

# OPTIMASI ZERO VOLTAGE SWITCHING DAN BUCK CONVERTER SEBAGAI PEMANAS INDUKSI UNTUK PEMASANGAN BEARING

Ismail Rokhim<sup>1)</sup> Herman Budi Harja<sup>2)</sup> Wahyudi Purnomo<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Teknik Mekatronika Politeknik Manufaktur Bandung 40135, email: ismailrokhim@yahoo.com

<sup>2)</sup> Teknik Manufaktur Politeknik Manufaktur Bandung 40135, email: herman@polman-bandung.ac.id

<sup>3)</sup> Teknik Mekatronika Politeknik Manufaktur Bandung 40135, email: yud-prn@yahoo.com

## Abstrak

Kegiatan pembongkaran dan pemasangan bearing sebagai tumpuan berputarnya poros merupakan kegiatan rutin yang sering dilakukan dalam perawatan mesin. Kegiatan ini perlu dilakukan dengan cepat dan mudah agar didapatkan hasil yang baik dan terhindar dari kerusakan. Dalam paper ini diperkenalkan metode pemanasan bearing dengan sistem induksi yang menerapkan teknik zero voltage switching dan buck converter. Sistem ini terdiri dari dua skema rangkaian, yaitu rangkaian resonant zero voltage switching yang digunakan untuk membangkitkan tegangan yang diinduksikan ke beban (bearing) dan rangkaian buck converter untuk mengatur daya rangkaian pemanas induksi. Metode pemanasan induksi dengan teknik zero voltage swicthing dipilih karena memiliki rugi-rugi daya kecil, mengurangi problem gangguan EMI, dan dapat dioperasikan pada frekuensi tinggi. Sedangkan buck converter dapat menghasilkan catu daya dc dengan efisiensi tinggi. Optimasi desain rangkaian dilakukan dengan cara mengoperasikan rangkaian zero voltage switching pada frekuensi kerja hingga 200 KHz dan mengatur duty-cycle rangkaian buck converter sehingga dapat memberikan daya yang cukup bagi rangkaian zero voltage switching untuk memanaskan bearing.

**Kata Kunci:** Pemanas induksi, zero voltage switching, buck converter, duty-cycle.

## 1. Pendahuluan

Fungsi bearing/bantalan gelinding sebagai tumpuan berputar pada kontruksi mesin memiliki peran utama karena mendukung keandalan dan performa mesin. Kerusakan mesin sering dihubungkan dengan kerusakan bearing karena permasalahan/kerusakan pada bearing berkontribusi 40% terhadap kerusakan mesin [12]. Salah satu faktor penyebab kerusakan bearing adalah metoda pemasangan bearing pada shaft dengan pemukulan, metoda ini akan menghasilkan kerusakan fisik pada race way bearing dan hal ini merupakan kerusakan awal pada bearing[13]. Studi Svenska Kullager Fabriken (SKF) produsen bearing dari Swedia, menunjukkan bahwa kasus kerusakan awal bantalan gelinding yang disebabkan oleh pemasangan bearing secara sederhana (pemukulan) menyumbang 16% dari total

kerusakan pada bearing. Oleh karena itu metoda pemanasan bearing merupakan solusi yang sebaiknya dipilih pada proses pemasangan bearing untuk menghindari kerusakan awal bearing. Setelah proses pemanasan, maka dimensi bearing akan melewati batas toleransi dari poros sehingga bearing dapat dipasang pada poros tanpa melalui proses pemukulan pada saat proses pemasangan.

Setiap jenis atau tipe bearing membutuhkan nilai temperatur yang berbeda tergantung dari bahan, massa, ukuran bearing, dan temperatur lingkungan. Sehingga sebelum proses pemanasan dilakukan terlebih dahulu harus dilakukan perhitungan dari variabel-variabel tersebut. Perhitungan temperatur pemanasan bearing dapat dilakukan melalui rumus berikut ini[11] :

$$t\ddot{U} = \frac{\ddot{U}_{max}}{0,012 \cdot d_o} [^{\circ}C] \quad (1)$$

$$t_M = t_U + t_R + (25 \div 35 \text{ } ^\circ\text{C}) \quad (2)$$

dimana :

$t_U$  = perbedaan temperatur yang mengakibatkan pemuaiian ring dalam sebesar  $U_{max}$  (perbedaan temperatur yang diperlukan)

$U_{max}$  = toleransi (+) poros + toleransi (-) inner diameter bearing.

