

PERANCANGAN *FULL BRIDGE* INVERTER RESONANSI PARALEL SEBAGAI CATU DAYA PEMANAS INDUKSI PADA PIPA PEMANAS AIR

Seno Yudho Panggayuh Ritonga^{*)}, Agung Warsito, and Mochammad Facta

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

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

Abstrak

Pemanasan secara induksi adalah proses pemanasan tanpa adanya kontak fisik antara pemanas dengan benda yang dipanaskan. Pemanas induksi menghasilkan panas dengan memanfaatkan rugi-rugi histerisis dan arus eddy. Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan metode terbaik dalam pemanasan pipa saluran air. Teknologi yang berkembang saat ini adalah pemanas air menggunakan gas dan panas matahari. Pemanas air menggunakan gas dianggap kurang efektif karena switch otomatis sering bermasalah dan api tidak menyala karena tekanan pompa drop. Pemanas air menggunakan panas matahari dianggap kurang efektif karena dimensinya sangat besar dan harganya yang sangat mahal. Berdasarkan permasalahan tersebut penulis bertujuan untuk mencari solusi pemanasan yang efektif, yaitu menggunakan metode pemanasan induksi. Pemanas induksi tersebut membutuhkan catu daya khusus yang memiliki frekuensi tinggi. Tujuan penelitian ini adalah membuat inverter full bridge resonan paralel frekuensi tinggi yang digunakan sebagai catu daya pemanas induksi pada pipa pemanas air. Dari hasil pengujian didapat bahwa sistem yang dirancang dapat bekerja pada tegangan 130 Volt AC 50 Hz. Daya maksimal terdapat pada frekuensi resonansi 32kHz yaitu 590W. Sistem bekerja paling optimal pada frekuensi resonansi 32 kHz variasi duty cycle 30% yaitu dapat membuat pipa stainless steel mencapai suhu 100 °C dan suhu air konstan 64,2 °C dalam jangka waktu 172 detik.

Kata kunci : inverter fullbridge, pemanas induksi, resonansi paralel

Abstract

Induced heating is a warming process without any physical contact between the heater and the heated object. The induction heater generates heat by utilizing hysteresis losses and eddy currents. This research was conducted to get the best method in heating plumbing. The technology that develops today is water heaters using gas and solar thermal. Gas water heaters are considered less effective because automatic switches are often problematic and fire is not lit because of pump drop pressure. Water heaters use solar heat is considered less effective because of its very large dimensions and very expensive price. Based on these problems the author aims to find an effective heating solution, namely using induction heating method. The induction heater requires a special high frequency power supply. The objective of this research is to make a high frequency parallel resonant full bridge inverter which is used as induction heating power supply in water heater pipe. From the test results obtained that the system designed to work on 130 Volt AC 50 Hz. Maximum power is at the 32kHz resonance frequency of 590W. The system works most optimally at 32 kHz resonance frequency 30% duty cycle variation that can make stainless steel pipe reaches 100 °C and constant water temperature of 64.2 °C in 172 seconds.

Keyword : fullbridge inverter, induction heater, parallel resonant

1. Pendahuluan

Pemanasan secara induksi adalah sebuah proses pemanasan tanpa adanya kontak fisik antara pemanas dengan benda yang dipanaskan. Berbeda dengan metode pemanasan lain yang harus melalui proses pembakaran kemudian diterapkan ke benda yang dipanaskan. Pemanas induksi menghasilkan panas dengan memanfaatkan rugi-

rugi histerisis dan arus *eddy*. Pada penelitian penelitian ini, penulis memanfaatkan pemanas induksi untuk memanaskan pipa saluran air.

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan metode terbaik dalam pemanasan pipa saluran air. Teknologi yang berkembang saat ini adalah pemanas air menggunakan gas dan pemanas air menggunakan panas matahari. Pemanas

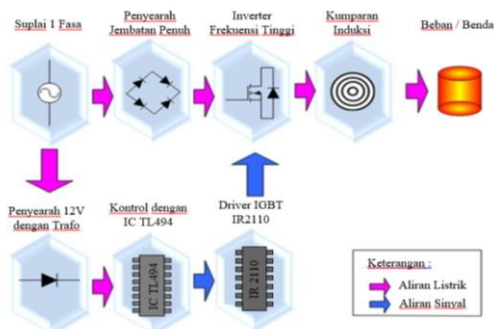
air menggunakan gas dianggap kurang efektif karena *switch* otomatis sering bermasalah dan api tidak menyala karena tekanan pompa *drop*. Pemanas air menggunakan panas matahari juga dianggap kurang efektif karena dimensi yang dimiliki sangat besar dan harga pemanas yang sangat mahal, sehingga tidak semua kalangan mampu untuk membelinya.

