3. Mengetahui karakteristik perubahan pertambahan suhu bearing yang dilakukan pada berbagai frekuensi resonan.
4. Mengetahui efisiensi inverter resonan seri setengah jembatan frekuensi tinggi.

### 1.3. Batasan Masalah

Dalam tugas akhir ini, pembahasan dibatasi pada :

1. Suplai yang digunakan adalah tegangan AC 1 fasa 220V 50Hz.
2. Inverter yang digunakan yaitu inverter resonan seri topologi halfbridge dengan komponen pensaklaran berupa MOSFET.
3. Rangkaian kontrol menggunakan IC 4047.
4. Tidak membahas harmonisa tegangan dan arus yang terjadi pada sisi sumber.
5. Pengaturan daya pada pemanas induksi dilakukan dengan mengatur frekuensi dari inverter.
6. Sistem pengaturan yang digunakan adalah open loop.
7. Komponen dan rangkaian elektronika yang digunakan hanya dibahas pada fungsi kerjanya.

## II. DASAR TEORI

### 2.1. Prinsip Pemanasan Induksi.

Secara umum pemanasan induksi memanfaatkan prinsip arus eddy, rugi-rugi hysteresis dan efek kulit.

#### 2.1.1. Arus Eddy<sup>[13]</sup>

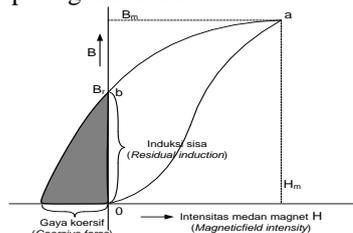
Arus eddy memiliki peranan yang paling dominan dalam proses pemanasan induksi. Panas yang dihasilkan pada material sangat bergantung kepada besarnya arus eddy yang diinduksikan oleh lilitan penginduksi. Ketika lilitan dialiri oleh arus bolak-balik, maka akan timbul medan magnet di sekitar kawat penghantar. Medan magnet tersebut besarnya berubah-ubah sesuai dengan arus yang mengalir pada lilitan tersebut. Jika terdapat bahan konduktif disekitar medan magnet yang berubah-ubah tersebut, maka pada bahan konduktif tersebut akan mengalir arus yang disebut arus eddy.

#### 2.1.2. Rugi-rugi Hysteresis<sup>[13]</sup>

Rugi-rugi hysteresis memiliki peranan penting dalam proses pemanasan, namun hal ini hanya berlaku pada benda yang bersifat ferromagnetik. Jika sebuah kumparan dihubungkan dengan sebuah sumber arus AC, maka akan

<sup>[1]</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Undip <sup>[2]</sup>Dosen Jurusan Teknik Elektro Undip

menghasilkan arus I, dengan nilai dari nol sampai maksimal. Seiring dengan pertambahan arus I maka nilai H dan B juga meningkat (berbanding lurus). Peningkatan nilai H dan B akan terlihat seperti gambar 2.1.

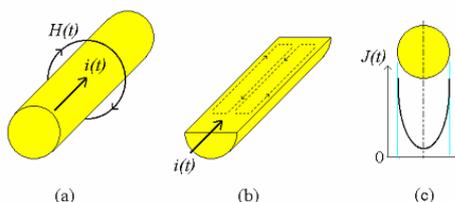


Gambar 2.1 Induksi sisa dan gaya koersif

Ketika arus naik, maka medan magnet B akan naik diikuti kenaikan H sesuai kurva Oa, dan ketika arus turun menuju nol, maka akan diikuti dengan penurunan B, akan tetapi penurunannya mengikuti kurva ab di atas kurva oa. Sama juga berarti jika menurunkan intensitas medan magnet (H), maka intensitas fluks akan berusaha untuk mempertahankan nilainya, hal ini disebut *hysteresis*. Akibatnya saat H diturunkan hingga mencapai harga nol, masih ada nilai intensitas medan (B) yang tersisa.

### 2.1.3. Efek Kulit <sup>[14]</sup>

Jika arus bolak-balik dialirkan melalui sebuah konduktor, arus tidak tersebar secara merata. Konduktor tunggal yang dialiri arus AC seperti pada gambar 2.2a, akan dikelilingi medan magnet konsentris H(t). Medan ini akan menginduksi kembali konduktor sehingga timbul arus *eddy* seperti terlihat pada gambar 2.2b. Arus *eddy* ini melawan arah arus utama pada bagian pusat konduktor dan searah pada permukaan konduktor. Ini menyebabkan distribusi arus utama tidak merata, yaitu arus berkurang dibagian tengah dan paling besar pada bagian permukaan. Hal ini disebut efek kulit.