$d_o$  = diameter lubang *bearing*

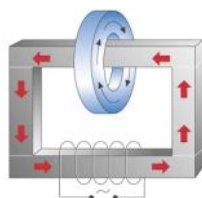
$t_M$  = temperatur pemasangan

$t_R$  = temperatur ruangan

$(25 \div 35 \text{ } ^\circ\text{C})$  = temperatur penambahan untuk menjadikan pemuaiian yang lebih besar (mempermudah pemasangan).

Metode *induction heater bearing* menggunakan prinsip induksi elektromagnetik yang merupakan dasar dari semua sistem pemanasan induksi ditemukan oleh Michael Faraday pada tahun 1831. Namun demikian, Heaviside baru pertama kali mempublikasikan artikelnya tentang transfer energi dari kumparan ke inti pejal (*solid core*)[8]. Beberapa keuntungan berkaitan dengan dengan proses pemanasan induksi adalah waktu pemanasannya singkat, kepresisian dalam pengendalian panas benda kerja, mudah diperoleh, dan memiliki efisiensi konversi energi. Karenanya sistem pemanasan induksi banyak digunakan di industri untuk keperluan peleburan, penyambungan, dan pengerasan [10].

Pada pemanas bearing dengan sistem *induction heating*, kumparan sekunder digantikan oleh *bearing*. *Bearing* tersebut diibaratkan kumparan sekunder dalam transformator yang terhubung singkat (*short circuit*) sehingga temperatur *bearing* naik karena adanya arus (*eddy current*) yang berputar pada *inner ring*, seperti yang ditunjukkan gambar 1.



Gbr 1. Prinsip kerja pemanas induksi bearing.

Dalam literatur, sejumlah komponen *switching* telah digunakan dalam sistem

pemanasan induksi [4,6]. Karena *thyristor* memiliki banyak kelebihan, komponen ini banyak digunakan sebagai inverter untuk pembangkit daya pada frekuensi medium yang menggantikan sistem putaran mesin[5]. Secara luas inverter semacam ini banyak digunakan untuk frekuensi di atas 10 KHz[3]. Untuk catu daya dengan frekuensi tinggi antara 50 KHz sampai 10 MHz, komponen *solid state* seperti MOSFET, IGBTs, GTOs, dan Bipolar Junction Transistor (BJTs) banyak digunakan. Secara keseluruhan perangkat ini memiliki efisiensi yang lebih tinggi dan frekuensi kerjanya di atas ribuan kilo hertz [2,6].

Pada dasarnya, sistem pemanasan induksi terdiri atas dua tahap konversi daya seperti gambar 2. Tahap pertama, mengubah suplai daya AC menjadi tegangan DC kemudian tahap berikutnya mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC dengan frekuensi yang diinginkan.

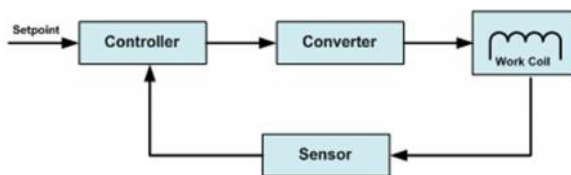


Gbr 2. Prinsip dasar sistem pemanasan induksi.

Pada kebanyakan aplikasi sistem pemanasan induksi, benda kerja ditempatkan di sekitar kumparan yang menghasilkan medan magnet yang disuplai oleh inverter DC/AC. Dalam literatur, konfigurasi jumlah koil (lilitan), *single turn* dan *multi layer* telah dilakukan[14]. Penggunaan konverter elektronika daya dalam sistem pemanasan induksi menyebabkan faktor daya rendah, harmonisa arus yang tinggi, dan ketepatan strategi kontrol dalam hal *switching* [7]. Salah satu problem utama saat ini dalam sistem pemanasan induksi adalah faktor daya rendah dan distorsi harmonisnya tinggi[9]. Pengoperasian sistem pemanasan induksi pada faktor daya rendah menyebabkan *drop* tegangan sumber yang berakibat juga tegangan rendah pada *plant*. Karena tegangan di *plant* rendah menyebabkan peningkatan waktu pemanasan atau peleburan benda kerja dan akan menambah biaya pengoperasian *plant* [1].