Tujuan penelitian pada penelitian ini adalah membuat pipa pemanas pipa air berdasarkan proses pemanasan secara induksi. Pada proses ini kumparan yang dialiri arus listrik bolak-balik frekuensi tinggi akan menghasilkan medan magnet yang akan menginduksi pipa *stainless steel*. Pemilihan pipa *stainless steel* karena pipa tersebut memiliki sifat feromagnetik. Pada pipa *stainless steel* akan terbentuk arus *eddy* yang akan menimbulkan panas. Panas inilah yang nantinya digunakan untuk memanaskan air yang mengalir di dalam pipa.

Proses pemanasan secara induksi membutuhkan frekuensi tinggi sehingga dibutuhkan catu daya yang digunakan untuk mensuplai pemanas induksi tersebut. Dalam penelitian ini penulis akan merancang inverter frekuensi tinggi dengan topologi inverter *fullbridge* resonansi paralel yang dapat menghasilkan listrik bolak balik dengan frekuensi yang tinggi.

2. Metode

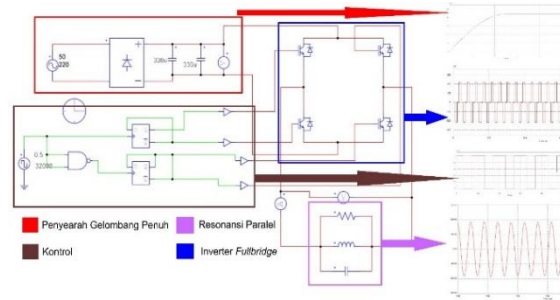
Perancangan dan pembuatan perangkat keras inverter frekuensi tinggi sebagai catu daya pemanas induksi pada pipa pemanas air ini terdiri dari sumber tegangan AC 1 fasa 130 V, rangkaian kontrol, rangkaian driver, rangkaian penyearah dan rangkaian daya inverter.



Gambar 1. Blok diagram perancangan alat

2.1. Perancangan dengan Software PSIM

Langkah awal pada perancangan penelitian ini adalah dengan membuat simulasi dengan software PSIM agar dapat menentukan nilai komponen yang tepat dan mempermudah analisa sistem.

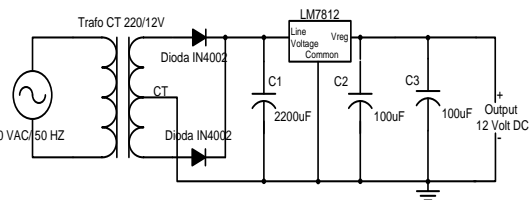


Gambar 2. Rangkaian alat dengan simulasi PSIM

2.2. Perancangan Rangkaian Kontrol

2.2.1. Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh Satu Fasa Teregulasi dengan Center Tap

Rangkaian ini merupakan sumber tegangan DC 12 V. Tegangan 12 VDC berfungsi sebagai suplai untuk kipas, IGBT driver dan rangkaian kontrol yaitu IC TL494. Tegangan DC didapatkan dari hasil penyearahan tegangan AC jala – jala yang sebelumnya diturunkan tegangannya menggunakan trafo *stepdown* dari 220Volt menjadi 12 volt..



Gambar 3. Penyearah gelombang penuh satu fasa teregulasi dengan center tap

Tegangan 12 VAC ketika disearahkan akan menjadi lebih besar yaitu 16,97 VDC, maka hasil keluaran dioda diberikan regulator LM7812 untuk meregulasi tegangan dari 16,97 V menjadi 12 V.

2.2.2. Rangkaian Kontrol dengan IC TL494

Rangkaian kontrol menggunakan IC TL494 berfungsi untuk mengontrol pemucuan IGBT G60N120 pada rangkaian daya inverter. IC TL49 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 multivibrator* dengan *duty cycle* 50%. Pengaturan frekuensi dilakukan dengan mengatur nilai R dan C.