Gambar 2.2 Distribusi arus konduktor yang dialiri arus AC

## 2.2. Power Suplai

### 2.2.1. Rangkaian Kontrol dengan IC 4047

IC 4047 merupakan IC CMOS yang memiliki banyak kegunaan antara lain sebagai penghasil gelombang kotak, *astable* dan *monostable multivibrator*. Untuk menghasilkan picuan gelombang kotak, IC ini difungsikan sebagai *astable mutivibrator* dengan *duty cycle* 50%. Pengaturan frekuensi dilakukan dengan mengatur nilai R dan C. Berdasarkan *datasheet*, pengaturan frekuensinya didapatkan dengan persamaan berikut:

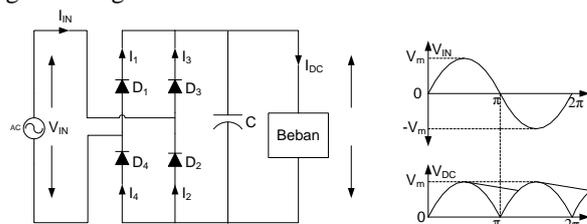
$$f_{osc} = \frac{1}{4,4RC} \dots\dots\dots (2.1)$$

Gelombang keluaran pada kaki 9 dan 10 dari IC ini akan memiliki state yang berlawanan.

### 2.2.2.1. Penyearah 1 fasa jembatan penuh <sup>[9]</sup>.

Penyearah digunakan untuk merubah tegangan AC menjadi tegangan DC. Penyearah jenis ini menyediakan tegangan keluaran rata-rata yang lebih tinggi, *ripple* tegangan keluaran yang lebih kecil, dan frekuensi *ripple* yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan penyearah 1 fasa setengah

jembatan sehingga kebutuhan untuk menghaluskan gelombang lebih sederhana.



Gambar 2.3 Penyearah 1 fasa jembatan penuh dengan kapasitor

Besar tegangan DC yang dihasilkan oleh penyearah 1 fasa jembatan penuh menjadi:

$$V_m = \sqrt{2}V_{LN} \dots\dots\dots (2.2)$$

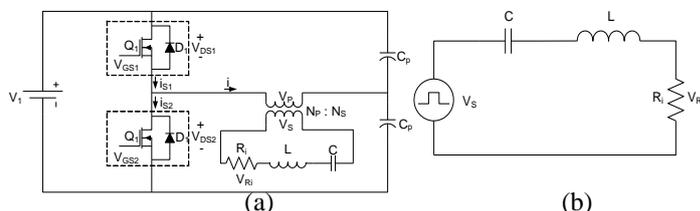
dengan:

$V_{DC}$  = Tegangan DC keluaran (Volt)

$V_{IN}$  = Tegangan maksimum masukan (Volt)

### 2.2.2.2. Half bridge series resonant inverter <sup>[4] [5] [6]</sup>

Rangkaian inverter resonan seri setengah jembatan ditunjukkan oleh gambar 2.4(a). Rangkaian tersebut terdiri dari dua buah saklar bidireksional S1 dan S2 serta rangkaian resonan seri L-C-R. Setiap saklar terdiri dari 1 transistor dan 1 dioda antiparalel. Pada rangkaian ini, dioda intrinsik pada MOSFET dapat digunakan sebagai dioda antiparalel. Saklar ini dapat mengalirkan arus positif maupun negatif saat dipicu. Jika transistor dimatikan, maka saklar hanya akan mengalirkan arus negatif melalui dioda. Transistor dipicu dengan gelombang kotak secara bergantian oleh  $V_{GS1}$  dan  $V_{GS2}$ . Saklar S1 dan S2 secara bergantian ON dan OFF, dengan *duty ratio* 50%.