## 2. Model Sistem

Pada dasarnya sistem kendali *induction heater* yang diusulkan terdiri atas empat elemen utama seperti yang ditunjukkan gambar 3. Elemen pertama adalah controller sistem *induction heater*, elemen ini berfungsi untuk membandingkan nilai *setpoint* dengan nilai hasil pembacaan sensor dari suhu *induction heater*. Elemen kedua adalah *converter*, elemen ini berfungsi sebagai penggerak *induction heater* yang akan mengeluarkan frekuensi penyulutan pada *induction heater* sesuai dengan nilai *setpoint* yang diberikan. Elemen ketiga adalah *work coil (induction heater)*, yaitu lilitan penghantar yang akan memberikan medan elektromagnet pada bagian sekunder (*bearing*) dengan intensitas medan magnet sesuai dengan nilai *setpoint*. Bagian keempat adalah sensor, elemen ini berfungsi untuk mendeteksi temperatur di *work coil* sebagai *current* tempertur untuk dibandingkan dengan *setpoint* oleh *controller*.



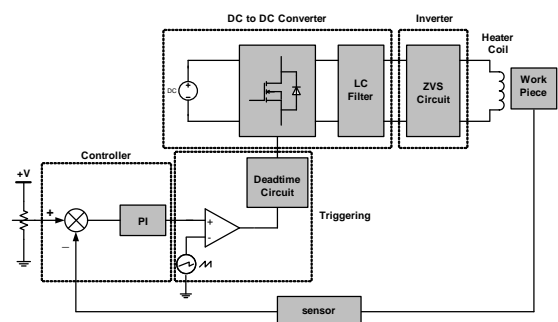
Gbr 3. Sistem kendali *induction heater*.

Model sistem kendali *induction heater* lebih detail ditunjukkan pada gambar 4, sebagai pengganti *converter* digunakan rangkaian dc to dc buck converter dan rangkaian resonan ZVS. Rangkaian *dc-dc buck converter* bekerja dengan cara menurunkan tegangan jala-jala yang disearahkan dengan mengatur *duty-cycle* penyulutan komponen switching melalui perubahan nilai tegangan dc dari *setpoint*. Untuk menentukan *duty-cycle* dapat dilakukan dengan perhitungan berikut ini,

$$D = \frac{T_{on}}{T_{on}+T_{off}} = \frac{T_{on}}{T} = T_{on} \cdot f \quad (3)$$

Sinyal kendali penyulutan rangkaian *switching* dilakukan secara *closed loop* dengan pengendali-PI untuk menjaga kestabilan sistem. Untuk membangkitkan gelombang sinus yang

pada tahap selanjutnya diperlukan untuk menghasilkan tegangan induksi pada work coil digunakan rangkaian resonan *Zero Voltage Switching (ZVS)*. Rangkaian resonan ZVS bekerja dengan cara membangkitkan frekuensi osilasi melalui komponen LC. Transistor T1 dan T2 masing-masing bekerja secara bergantian selama setengah periode dari frekuensi osilasi. Rangkaian ini mampu menghasilkan gelombang sinus murni dengan frekuensi osilasi hingga ratusan kilohertz. Catu daya rangkaian ZVS disuplai dari rangkaian buck converter yang menghasilkan tegangan dc variable tergantung *duty-cycle* yang dihasilkan oleh sinyal kendali dari controller.

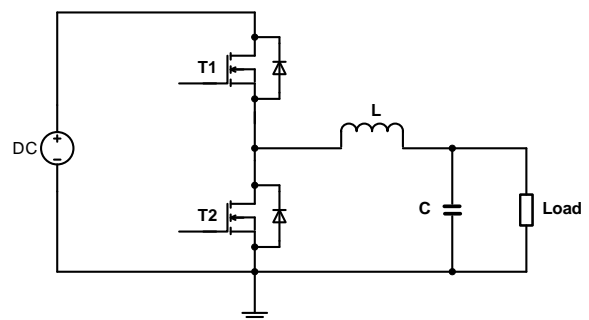


Gbr 4. Diagram blok sistem kendali *induction heater*.

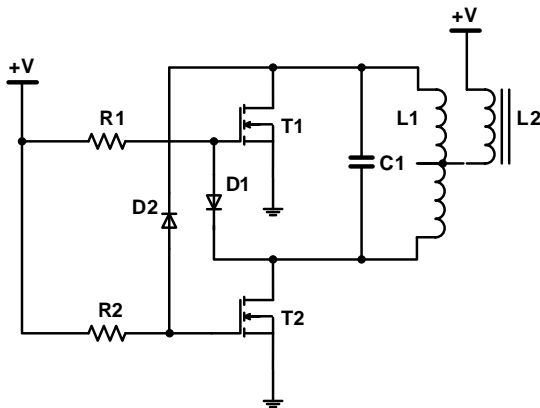
Rangkaian dc-dc converter dan rangkaian ZVS masing-masing ditunjukkan pada gambar 5 dan gambar 6.