Pertama-tama kita menentukan frekuensi kerja yang kita inginkan. penelitian ini dirancang untuk rentang kerja frekuensi 10 kHz – 100kHz. Berdasarkan *datasheet* IC TL494, pengaturan frekuensinya didapatkan dengan persamaan berikut :

$$f_{osc} = \frac{1}{2 \cdot R_T \cdot C_T} \quad (1)$$

Dari persamaan tersebut ditentukan nilai kapasitor yang digunakan sebesar 1nF, maka nilai resistor :

$$R_T = \frac{1}{2 \cdot f_{osc} \cdot C_T}$$

Untuk $f(osc)_{max} = 100 \text{ kHz}$

$$R_T = \frac{1}{2 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 10^{-9}} = 5500 \text{ } \Omega \approx 5600 \text{ } \Omega$$

Sedangkan untuk $f(osc)_{min} = 10 \text{ kHz}$

$$R_T = \frac{1}{2 \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 10^{-9}} = 55000 \text{ } \Omega \approx 56000 \text{ k}\Omega$$

Nilai komponen yang ada dipasaran yaitu :

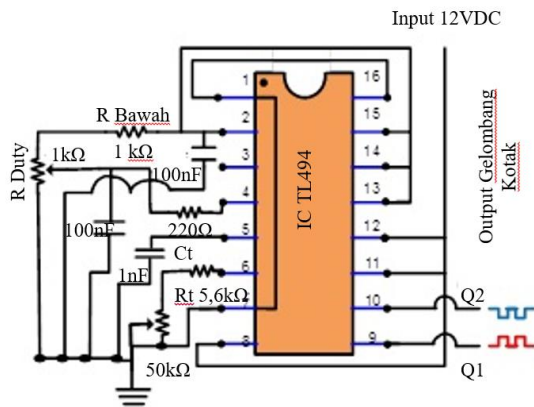
- CT : 1nF
- R : 5,6k Ω
- VR : 50 k Ω

Maka besarnya frekuensi osilator adalah :

- pada saat $V_R = 0 \text{ } \Omega$
 $f_{osc(max)} = \frac{1}{2 \cdot 5600 \cdot 10^{-9}} = 98,214 \text{ kHz}$

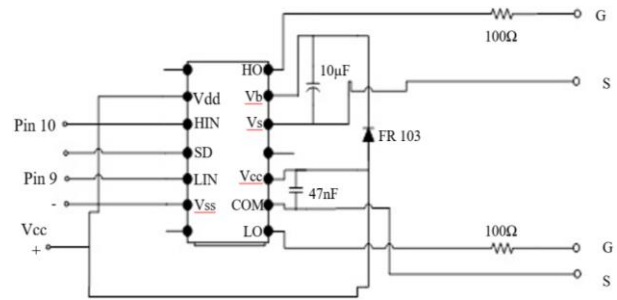
- pada saat $V_R = 50 \text{ k}\Omega$
 $f_{osc(min)} = \frac{1}{2 \cdot 55600 \cdot 10^{-9}} = 9,892 \text{ kHz}$

Dengan demikian untuk memperoleh frekuensi yang diinginkan dapat dilakukan dengan cara mengatur putaran potensiometer (V_R). Berikut gambar skema rangkaian kontrol dengan IC TL494 :



Gambar 4. Rangkaian kontrol dengan IC TL494

2.2.3. Rangkaian Driver IGBT



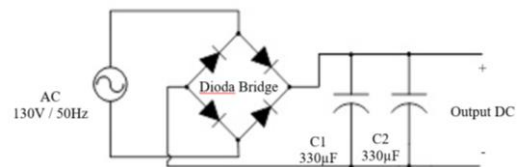
Gambar 5. Diagram skematik driver IGBT IR2110

Rangkaian driver IGBT diperlukan untuk memisahkan antara rangkaian daya dengan rangkaian kontrol. Pemisahan ini bertujuan agar ketika terjadi masalah pada rangkaian daya, maka tidak akan sampai merusak rangkaian control IC TL494. Pada penelitian ini, digunakan dua buah driver IGBT tipe IR2110 untuk memicu keempat IGBT konfigurasi *fullbridge*.

2.3. Perancangan Rangkaian Daya

2.3.1. Penyearah Gelombang Penuh

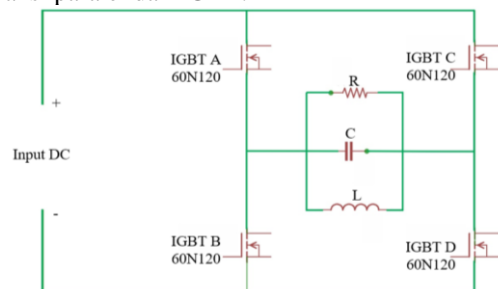
Penyearah ini digunakan untuk menyearahkan tegangan AC menjadi DC untuk suplai masukan pada rangkaian inverter. Penyearah gelombang penuh ini menggunakan *dioda bridge* MB3510 yang akan mengubah tegangan 130 VAC menjadi 183,85 VDC dan digunakan kapasitor untuk menghaluskan gelombang keluaran hasil penyearahan.