Gambar 2.4 Rangkaian ekuivalen resonan seri

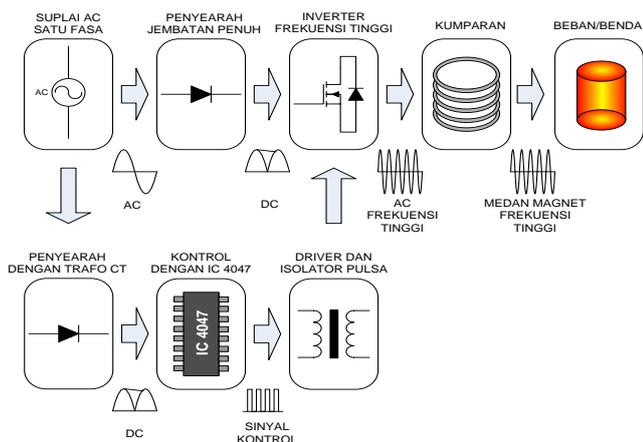
Rangkaian ekuivalen dari inverter resonan seri dapat dilihat pada gambar 2.4(b). Tegangan pada masukan rangkaian resonan seri adalah gelombang kotak dengan magnitudo  $V_s$ . Jika faktor kualitas  $Q_L = \sqrt{L/C}/R$  dari rangkaian resonan cukup ( $Q_L \geq 2,5$ ), arus  $i$  yang melalui rangkaian akan mendekati gelombang sinus. Hanya jika  $f = f_0$ , MOSFET akan menyala dan mati pada kondisi *zero current*, tidak menghasilkan rugi pensaklaran dan memiliki efisiensi yang tinggi. Pada kasus ini dioda antiparalel tidak pernah mengalirkan arus. Pada berbagai aplikasi, frekuensi operasi  $f$  tidak sama dengan frekuensi resonansi  $f_0 = 1/(2\pi \sqrt{LC})$  karena daya keluaran atau tegangan keluaran sering diatur dengan mengatur frekuensi operasinya. Daya keluaran diperoleh dari persamaan:

$$P_o = \frac{I_m^2 R}{2} = \frac{1}{2} V_m I_m \cos \psi \dots\dots\dots (2.3)$$

$$P_o = \frac{1}{2} \cdot \frac{V_m I_m}{\sqrt{1 + Q_L^2 \left( \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)^2}} \dots\dots\dots (2.4)$$

### III. PERANCANGAN ALAT

Adapun gambaran umum tentang alat yang dirancang, dapat dilihat pada blok diagram berikut ini:



Gambar 3.1 Diagram blok perancangan

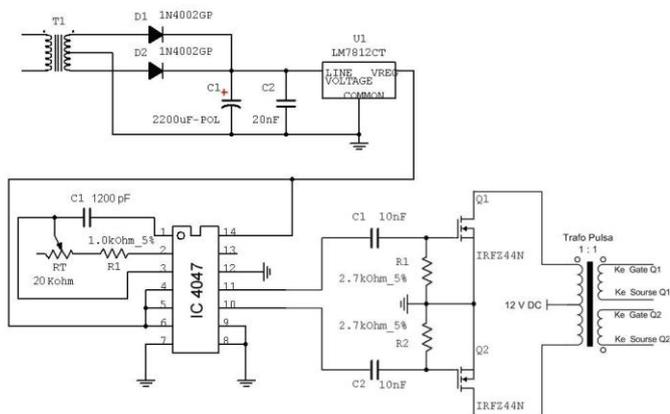
#### 3.1. Rangkaian Kontrol dengan IC 4047

Inverter dirancang untuk frekuensi 10 kHz – 200 kHz. Untuk itu ditentukan nilai R dan C untuk osilator menggunakan persamaan (2.1). Nilai C yang digunakan sebesar 1200 pF, kemudian nilai R dicari dengan persamaan:

$$f(\text{osc}) \text{ max} = 200 \text{ KHz}, \quad R_T = \frac{1}{4,4 \cdot 200 \cdot 10^3 \cdot 1,2 \cdot 10^{-9}} = 946 \, \Omega$$

$$f(\text{osc}) \text{ min} = 10 \text{ KHz}, \quad R_T = \frac{1}{4,4 \cdot 10^3 \cdot 1,2 \cdot 10^{-9}} = 18939 \, \Omega$$

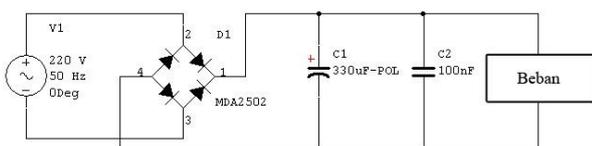
Dari perhitungan diatas, agar frekuensi bisa diatur maka digunakan potensiometer dengan 20 k Ω, dan R 1k Ω.