Hubungan antara tegangan rata-rata dari gelombang pulsa dengan *duty-cycle* ditunjukkan oleh persamaan di bawah ini,

$$V_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T v_o(t) dt = V_o \cdot D \quad (4)$$



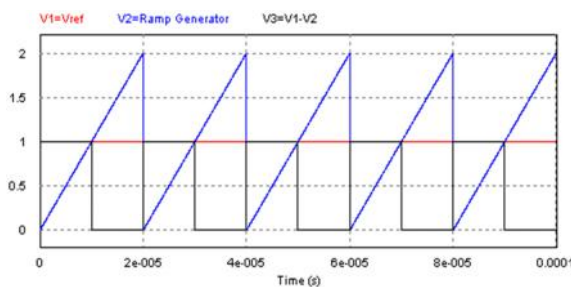
Gbr 5. Rangkaian DC-DC cconverter.



Gbr 6. Rangkaian resonan ZVS.

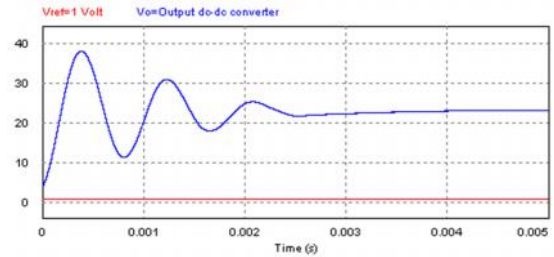
### 3. Hasil dan Pembahasan

Model rangkaian dc-dc buck converter disimulasikan dengan software Powersim sedang sinyal keluaran rangkaian resonan ZVS diukur dengan menggunakan osiloskop digital untuk mengetahui besarnya tegangan dan frekuensi resonansi. Rangkaian dc-dc *buck* converter disuplai dengan tegangan dc 60 Volt, tegangan referensi diatur untuk menghasilkan variasi *duty-cycle* penyulutan transistor. *Duty-cycle* 50% diperlihatkan oleh gambar 7 dengan pengaturan tegangan referensi sebesar 1 Volt. Pada nilai tegangan referensi ini, keluaran tegangan dc-dc buck converter sekitar 28 Volt dengan pengaturan gain dan konstanta waktu pengendali-PI masing-masing sebesar 1 dan 0.8 detik.

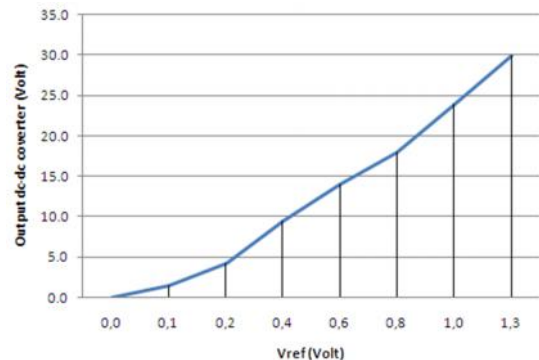


Gbr 7. Sinyal PWM untuk penyulutan transistor.

Bentuk respon keluaran dc-dc *buck* converter ditunjukkan oleh gambar 8. Perubahan tegangan keluaran dc-dc *buck* converter terhadap pengaturan tegangan referensi diperlihatkan oleh kurva gambar 9.

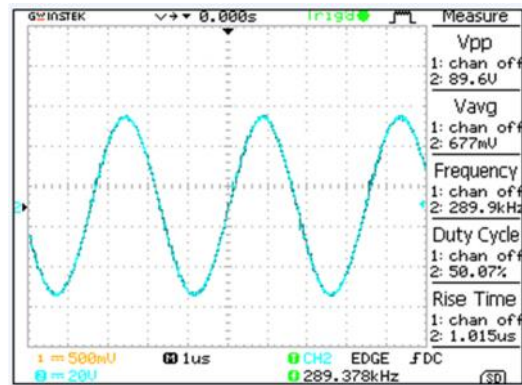


Gbr 8. Respon keluaran dc-dc buck converter



Gbr 9. Hubungan *output* dc-dc converter terhadap *Vref*.