Gambar 6. Rangkaian penyearah gelombang penuh

2.3.2. Inverter Fullbridge Resonansi Seri

Perancangan rangkaian inverter *fullbridge* resonansi seri terdiri dari beberapa bagian yaitu rangkaian resonansi seri dan IGBT.



Gambar 7. Inverter fullbridge resonansi paralel

2.3.2.1. Rangkaian Resonansi Paralel

Rangkaian resonansi paralel ini terdiri dari kapasitor dan induktor.

• Induktor

Kumparan penginduksi dibuat dengan melilitkan kawat tembaga ke pipa *stainless steel*. Hal ini karena kumparan penginduksi memiliki fungsi sebagai penginduksi medan magnet ke benda (pipa). Kawat tembaga yang digunakan memiliki diameter 3 mm dengan 4 x 41 belitan. Dengan konfigurasi tersebut didapatkan nilai induktansi sebesar 0.06114 mH.

• Kapasitor

Dengan mengetahui frekuensi kerja rangkaian resonansi dan nilai induktor maka dapat diketahui nilai kapasitor yang diperlukan untuk tiap-tiap frekuensi resonansi 32 kHz dan 41 kHz. Alasan pemilihan frekuensi resonansi ini yaitu kedua frekuensi tersebut berada di atas batas pendengaran manusia. Hal ini agar sistem yang dibuat tidak menimbulkan bunyi. Selain hal tersebut kedua frekuensi dipilih dengan variasi yang berbeda untuk mengetahui karakteristik sistem terhadap variasi frekuensi. Penentuan nilai kapasitor resonansi dapat dicari dengan persamaan berikut :

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

Maka nilai C adalah :

$$C = \frac{1}{(2\pi \cdot f_0)^2 \cdot L} \quad (3)$$

Untuk frekuensi 32 kHz maka nilai kapasitor yang dibutuhkan :

$$C = \frac{1}{(2\pi \cdot 32 \cdot 10^3)^2 \cdot 0,06114 \cdot 10^{-3}}$$

$$C = 461 \text{ nF}$$

Untuk frekuensi 44 kHz maka nilai kapasitor yang dibutuhkan :

$$C = \frac{1}{(2\pi \cdot 44 \cdot 10^3)^2 \cdot 0,06114 \cdot 10^{-3}}$$

$$C = 259 \text{ nF}$$

2.3.2.2. IGBT

Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT) merupakan komponen semikonduktor yang biasa digunakan sebagai saklar daya frekuensi tinggi. Prinsip penggunaan IGBT

sebagai saklar daya hampir serupa dengan *Metal Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor* (MOSFET). IGBT memiliki struktur dan sifat dari kedua jenis transistor, *Bipolar Junction Transistor* (BJT) dan MOSFET. Dengan kata lain, IGBT menggabungkan keunggulan kedua jenis transistor tersebut. Seperti halnya MOSFET, kaki *gate* IGBT memiliki nilai impedansi yang sangat tinggi sehingga tidak membebani rangkaian pengendalinya. Pada saat keadaan *on* , nilai *Ron* dari IGBT sangat kecil seperti halnya BJT. Dengan demikian, prinsip pengendalian *on-off* IGBT serupa dengan MOSFET, sementara karakteristik penyaluran daya (*on-state characteristic*) dari IGBT serupa dengan BJT.

Pada penelitian ini digunakan IGBT G60N120 dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 1. Spesifikasi IGBT G60N120

Parameter	Spesifikasi / Nilai Besaran
Drain – source breakdown voltage	1200 V
Gate – source breakdown voltage	15 V
Gate – threshold voltage	6 V
Continuous Drain Current (TC=25°C)	63 A
Continuous Drain Current (TC=100°C)	30 A

2.4. Perancangan Beban Pipa *Stainless Steel*

Pipa *stainless steel* yang dirancang pada penelitian ini digunakan sebagai tempat mengalirnya air yang akan dipanaskan sekaligus menjadi beban (*load*) bagi inverter *fullbridge* resonansi paralel. Pipa *stainless steel* dipilih karena bersifat konduktif, feromagnetik dan anti karat. Sehingga sesuai sebagai syarat pemanas saluran air menggunakan pemanas induksi. Dalam pembuatan beban (*load*) pipa *stainless steel*, digunakan beberapa potongan pipa *stainless steel*. Diantaranya adalah :

- 1) 4 buah pipa *stainless steel* 20 cm.
- 2) 3 buah pipa *stainless steel* 8 cm.
- 3) 2 buah pipa *stainless steel* 35 cm.

