

RANCANG BANGUN PEMANAS INDUKSI BERKAPASITAS 600 W UNTUK PROSES PERLAKUAN PANAS DAN PERLAKUKAN PERMUKAAN

Wahyu Purwo Raharjo^{*}, Bambang Kusharjanta
Jurusan Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret (UNS)
Jl. Ir. Sutami 36A Ketingan Surakarta 57126
^{*}E-mail: wahyutrias@gmail.com

Abstrak

Proses perlakuan panas adalah upaya meningkatkan kekuatan dan kekerasan baja dengan cara memanaskan baja sampai temperatur austenit diikuti quench sehingga timbul fasa martensit. Perlakuan permukaan hampir sama prinsipnya namun hanya dilakukan pada bagian permukaan material. Tujuannya adalah untuk mendapatkan komponen dengan permukaan yang keras namun bagian dalamnya masih tetap ulet. Metode perlakuan panas dan perlakuan permukaan yang praktis dapat dilakukan menggunakan pemanas induksi. Pemanas induksi listrik menggunakan prinsip pemanasan akibat arus eddy yang ditimbulkan oleh fluks magnetik yang berasal dari kumparan yang dialiri arus listrik bolak-balik. Perancangan dan pembuatan pemanas induksi berdaya 600 W ini dilakukan dengan merangkai komponen-komponen utama yang terdiri atas transformator, dioda, dioda Schottky, transistor Mosfet, resistor, kapasitor dan induktor. Pemanas induksi ini selanjutnya diuji coba untuk melakukan proses perlakuan permukaan pada spesimen baja AISI 1040. Temperatur pada spesimen diukur menggunakan termometer inframerah. Waktu perlakuan divariasikan 1, 2, 3, 4 dan 5 menit, kemudian spesimen di-quench menggunakan media pendingin air. Selanjutnya dilakukan preparasi permukaan mengacu pada standar ASTM E3. Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan mesin uji micro Vickers berdasarkan standar ASTM E384. Hasilnya menunjukkan bahwa temperatur maksimum pada permukaan spesimen yang dipanaskan mencapai 743^oC. Sementara itu kekerasan maksimum spesimen adalah 372 VHN untuk pemanasan selama 5 menit. Pengerasan efektif yang diperoleh berjarak 1,5 mm dari permukaan spesimen.

***Kata kunci:** kekerasan, martensit, pemanas induksi, perlakuan panas, perlakuan permukaan*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baja (*steel*) adalah paduan besi karbon yang mengandung kadar karbon kurang dari 2% (Smallman dan Bishop, 2000). Hingga saat ini baja mempunyai peranan penting sebagai material konstruksi dan manufaktur. Hal ini disebabkan baja mempunyai keunggulan dalam sifat mekanik, seperti kekuatan, kekerasan dan ketahanan aus. Sungguhpun demikian terus dilakukan upaya untuk memperbaiki sifat-sifat mekanik tersebut untuk mendapatkan material berkekuatan dan kekerasan yang tinggi dengan massa jenis yang tetap.

Perlakuan panas (*heat treatment*) adalah proses yang melibatkan pemanasan dan pendinginan secara sengaja untuk mengubah sifat fisik logam, khususnya struktur mikro, sehingga diperoleh penguatan atau pengerasan maupun pelunakan material. Untuk baja, pengerasan dilakukan dengan memanaskan material di atas temperatur transformasi atas (A_3) selama beberapa saat kemudian didinginkan dengan cepat (*quench*) menggunakan media pendingin *brine*, air, minyak maupun udara bertekanan. Proses ini menghasilkan struktur mikro martensit yang keras. Untuk menghindari efek pembesaran butir yang mengurangi kekuatan dan kekerasan, temperatur pemanasan tidak boleh terlalu jauh melebihi A_3 .