Gambar 3.2 Rangkaian Kontrol dengan IC 4047

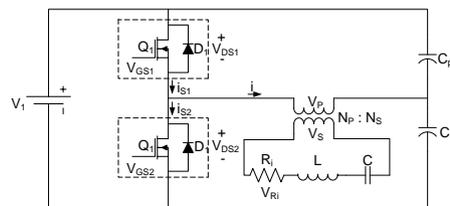
#### 3.2. Perancangan Penyearah Jembatan Penuh.

Rangkaian penyearah jembatan penuh pada bagian rangkaian daya ini menggunakan dioda *bridge* KBPC2510 yang didalamnya terdapat 4 buah dioda yang mampu bekerja pada tegangan 220 V dan mengalirkan arus hingga 20A. Kapasitor yang digunakan terdiri dari dua buah kapasitor polar 330μF dan satu buah kapasitor non polar 100nF.



Gambar 3.3 Penyearah jembatan penuh

### 3.3. Perancangan Inverter Resonan Seri Frekuensi Tinggi



Gambar 3.4 Rangkaian resonan seri

Urutan perancangan inverter yaitu:

1. Menentukan spesifikasi inverter yang akan dirancang. Inverter resonan seri yang dirancang memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- Bekerja pada tegangan sumber 220 Volt AC 50 Hz.
- Daya maksimal 300 W.
- Frekuensi resonan 40 KHz, 70 KHz, dan 100 kHz.

Karena daya paling besar pada kondisi resonan, maka perancangan dilakukan untuk operasi resonan.

2. Menentukan rasio trafo *stepdown*.

Trafo *stepdown* digunakan untuk menurunkan tegangan dari tegangan 156V menjadi 15V. Perbandingan trafo yang digunakan adalah:

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{15V}{156V} = \frac{5}{52}$$

Kumparan sekunder mampu menahan tegangan 3 V per lilitan sehingga kumparan sekunder terdiri dari 5 lilitan dan kumparan primer terdiri dari 52 lilitan.

3. Menentukan MOSFET yang digunakan.

Dalam menentukan MOSFET, hal yang diperhatikan yaitu:

- Tegangan kerja.

Tegangan keluaran penyearah jembatan adalah 311 V DC dan akan langsung *diinverting* sehingga MOSFET harus bisa menahan tegangan sebesar ini.

- Arus maksimal

Jika ingin merancang inverter dengan daya 300 W maka resistansi beban rangkaian minimal sebesar:

$$R = \frac{8V_s^2}{\pi^2 P_o} = \frac{8 \cdot 15^2}{3,14^2 \cdot 300} = 0,608 \, \Omega$$

Besarnya arus maksimal yang mengalir pada rangkaian resonan pada sisi sekunder trafo *stepdown* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$I_m = \frac{V_m}{Z} = \frac{4V_s}{\pi Z} = \frac{4V_s \cos \psi}{\pi R}$$

Pada kondisi resonan nilai  $Z = R$  maka  $\psi = 1$ .

$$I_m = \frac{4V_s}{\pi R} = \frac{4 \cdot 15 \cdot 1}{3,14 \cdot 0,608} = 31A$$

Arus yang mengalir pada MOSFET disisi primer trafo adalah :

$$I_{mosfet} = \frac{156V}{15V} \cdot 31A = 2,98A$$

Dari perhitungan dapat kita lihat arus maksimal yang mengalir melalui MOSFET adalah 2,98 A. Arus dalam perhitungan ini hanya digunakan untuk perancangan inverter karena arus sebenarnya tergantung pada bahan yang akan dipanaskan.

Berdasarkan kriteria tersebut, MOSFET yang dipilih dalam tugas akhir ini adalah IRFP460 karena memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- *Drain to Source Breakdown Voltage* : 500V

- Continuous Drain Current  $I_D$  : 20 A
- Gate to Source Voltage  $V_{GS}$  :  $\pm 20$  V
- Gate Threshold Voltage : 4 V
- Drain to Source On Resistance  $r_{DS(ON)}$  : 0,27 $\Omega$

4. Membuat kumparan pemanas

Pada tugas akhir ini digunakan kawat penghantar dengan diameter 1,5 mm dan jumlah lilitan kumparan pemanas adalah 20 lilitan. Sehingga besarnya nilai resistansi pada kumparan pemanas adalah:

$$R_p = \left(\frac{N_p}{N_s}\right)^2 \cdot R_s = \left(\frac{20}{1}\right)^2 \cdot R_s = 400 R$$

Karena resistansi benda tidak diketahui maka diharapkan dengan belitan sebanyak ini nilai resistansi pada kumparan sudah cukup besar, sehingga arus yang mengalir tidak terlalu besar.