Kemudian dibutuhkan komponen tambahan yaitu :

- 1) 8 buah knee.
- 2) 6 buah penyangga pipa.
- 3) Multiplex 50 cm x 80 cm sebagai wadah beban (*load*) pipa *stainless steel*.

Pipa *stainless steel* yang digunakan dalam penelitian ini memiliki diameter ½ inch. Hasil realisasi dari beban (*load*) pipa *stainless steel* ini adalah seperti Gambar 8.

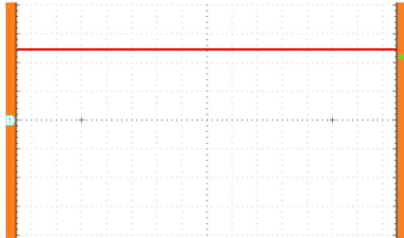


Gambar 8 Realisasi beban kerja (*load*) pipa *stainless steel*

3. Hasil dan Analisa

3.1. Pengujian Gelombang Keluaran

Gelombang keluaran rangkaian penyearah dengan CT (*center tap*) dapat dilihat pada Gambar 8.



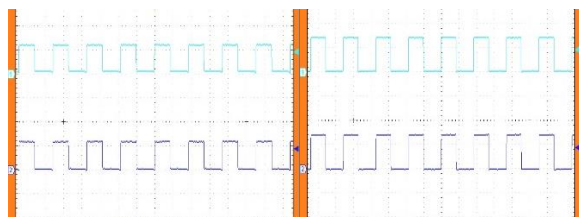
Gambar 9. Gelombang keluaran penyearah dengan CT

Pada Gambar 9 dapat dilihat bahwa gelombang keluaran rangkaian penyearah dengan CT memiliki nilai tegangan 2,4 div pada skala 5 Volt/div dengan faktor pengali 1x sehingga dapat diketahui nilai tegangan DC tersebut adalah sebesar :

$$\begin{aligned} V &= 2,4 \text{ div} \times 5 \text{ Volt/div} \\ &= 12 \text{ Volt DC} \end{aligned}$$

Nilai tegangan ini sudah sesuai untuk mensuplai rangkaian kontrol IC TL494.

Gelombang keluaran hasil pengukuran pada rangkaian kontrol IC TL494 dan rangkaian driver isolator pulsa dapat dilihat pada gambar berikut :



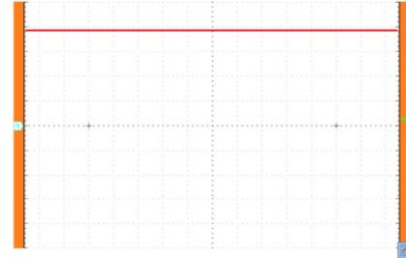
(a) Gelombang IC TL494 (b) Gelombang IR2110

Gambar 10. Gelombang keluaran rangkaian kontrol

Pada Gambar 10(a) terlihat bahwa gelombang keluaran rangkaian kontrol merupakan gelombang kotak DC dengan amplitudo 1,2 div dengan skala 10 Volt/div, maka tegangan yang dihasilkan yaitu 12 V. Tegangan ini sudah sesuai untuk memicu IR2110 pada rangkaian driver.

Pada Gambar 10(b) terlihat bahwa gelombang keluaran rangkaian driver merupakan gelombang kotak AC dengan amplitudo puncaknya 1,5 div dengan skala 10 Volt/div, maka tegangan puncaknya adalah 15 V. Nilai tegangan ini sudah sesuai untuk memicu IGBT G60N120 pada rangkaian daya inverter yang memiliki nilai tegangan *threshold* pada *gate* sebesar 6 V.

Gelombang keluaran rangkaian penyearah gelombang penuh blok rangkaian daya dapat dilihat pada Gambar 11.



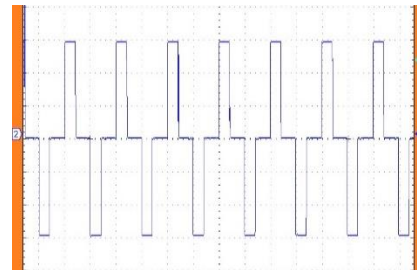
Gambar 11. Gelombang keluaran penyearah gelombang penuh

Pada Gambar 11 nilai tegangan 3,8 div dengan skala 50 v/div, maka tegangannya adalah

$$V = 3,8 \text{ div} \times 50 \text{ Volt/div} = 190 \text{ Volt DC}$$

Tegangan ini sudah sesuai untuk mensuplai inverter *fullbridge* resonansi paralel pada rangkaian daya. Berdasarkan Gambar 11, bentuk tegangan lurus tanpa adanya riak dengan besar tegangan 190 Volt DC.