Pengerasan induksi (*induction hardening*) adalah salah satu metode perlakuan panas dimana proses pemanasan logam menggunakan pemanasan induksi. Pada pemanas induksi, arus listrik bolak-balik dari *power unit* mengalir melalui koil yang terbuat dari tembaga. Arus ini akan menimbulkan medan elektromagnet yang besarnya berubah-ubah. Medan ini akan membangkitkan arus listrik pada material logam yang ada di dalamnya. Arus listrik yang timbul (arus eddy) menimbulkan panas yang selanjutnya dapat dimanfaatkan untuk memanaskan dan mencairkan logam tersebut.

1.2 Tinjauan Pustaka

Apabila suatu pada suatu koil pemanas dilewatkan arus listrik, maka besarnya daya yang diberikan pada koil tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$E = i^2 \cdot R \cdot t = v \cdot i \cdot t \quad (1)$$

Sementara itu panas yang digunakan untuk menaikkan temperatur benda kerja dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (2)$$

Efek pemanasan pada permukaan benda kerja disebabkan oleh arus Eddy yang timbul akibat arus bolak-balik pada koil. Besarnya penetrasi panas ke dalam benda kerja dipengaruhi oleh frekuensi arus bolak-balik (Curtis, 1944) menurut persamaan:

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot f \cdot \mu \cdot \sigma}} \quad (3)$$

Pada kenyataannya panas cenderung menyebar lebih dalam yang disebabkan oleh sifat konduktivitas material.

Noviansyah (2006) merancang pemanas induksi berkapasitas 200 W. Alat ini terdiri atas 3 bagian yaitu *power supply*, pembangkit arus bolak-balik dan kumparan kerja. Dalam uji coba, pemanas ini mampu mencairkan baut berdiameter 12 mm terbuat dari aluminium dalam waktu 3 menit.

Aung dkk. (2008) melakukan kalkulasi desain dan menguji kinerja koil pemanas pada mesin perlakuan permukaan dengan metode induksi. Dari eksperimen tersebut didapatkan bahwa bentuk dan ukuran koil sangat berpengaruh terhadap kinerja keseluruhan, termasuk diantaranya frekuensi resonansi, *Q factor*, efisiensi dan faktor daya.

Nasution dkk. (2009) membuat tungku induksi berkapasitas 1500W untuk mencairkan paduan aluminium dan tembaga. Dari rancangan semula dengan temperatur bagian dalam tungku mencapai 1200°C dan temperatur permukaan luar tungku 25°C, ternyata temperatur maksimum yang mampu dicapai hanya 730°C sehingga tidak mampu dipakai untuk mencairkan tembaga.

2. METODOLOGI

Perancangan dan pembuatan alat pemanas induksi ini mengikuti sistematika tahapan perancangan menurut Harsokoesoemo (2004) dan Batan (2012), Gambar 1.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

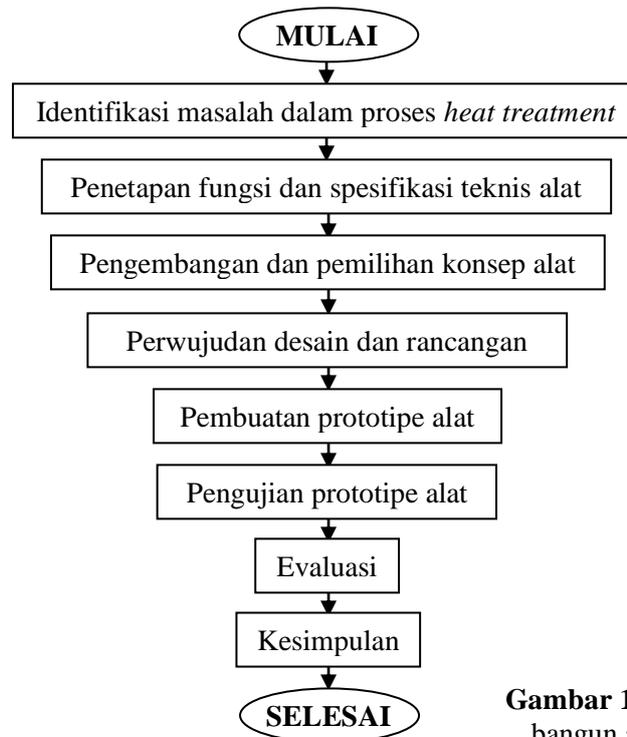
3.1 Penetapan Spesifikasi Teknis Alat

Spesifikasi teknis alat ditentukan berdasarkan survei dan literatur. Hasilnya diperlihatkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Teknis Produk