5. Mengukur nilai L kumparan pemanas.

Pada pembuatan tugas akhir ini nilai induktor (L) yang terukur adalah 0.024 mH.

6. Menghitung nilai kapasitor resonan.

Untuk frekuensi resonan digunakan persamaan:

$$C = \frac{1}{(2\pi \cdot f_0)^2 \cdot L}$$

Untuk frekuensi resonan 40 kHz nilai kapasitor C = 660 nF, untuk frekuensi resonan 70 kHz C = 216 nF, sedangkan untuk frekuensi resonan 100 kHz nilai kapasitor adalah 106 nF

7. Menentukan tegangan kapasitor resonan

Besarnya tegangan yang harus ditahan oleh kapasitor ditentukan oleh faktor kualitas rangkaian. Pada kondisi terburuk kita misalkan rangkaian memiliki faktor kualitas 10, maka tegangan maksimum yang harus ditahan oleh induktor dan kapasitor sebesar:

$$V_{Cm(max)} = V_{Lm(max)} = Q_L V_m = \frac{4V_s Q_L}{\pi} = \frac{4 \cdot 15 \cdot 10}{3,14} = 191V$$

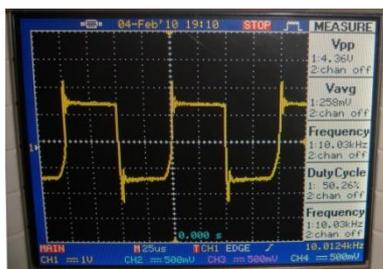
Pada tugas akhir ini digunakan kapasitor dengan tegangan 250V agar lebih handal jika faktor kualitasnya sangat tinggi.

#### IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pengujian dan analisa yang dilakukan dalam Tugas Akhir ini adalah pengujian terhadap *hardware* dan pada sistem secara keseluruhan.

##### 4.1. Pengujian Gelombang Keluaran

Gelombang hasil pengukuran keluaran rangkaian *driver* dan isolator pulsa dapat dilihat pada gambar 4.1.

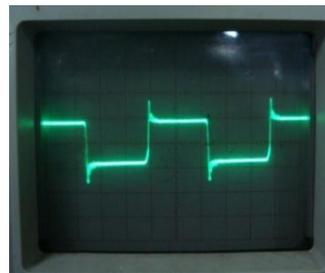


Gambar 4.1 Gelombang hasil pengukuran tegangan keluaran rangkaian *driver* dan isolator pulsa

Pada gambar 4.1 terlihat bahwa gelombang kotak keluaran *driver* memiliki amplitudo sebesar 1,5 div dengan volt/div=1V dan faktor pengali 10X, maka tegangan keluaran

yang dihasilkan memiliki amplitudo 15V. MOSFET IRFP460 memiliki *threshold voltage* 4V, sehingga tegangan keluaran *driver* dan isolator pulsa ini sudah sesuai untuk MOSFET IRFP460.

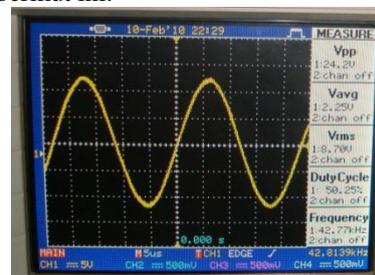
Besarnya tegangan yang ditahan oleh MOSFET dapat dilihat pada gambar 4.2 berikut ini:



Gambar 4.2 Gelombang tegangan *drain to source* mosfet

Pada gambar 4.2 dapat dilihat bahwa *spike* tegangan pada saat *turn-on* tidak terlalu besar walaupun rangkaian tidak menggunakan *snubber*.

Gelombang hasil pengukuran arus sisi sekunder trafo *stepdown* pada inverter rangkaian daya dapat dilihat pada gambar 4.3 berikut ini.