Sedangkan gelombang keluaran inverter fullbridge dapat dilihat pada Gambar 12

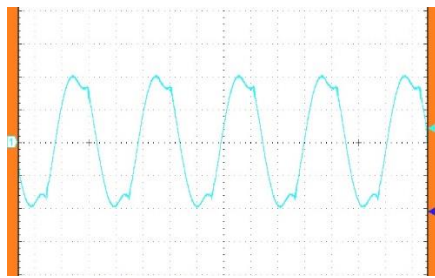


Gambar 12. Gelombang keluaran inverter *fullbridge*

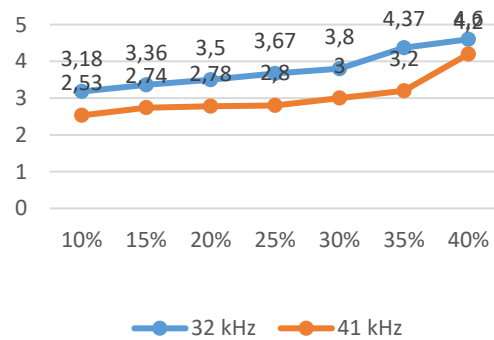
Pada Gambar 12 dapat dilihat terdapat jeda antara siklus positif dan negatif, hal ini karena pada rangkaian kontrol pemucuan, IC TL494 membentuk rangkaian *phaseshifting*. Nilai puncak gelombang adalah 6 div dengan skala 50 Volt/div, maka nilai tegangan nya adalah 150 Volt. Nilai tegangan ini sudah sesuai dengan nilai tegangan pada perancangan alat.

Pada komponen resonansi bentuk gelombangnya dapat dilihat pada Gambar 13.

Pada Gambar 13 dapat dilihat bahwa gelombang keluaran dari komponen resonansi berbentuk sinus. Nilai puncak kedua gelombang tersebut adalah sama yaitu 3,8 div pada skala 100 Volt/div, maka nilai tegangan puncak kedua gelombang tersebut adalah 183 Volt AC.



Gambar 13 Gelombang pada keadaan resonansi



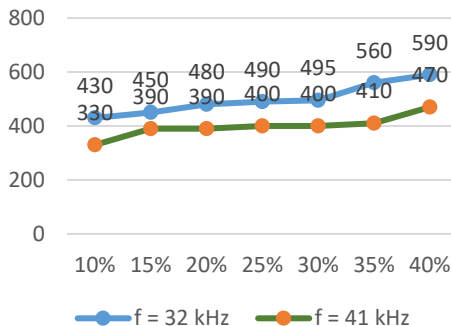
Gambar 14. Grafik perbandingan perubahan arus pada variasi *duty cycle* tiap frekuensi resonansi

3.2. Pengujian Pemanas Pipa Air

3.2.1. Pengujian Perubahan Daya Terhadap Variasi *Duty Cycle* Masing-masing Frekuensi

Perubahan frekuensi pemecuan dan *duty cycle* pada inverter akan mengubah nilai daya yang masuk ke sistem. Pada variasi nilai frekuensi resonansi yaitu 32 kHz dan 41 kHz didapat respon perubahan daya terhadap frekuensi yang berbeda-beda pada tiap frekuensi resonansi.

Daya paling besar didapat pada variasi *duty cycle* 40% frekuensi resonansi 32 kHz yaitu sebesar 590 Watt. Sedangkan daya paling kecil didapat pada variasi *duty cycle* 10% frekuensi resonansi 41 kHz seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Grafik perubahan daya terhadap variasi *duty cycle* frekuensi resonansi

3.2.2. Pengujian Perubahan Arus terhadap Variasi *Duty Cycle* Masing-masing Frekuensi

Perubahan frekuensi pemecuan dan *duty cycle* pada inverter akan mengubah nilai arus yang masuk ke sistem. Pada variasi nilai frekuensi resonansi yaitu 32 kHz dan 41 kHz didapat respon perubahan arus terhadap frekuensi yang berbeda-beda pada tiap frekuensi resonansi.