Kinerja	T_{\max} benda kerja = 1000°C
Kondisi lingkungan	atmosfer
Kondisi operasi lain	-
Jumlah produk yang akan dibuat	1
Dimensi produk	p, l dan $t \leq 1000$ mm
Berat produk	≤ 50 kg
Ergonomik	-
Keamanan	dapat dihidupkan dan dimatikan dengan mudah
Harga	\leq Rp 1000.000,-

Selanjutnya dapat ditentukan beberapa kriteria dan pembobotannya (Tabel 2).



Gambar 1. Diagram alir rancang bangun alat pemanas induksi

Tabel 2. Kriteria pemanas untuk *heat treatment*

No.	Kriteria	Pembobotan
1.	Biaya konstruksi	0,107
2.	Biaya operasional	0,071
3.	Kemudahan pengaturan temperatur	0,214
4.	Temperatur maksimum yang dicapai	0,179
5.	Kemudahan perawatan	0,107
6.	Resiko terjadi kerusakan	0,250
7.	Umur	0,036
8.	Dampak terhadap lingkungan	0,036
Total		1,00

Terdapat 3 konsep yang *feasible* digunakan dalam pemanasan benda kerja yaitu menggunakan bahan bakar gas, tahanan listrik dan induksi listrik (Tabel 3). Pemanas gas menggunakan LPG atau asetilen sebagai *fuel gas* yang akan bereaksi dengan oksigen menghasilkan panas. Pemanas tahanan listrik memanfaatkan tahanan listrik elemen pemanas untuk mengkonversikan arus listrik menjadi panas sementara itu pemanas induksi membangkitkan panas pada benda kerja menggunakan arus eddy.

Tabel 3. Pemilihan konsep alat

Konsep \ Kriteria	1	2	3	4	5	6	7	8
	10,7%	7,1%	21,4%	17,9%	10,7%	25%	3,6%	3,6%
Pemanas gas	√	x	√	√	x	x	x	x
Pemanas tahanan listrik	√	√	√	√	x	x	x	√
Pemanas induksi	x	√	√	√	√	√	√	√

Dari 3 konsep diatas, pemanas induksi mendapatkan skor tertinggi. Hal ini disebabkan oleh penggunaan arus induksi yang timbul pada benda kerja sehingga pada komponennya relatif tidak terjadi peningkatan temperature, karenanya tidak membutuhkan komponen khusus yang mahal. Sementara itu pemanas tahanan listrik membutuhkan material elemen pemanas.