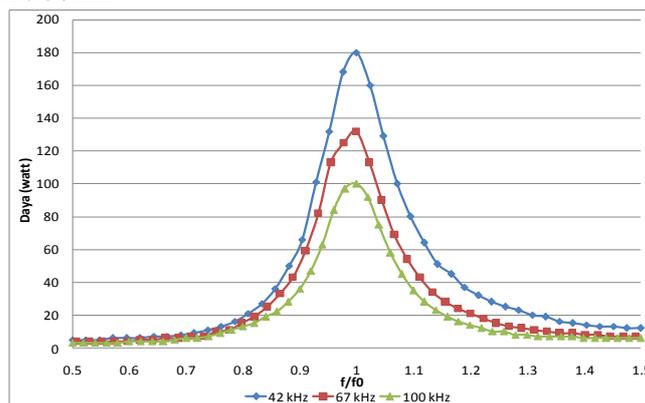


Gambar 4.3 Gelombang keluaran arus sisi sekunder trafo *stepdown* pada rangkaian resonan

Pada gelombang arus keluaran trafo *stepdown* menggunakan tahanan sebesar 0,11 $\Omega$  pada kondisi resonansi dapat dilihat bahwa bentuk gelombang berupa sinus karena rangkaian resonan hanya melewati arus fundamental.

##### 4.2. Pengujian Pengaturan Daya dengan Pengaturan Frekuensi

Pada tugas akhir ini pengaturan daya dilakukan dengan mengatur frekuensi inverter. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perubahan daya yang terjadi pada saat frekuensi inverter dirubah. Frekuensi yang digunakan yaitu 42 kHz, 67 kHz, 100 kHz. Parameter yang dirubah dalam pengujian ini hanyalah nilai kapasitor resonan, sedangkan nilai induktor yang juga berfungsi sebagai kumparan penginduksi tidak dirubah. Pengujian dilakukan pada tegangan sumber 220V AC 50 Hz.

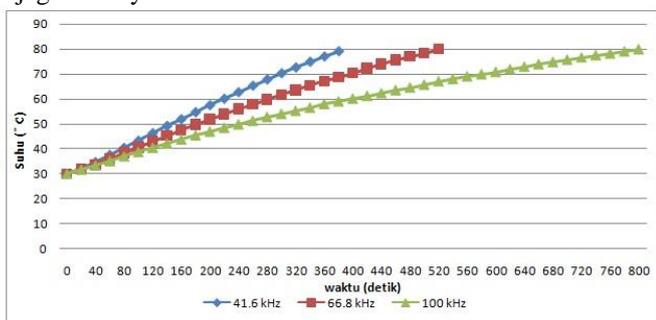


Gambar 4.4 Grafik perubahan daya terhadap frekuensi

Dari gambar 4.4 dapat dilihat bahwa ketika frekuensi dinaikkan, daya bertambah dan mencapai puncak pada frekuensi 42 kHz. Pada frekuensi 42 kHz ini daya mencapai nilai maksimum yaitu 180 watt. Setelah frekuensi dinaikkan kembali, maka daya akan kembali turun.

### 4.3. Pengujian pertambahan panas pada beberapa frekuensi resonan.

Pengujian pertambahan panas dilakukan pada berbagai frekuensi resonan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh kenaikan frekuensi terhadap kecepatan penambahan panas. Pengukuran penambahan panas ini dilakukan dengan menggunakan thermometer digital pada suhu ruang 26,7 °C. Frekuensi resonan yang digunakan yaitu 41,6 kHz, 66,8 kHz, dan 100 kHz. Frekuensi resonan ini diperoleh dengan mengganti nilai kapasitor resonan. Kumparan pemanas yang juga berfungsi sebagai induktor resonan tidak diganti agar perbandingan lilitan tetap sama walaupun frekuensi yang digunakan berubah. Tegangan sumber yang digunakan juga dijaga sama yaitu 220 V 50 Hz.

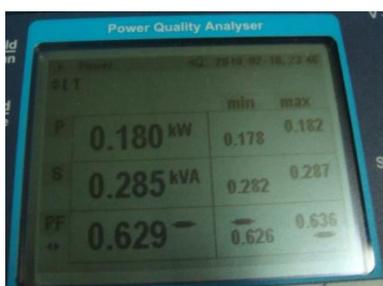


Gambar 4.5 Grafik pertambahan suhu pada berbagai kondisi resonan

Dari gambar 4.5 dapat dilihat bahwa pada semua frekuensi, suhu bertambah seiring bertambahnya waktu pemanasan. Kecepatan pemanasan semakin berkurang seiring dengan kenaikan suhu, hal ini dikarenakan semakin tinggi suhu maka semakin banyak energi panas yang terbuang kelingkrungan sekitar yang suhunya lebih rendah. Selain itu juga dapat dilihat bahwa semakin tinggi frekuensi resonan maka semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu 80 °C. Namun perlu diingat bahwa pada sub bab 4.2 daya pada masing-masing frekuensi resonan berbeda-beda, hal ini dikarenakan kenaikan frekuensi mengakibatkan efek kulit yang terjadi juga semakin besar, sehingga tahanan total seluruh rangkaian juga semakin besar. Hal ini ditunjukkan oleh turunnya arus pada setiap kenaikan frekuensi resonan.