3.2.3. Pengujian Perubahan Panas pada Variasi *Duty Cycle* Tiap Frekuensi Resonansi

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kecepatan perubahan panas pada tiap frekuensi resonansi. Frekuensi resonansi yang digunakan adalah 32 kHz dan 41 kHz. Pengujian dilakukan dengan menggunakan termometer gun, 4in1 dan *stopwatch*. Pengujian juga dilakukan dengan debit air yang sudah ditentukan dengan cara mengisi wadah berdimensi :

- Panjang : 16,3 cm
- Lebar : 11,6 cm
- Tinggi : 2 cm

Maka : Volume = panjang x lebar x tinggi
 = 16,3 cm x 11,6 cm x 2 cm
 = 378,16 cm³

Waktu air dapat mengisi volume sebesar 378,16 cm³ adalah 202 detik. Maka debit airnya adalah

$$Q = \frac{Volume}{Waktu} = \frac{378,16 \text{ cm}^3}{202 \text{ detik}} = 1,872 \frac{\text{cm}^3}{\text{detik}}$$

Dengan menggunakan debit air sebesar 1,872 cm³/detik, maka data perubahan suhu pada frekuensi resonansi 32 kHz adalah sebagai berikut :

Tabel 2. Perubahan suhu frekuensi resonansi 32 kHz

Duty Cycle (%)	32 kHz		
	Waktu Detik	Suhu	
		Pipa	Air Konstan
40%	381	100°C	36°C
35%	333	100°C	37,8°C
30%	172	100°C	64,2°C
25%	240	100°C	62,7°C
20%	283	100°C	54,7°C
15%	316	100°C	43,4°C
10%	347	100°C	39,6°C

Berikut tabel data perubahan suhu pada frekuensi resonansi 41 kHz :

Tabel .3 Perubahan suhu frekuensi resonansi 41 kHz

Duty Cycle (%)	41 kHz		
	Waktu	Suhu	
		Detik	Pipa
40%	384	100°C	35,8°C
35%	331	100°C	40,8°C
30%	243	100°C	61,7°C
25%	303	100°C	53,2°C
20%	309	100°C	51,8°C
15%	333	100°C	41,3°C
10%	356	100°C	36°C

Suhu tertinggi didapat pada variasi *duty cycle* 30% pada frekuensi resonansi 32 kHz yaitu dapat mencapai suhu pipa *stainless steel* 100 °C dan suhu air konstan 64,2 °C dalam jangka waktu 172 detik. Sedangkan suhu terendah didapat pada variasi *duty cycle* 10% pada frekuensi 41 kHz yaitu mencapai suhu pipa *stainless steel* 100 °C dan suhu air konstan hanya 36 °C dalam jangka waktu 356 detik. Berdasarkan pada tabel 2 dan tabel 3 dapat diketahui bahwa proses pemanasan yang paling maksimal terdapat pada *duty cycle* 30% frekuensi resonansi 32 kHz yaitu dapat membuat pipa *stainless steel* mencapai suhu 100 °C dalam jangka waktu 172 detik dan suhu air konstan mencapai 64,2 °C. Sedangkan pada frekuensi resonansi 41 kHz, pemanasan paling maksimal terdapat pada *duty cycle* 30% yaitu dapat membuat pipa *stainless steel* mencapai suhu 100 °C dalam jangka waktu 243 detik dan suhu air konstan mencapai 61,7 °C.

Pada pengujian ini kenaikan suhu paling rendah terdapat pada *duty cycle* 40% frekuensi resonansi 32 kHz yaitu 381 detik untuk mencapai suhu 100 °C pada pipa *stainless steel* dan suhu air konstan hanya 36 °C. Pada pengujian frekuensi 41 kHz, suhu paling rendah terdapat pada *duty cycle* 40% yaitu 384 detik untuk mencapai suhu 100 °C pada pipa *stainless steel* dan suhu air konstan hanya 35,8 °C.

Dari data yang telah diperoleh dapat diketahui bahwa kenaikan suhu pada tiap frekuensi resonansi berbeda-beda. Hal ini karena perbedaan yang dikarenakan adanya efek kulit (*skin effect*). Pada frekuensi yang tinggi efek kulit akan semakin signifikan. Efek kulit akan mengakibatkan arus cenderung mengalir pada permukaan konduktor sehingga konsentrasi arus terbesar yang mengalir pada konduktor sistem terdapat pada permukaan konduktor yang berarti luas permukaan efektif konduktor yang dilewati arus akan semakin kecil. Hal ini akan mengakibatkan bertambahnya nilai resistansi sistem sehingga nilai arus yang mengalir pada sistem akan semakin kecil yang berakibat pada semakin rendahnya perambatan suhu pada sistem.