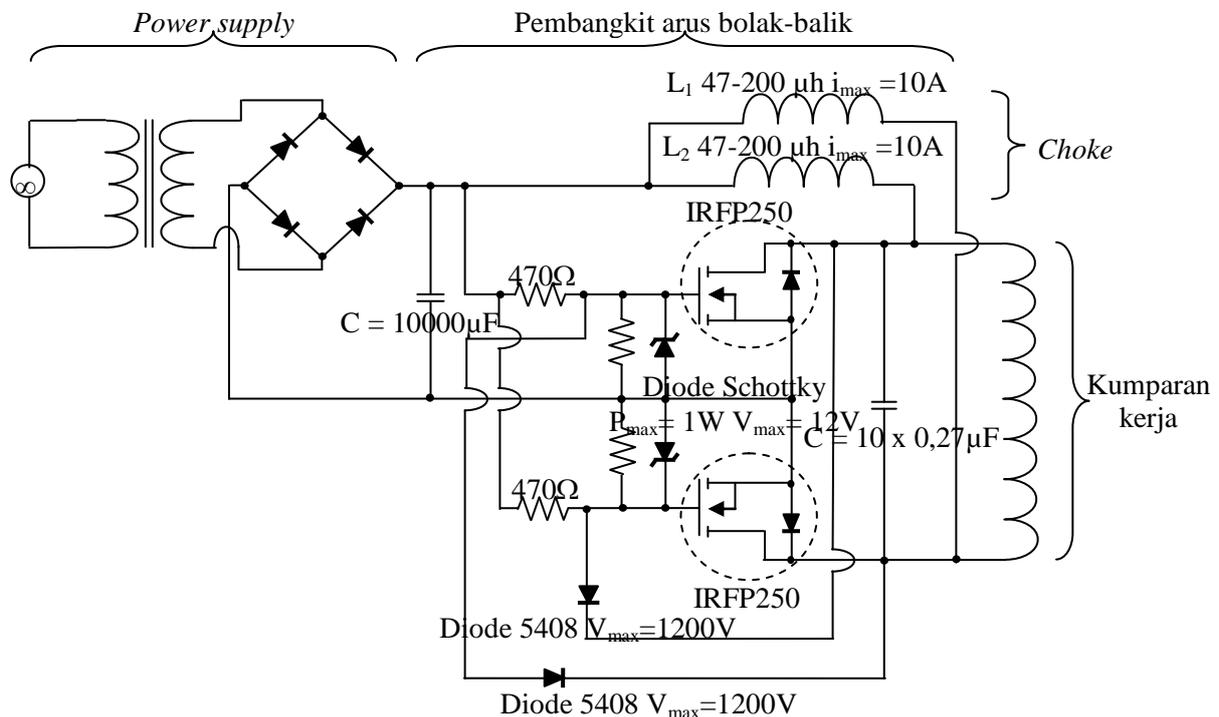
3.2 Perancangan Detail Alat

Pemanas induksi dirancang dengan beberapa komponen yang dirangkai menjadi satu, yang dapat dibagi atas bagian *power supply*, pembangkit arus bolak-balik dan kumparan kerja. Skema diperlihatkan dalam Gambar 2.

Bagian *power supply* terdiri atas sebuah trafo tunggal (trafo engkel) yang berfungsi untuk menurunkan tegangan dari 220 menjadi 60V dan 4 buah diode berkapasitas masing-masing 40A yang berfungsi untuk menyearahkan arus listrik keluaran dari trafo. Trafo engkel adalah trafo yang hanya memiliki 1 jalur lilitan sekunder. Trafo yang dipakai memiliki kapasitas maksimum 10 A, yang dibatasi dengan sekering 8 A untuk mencegah trafo *overheat* akibat arus listrik yang berlebihan. Sebagai tambahan pula, dipasang kipas di dekat trafo (Gambar 3)

R_1 dan R_2 adalah resistor dengan nilai tahanan masing-masing $470\ \Omega$ dan daya 2 W. Besarnya tahanan menentukan kecepatan Mosfet menyala. Untuk itu nilai tahanan sebaiknya kecil sehingga kecepatan Mosfet cukup tinggi namun juga tidak terlalu rendah sehingga dapat tereliminasi oleh diode pada saat Mosfet yang lain dalam posisi *on*.

Diode D_1 dan D_2 dipakai untuk mengosongkan *gate* Mosfet. Untuk itu dipakai diode dengan *forward voltage drop* rendah sehingga *gate* dapat benar-benar kosong dan Mosfet dapat sepenuhnya *off* ketika yang lain *on*. Diode Schottky dapat dipilih karena memiliki *voltage drop* yang rendah (12 V) dan kecepatan tinggi. Tegangan yang diijinkan pada diode harus cukup untuk mengantisipasi kenaikan tegangan pada sirkuit resonansi.