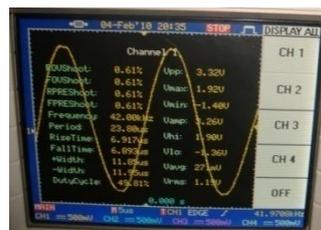
### 4.4. Efisiensi Inverter

Hasil pengukuran daya masukan inverter pada frekuensi resonan 42 kHz dengan menggunakan *power quality analyzer* dapat dilihat pada gambar 4.6.

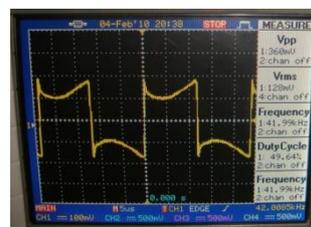


Gambar 4.6 Hasil pengukuran dengan *power quality analyzer*

Arus dan tegangan keluaran yang diambil dengan menggunakan *oscilloscope* digital dapat dilihat pada gambar berikut.



a. Arus keluaran inverter



b. Tegangan keluaran

Gambar 4.7 Arus dan tegangan keluaran inverter pada frekuensi resonan 42 kHz.

Dari gambar 4.7a dapat dilihat bahwa tegangan  $V_{pp}$  sebesar 4,28 V, nilai resistor yang digunakan untuk pengukuran arus yaitu 0,13 Ω. Maka arus keluaran RMSnya yaitu sebesar:

$$I_m = \frac{V_m}{R} = \frac{4,28V}{2,0,13\Omega} = 16,46A$$

Pada rangkaian resonan, tegangan yang diterapkan pada rangkaian resonan merupakan tegangan fundamental dari gelombang kotak pada keluaran trafo *stepdown*. Tegangan maksimum sebesar 14V. Maka tegangan keluaran maksimumnya adalah  $V_m = 1,273 \cdot 14 V = 17,82V$ . Daya keluaran inverter dapat dihitung dengan persamaan :

$$P_{out} = \frac{1}{2} \cdot V_m \cdot I_m \cdot \cos \psi$$

dengan  $\cos \psi = 1$  maka:

$$P_{out} = \frac{1}{2} \cdot 17,82V \cdot 16,46A \cdot 1 = 146,67W$$

Efisiensi inverter yaitu:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \cdot 100\% = \frac{146,67}{180} \cdot 100\% = 80\%$$

Jadi efisiensi inverter pada frekuensi resonan 42 kHz = 80%.

### 4.5. Pungujian Perubahan diameter bearing.

Pengujian perubahan muai *bearing* dilakukan dengan mengukur *bearing* setelah dipanasi. Pengukuran *bearing* dilakukan dengan menggunakan jangka sorong dengan tingkat ketelitian 0.05mm. *Bearing* yang digunakan untuk pengujian mempunyai diameter dalam (Din) 100 mm. Data hasil pengukuran perubahan muai *bearing* dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Perubahan diameter *bearing* terhadap suhu

No.	Suhu	Diameter dalam (Din)
1.	30 °C	10,00 mm
2.	40 °C	10,05 mm
3.	50 °C	10,10 mm
4.	60 °C	10,15 mm
5.	70 °C	10,20 mm
6.	80 °C	10,25 mm

Dari data pada tabel 4.1, dapat dilihat bahwa ketika suhu semakin bertambah, maka diameter dalam bearing juga akan semakin bertambah.

## V. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perancangan, pengujian dan analisa yang telah dilakukan pada Tugas Akhir ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Inverter resonan seri frekuensi tinggi yang dirancang memiliki tegangan input 220 V 50 Hz dengan tegangan keluaran AC 13 V dengan frekuensi 8,4 kHz hingga 188 kHz. Rangkaian pemecuan menggunakan IC 4047 dan rangkaian driver menggunakan trafo pulsa.
2. Daya keluaran inverter resonan seri dapat diatur dengan mengatur frekuensinya. Daya maksimal dicapai ketika frekuensi resonan 42 kHz yaitu sebesar 180 watt dan turun ketika frekuensi dinaikkan atau diturunkan.
3. Pada pemanasan bearing, suhu bertambah seiring bertambahnya waktu, namun kecepatan pemanasan semakin berkurang seiring dengan kenaikan suhu karena semakin tinggi suhu maka semakin banyak energi panas yang terbuang ke lingkungan sekitar yang suhunya lebih rendah.
4. Ketika pemanas digunakan untuk memanaskan bearing berdiameter dalam  $D_{in} = 100$  mm, dengan frekuensi resonan 42 kHz maka efisiensinya adalah 80%.