4. Kesimpulan

Inverter *fullbridge* resonansi paralel frekuensi tinggi dapat diaplikasikan sebagai pemanas induksi pada pipa saluran air yang dapat bekerja pada tegangan masukan 130 Volt AC 50 Hz. Frekuensi yang diterapkan pada saat proses pemanasan pipa saluran air sebesar 32 kHz dan 41 kHz. Karena frekuensi tersebut berada diatas ambang pendengaran yang mampu didengar oleh manusia. Besar *R gate* pada driver IGBT IR2110 harus disesuaikan dengan kondisi beban yang akan digunakan. Dalam kasus penelitian ini, digunakan *R gate* sebesar 56 Ohm 5 Watt. Daya terbesar didapat pada frekuensi resonansi 32 kHz dengan *duty cycle* 40% yaitu 590 Watt. Kecepatan pertambahan suhu tercepat terdapat pada frekuensi resonansi 32 kHz dengan variasi *duty cycle* 30% yaitu dalam jangka waktu 172 detik dapat membuat pipa *stainless steel* mencapai suhu 100 °C dan suhu air konstan 64,2 °C, dengan ketentuan debit air = $1,872 \frac{cm^3}{detik}$. Beban yang digunakan pada penelitian ini adalah pipa *stainless steel* karena sistem yang dirancang hanya bisa bekerja pada bahan logam yang bersifat feromagnetik.

Referensi

- [1]. Jeevananthan, S, Dananjayan, P & Venkatesan, S, 2005, 'A Novel Modifield Carrier PWM Switching Strategy for Single-Phase Full-Bridge Inverter', *Iranian Journal of Electrical and Computer Engineering*, Vol. 4, No. 2, hh. 101-108.
- [2]. Namadmalan, Alireza & Moghani, Javad, Shokrollahi, 2012, 'Self-Oscillating Switching Technique for Current Source Parallel Resonant Induction Heating Systems', *Journal of Power Electronics*, Vol. 12, No. 6, hh. 851-858.
- [3]. Peram, Sreenivas, Ramesh, Vaddi & Ranganayakulu, J, Sri, 2013, 'Full Bridge Resonant Inverter for Induction Heating Applications', *International Journal of Engineering*, Vol. 3, hh. 066-073.
- [4]. Pratama, Pandu Sandi. *Perancangan Inverter Resonan Seri Frekuensi Tinggi Sebagai Suplai Pemanas Induksi Pada Alat Pemanas Bearing*. Universitas Diponegoro, 2010.
- [5]. Baskara, Rieza Dwi. *Perancangan Inverter Resonan Paralel Frekuensi Tinggi Menggunakan IGBT Sebagai Pemanas Induksi*. Universitas Diponegoro. 2012.
- [6]. Budiman, Rezon Arif. *Perancangan Half Bridge Inverter Untuk Catu Daya Pemanas Induksi Pada Alat Extruder Plastik*. Universitas Diponegoro. 2012.
- [7]. Mahardika, Tegar. *Perancangan Inverter Full Bridge Resonansi Seri Frekuensi Tinggi Untuk Aplikasi Induction Cooker*. Universitas Diponegoro. 2013.
- [8]. -----, *AN9012 : Induction Heating System Topology Review*, Fairchild semiconductor, 2000.
- [9]. Callebaut, Jean. *Application Note Induction Heating*. Leonardo Energy. 2011.
- [10]. Pluta, Wojciech A.. *Core Loss Models in Electrical Steel Sheets with Different Orientation*. Czestochowa University of Technology, 2011

- [11]. Wildi, Toldore, *Electrical Machine, Driver, and Power Systems*. Prentice-Hall International Inc. 1981.
- [12]. Rhoades, Nathan. *A Fundamental Overview of Heating by Induction*. 2006.
- [13]. Akbar, Airlangga Avryansyah. *Perancangan Inverter Full Bridge Sebagai Pengendali Kecepatan Putar Motor Penggerak Rotary Spark Gap*. Universitas Diponegoro. 2015.
- [14]. M. Rashid. *Power Electronics Circuit, Device, and Application 2nd*. Prentice-Hall International Inc. 1988.
- [15]. ---, <http://www.alldatasheet.com/>.
- [16]. W. P. R. Ned Mohan, Tore M. Undeland, *Power Electronics: Converters, Applications, and Design, II*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1995.
- [17]. Daniel W. Hart, *Power Electronics*. 2011.
- [18]. Kazimierzczuk, Marian K., Czarkowski, Darius. *Resonant Power Converter*. John Wiley and Sons, Inc.