Gambar 2. Skema rangkaian alat pemanas induksi

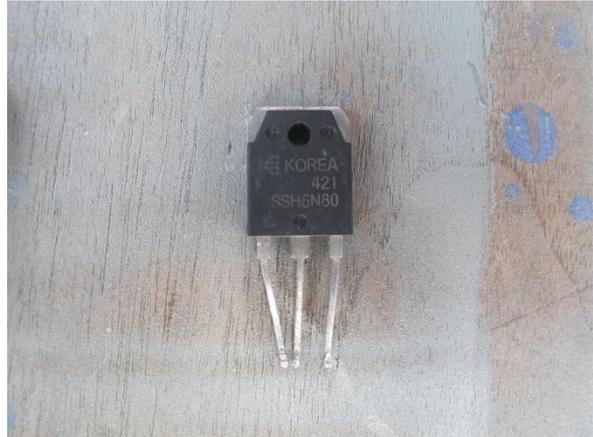
Transistor MOSFET T_1 dan T_2 dengan spesifikasi IRFP250 dengan $i_{max}=30A$ dan $V_{max}=200V$ (Gambar 4) dipasang pada *heatsink* untuk mencegah kerusakan akibat kenaikan temperatur yang tinggi. MOSFET dipilih dengan tahanan *drain* yang rendah dan *response time* yang tinggi.

Induktor L_1 dan L_2 dipakai sebagai *choke* untuk menjaga osilasi frekuensi tinggi cukup jauh dari *power supply* dan membatasi arus pada batas yang diperbolehkan. Sirkuit dapat bekerja tanpa *choke* namun kurang efisien dan dapat menyebabkan kerusakan pada *power supply* atau control circuit. Nilai induktansi sebaiknya cukup besar namun juga harus dibuat dari kawat yang diameternya cukup besar untuk dapat dilewati arus yang tinggi. Jika tidak ada *choke* atau induktansi terlalu kecil, ada kemungkinan sirkuit tidak dapat beresilasi. Pada pemanas ini *choke*

masing-masing dibuat dari cincin ferit berdiameter dalam 6 mm dengan 20 lilitan kawat tembaga berdiameter 1 mm.



Gambar 3. Kipas pendingin trafo



Gambar 4. Mosfet IRFP250

Kumparan kerja, yang berdiameter 60 mm, terdiri atas 6 lilitan kawat tembaga dengan diameter 3 mm. Kumparan ini berfungsi untuk mengalirkan arus listrik bolak-balik di sekeliling benda kerja untuk membangkitkan arus eddy.

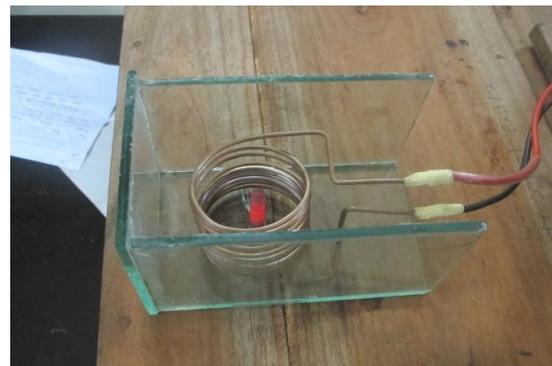
Bagian power supply dan pembangkit arus bolak-balik diletakkan di dalam *casing* yang terbuat dari kayu, untuk mencegah agar tidak ikut terinduksi oleh arus-bolak-balik.

3.3 Pembuatan Prototipe Alat

Komponen-komponen yang sudah ditentukan kemudian dirangkaikan menjadi prototype alat pemanas induksi (Gambar 5) yang selanjutnya diuji coba..