### 5.2 Saran

Saran yang dapat berikan untuk pengembangan tugas Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Perlu adanya perbaikan harmonisa disisi sumber dengan menambahkan filter atau menggunakan *switchmode power factor correction*. Dengan demikian faktor daya dapat ditingkatkan.
2. Peningkatan efisiensi dapat dilakukan dengan meniadakan trafo *stepdown* dan menggantinya dengan menggunakan DC *chopper* atau mengubah jumlah lilitan penginduksi agar arus masukan tidak terlalu besar.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1.] Balogh Laszlo, *Design And Application Guide For High Speed MOSFET Gate Drive Circuits*.
- [2.] Callebaut Jean, *Power Quality and Utilisation Guide*, www.leonardo-energy.org, 2007
- [3.] Hayt William H, Kemmerly Jack E, *Rangkaian listrik*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1996.
- [4.] Jung-gi Lee, Sun-kyoung Lim, Kwang-hee Nam, Dong-ik Choi, *Design Method of an Optimal Induction Heater Capacitance for Maximum Power Dissipation and Minimum Power Loss Caused by ESR*.
- [5.] Kang C.H., Sakamoto H., Harada K, *A Half-Bridge Converter using Series-Resonant Technology and Saturable Inductor Commutation*, Energy Electronic Laboratory Sojo University, Japan, 2001.
- [6.] Kazimierczuk Marian K, Czarkowski Darius, *Resonant Power Converter*, John Wiley and Sons, Inc.
- [7.] Lister, *Rangkaian dan Mesin Listrik*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1993.
- [8.] Purwanto Sigit, *Perancangan Sistem Pemanas Bearing menggunakan kontrol PI Berbasis mikrokontroler Atmega 8535*. Universitas Diponegoro, 2006.

- [9.] Rashid M, *Power Electronics Circuit, Device, and Application 2<sup>nd</sup>*, Prentice-Hall International Inc, 1988.
- [10.] Rossetto Leopoldo, Spiazzi Giorgio, *Series Resonant Converter with Wide Load Range*, University of Padova, Italy, 1998.
- [11.] Rudnev Valery, Loveless Don, Cook Raymond, *Handbook of Induction Heating*, Marcel Decker, Inc, New York, 2003.
- [12.] Sippola Mika, *Developments for the High Frequency Power Transformer Design and Implementation*.
- [13.] Wildi Toldore. *Electrical Machine, Driver, and Power Systems*, Prentice-Hall International Inc, 1981.
- [14.] Wong Fu Keung, *High Frequency Transformer for Switching Mode Power Supply*, School of Microelectronic Engineering, Faculty of Engineering and Information Technology, Griffith University, Brisbane, Australia. 2004.
- [15.] Zinn Stanley, Semiatin SL, *Coil design and fabrication: basic design and modifications*, Heat Treating, 1988.
- [16.] -----, *AN9012 : Induction Heating System Topology Review*, Fairchild semiconductor, 2000.
- [17.] -----, *SKF angular contact ball bearings– your key to longer service life*, SKF
- [18.] -----, *Switch mode power supply reference manual*, ON semiconductor, 2002.
- [19.] -----, *Bearing failure and their causes, product information 401*, SKF
- [20.] <http://www.wikipedia.org>
- [21.] <http://www.skf.com>

## BIODATA



Pandu Sandi Pratama (L2F004499)  
Dilahirkan di Semarang, Jawa Tengah, pada tanggal 1 Nopember 1986. Menempuh pendidikan SDN Bulusan 02, SLTP N 27 Semarang, SMA N 3 Semarang, dan sekarang sedang menempuh pendidikan di Universitas Diponegoro Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro, Konsentrasi Ketenagaan.

Menyetujui,

Pembimbing I

Ir. Agung Warsito, DHET  
NIP. 195806171987031002

Pembimbing II

Karnoto, ST, MT  
NIP. 196907091997021001