Dengan memberikan catu tegangan dc sebesar 15 Volt pada rangkaian resonan ZVS, tegangan keluaran di komponen LC sebesar 89,6 Volt dengan frekuensi osilasi sebesar 289,4 KHz. Hasil pengukuran pada rangkaian resonan ZVS ditunjukkan oleh gambar 10.



Gbr 10. Keluaran rangkaian resonan ZVS.

Dari hasil simulasi yang ditunjukkan gambar 9, nampak bahwa tegangan keluaran dc-dc *converter* dapat diatur melalui pengaturan *duty-cycle* dari tegangan referensi. Tegangan keluaran dc-dc *converter* dengan kisaran hingga 30 Volt ini cukup untuk *drive* rangkaian resonan ZVS yang mampu membangkitkan gelombang sinusoidal mutni untuk

menginduksikan arus ke kumparan sekunder (*bearing*).

#### 4. Kesimpulan

Metode pemasangan *bearing* pada suaian dapat dilakukan dengan sistem pemanas induksi yang menggabungkan dc-dc *buck* converter sebagai catu daya rangkaian resonan ZVS. Gelombang elektromagnetik yang diinduksikan pada *workpiece/bearing* dihasilkan dari gelombang sinus yang dibangkitkan oleh rangkaian resonan ZVS pada frekuensi sekitar 289 KHz. Pengaturan tegangan keluaran dc-dc converter hingga 30 Volt digunakan untuk mengatur suhu pemanasan *bearing* sesuai jenis/tipe *bearing* yang akan dipasang pada suaian.

#### Referensi/Daftar Pustaka

- [1] Andrews D., Bishop., Witte J., “*Harmonic Measurement, Analysis and Power Factor Correction in a Modern Steel Manufacturing Facility*”, *IEEE Transaction on Industry Application*. Vol., 32., 1996, N0.3, pp.617-624.
- [2] Cho J.G., “IGBT Based Zero Voltage Transistion Full Bridge PWM Converter for High Power Applications”, *IEEE Proceeding Electronics Power Application.*, Vol.143, No.6, Nov 1996, pp.475-480.
- [3] Dawson F.P., Jain P., “Comparison of Load Commutated Inverter Systems for Induction Heating and Melting Application”, *IEEE Transaction on Power Electronics*, Vol.6, N0.3, July 1991, pp.430-441.
- [4] Eckhardt H.J , “Power-Mosfets, Thyristor and Transmitting Tubes in Converter for Hardening”, *Proceeding PCIM Conference*, 1989, pp.157-172.
- [5] Golde E., Lehman G., “Oscillator-Circuit Thyristor Converter for Induction Heating”, *Proceeding of IEEE*, Vol.55, No.8, Aug. 1967, pp.1449-1453.
- [6] Fujita H., Akagi H., “Pulse-Density-Modulated Power Control of 4KW, 450 KHz Voltage Source Inverter for Induction Melting Applications”, *IEEE Transaction on Industrial Application*, Vol.32, No.2, March/April 1996, pp.279-286.
- [7] Jayne M.G., Luk C.P., “The Use of Transputer for Pulse-Width Modulated (PWM) Inverter”, *UPEC’88*, pp.81-84.
- [8] Heaviside O., “The Induction on Currents in Cores” *The Electricians*, May 3 1884, pp.583-587.
- [9] Nuns J., Foch., Metz M., Yang X., “Radiated and Conducted Interferences in Induction Heating Equipment: Characteristics and Remedies” *The European Power Electronics Assosiation* 1993, pp.194-199.
- [10] Prevett P.D., *The Role of Induction Heating in HDW : A Modern Metal Joinning Process*”, *IEEE Transaction on Industry and General Applications*, Vol.IGA-6, No.2, March/April 1970, pp.128-130.
- [11] “Rolling Bearing : Vocational Training Course Part 2, Basic skills for Rolling bearing mounting”, p.18-20, FAG Kugelfischer.
- [12] Schoen, R , Habetler, T.G, Kamran, F., Bartheld R.G “ Motor Bearing Damage Detection using stator Current Monitoring”, *IEEE Transaction Industry Application*, Vol 31, pp:1274-1279, 1995.
- [13] Sciferl, R.F., Melfi, M.J “ Bearing Current Remediation Option”, *IEEE Industry application Magazine*, Vol 10, no4, pp.40-50, 2004.
- [14] Swart S.M., Ferreira J.A., “Single Turn Work Coil and Integrated Matching Transformer for Medium and High Frequency Induction Heating”, *The European Power Electronics Assosiation* 1993, pp.118-123.