Gambar 5. Prototipe alat pemanas induksi

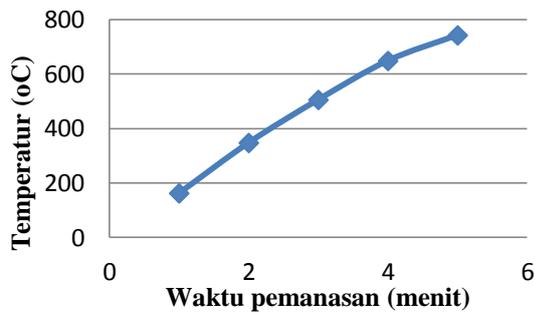


Gambar 6. Pemanasan spesimen

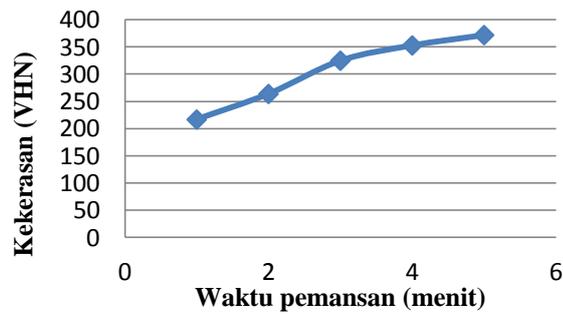
3.4 Pengujian Prototipe Alat

Alat pemanas digunakan untuk melakukan proses perlakuan permukaan pada spesimen baja AISI 1040. Temperatur pada spesimen diukur menggunakan termometer inframerah. Waktu perlakuan panas divariasikan 1, 2, 3, 4 dan 5 menit, kemudian spesimen di-*quench* menggunakan media pendingin air. Selanjutnya dilakukan preparasi permukaan mengacu pada standar ASTM E3. Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan mesin uji *micro Vickers* berdasarkan standar ASTM E384. Hasilnya diperlihatkan pada Gambar 7 dan 8.

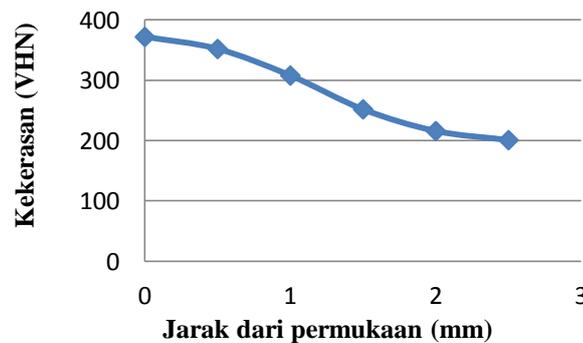
Setelah pemanasan selama 5 menit, termometer infra merah menunjukkan temperatur maksimum 743⁰C. Kekerasan permukaan maksimum yang didapatkan setelah proses *quench* adalah 372 VHN. Dibanding kekerasan *raw material* baja AISI 1040 (198 VHN), terjadi peningkatan kekerasan sebesar 87%. Pengujian kekerasan mikro pada penampang spesimen dengan jarak 0,5, 1, 1,5, 2 dan 2,5 mm dari permukaan memberikan hasil seperti diperlihatkan dalam Gambar 9.



Gambar 7. Temperatur permukaan benda kerja sebagai fungsi dari waktu pemanasan



Gambar 8. Kekerasan permukaan benda kerja sebagai fungsi dari waktu pemanasan



Gambar 9. Kekerasan benda kerja sebagai fungsi jarak dari permukaan

4. KESIMPULAN

- Temperatur maksimum pada permukaan spesimen yang dipanaskan mencapai 743^oC.
- Kekerasan maksimum spesimen yang didapatkan adalah 372 VHN untuk pemanasan selama 5 menit.
- Pengerasan efektif yang diperoleh berjarak 1,5 mm dari permukaan spesimen.

DAFTAR NOTASI

c	kalor jenis material ($J.kg^{-1}.K^{-1}$)	R	tahanan pada koil (Ω)
E	energi (J)	t	waktu (detik)
f	frekuensi (Hz)	ΔT	kenaikan temperatur (K)
i	arus listrik (W)	δ	penetrasi panas (m)
m	massa material (kg)	μ	permeabilitas spesifik
Q	panas (J)		

DAFTAR PUSTAKA

- Aung, S.S., Wai, H.P. & Soe, N.N., (2008), *Design Calculation and Performance Testing of Heating Coil in Induction Surface Hardening Machine*, World Academy of Science, Engineering and Technology 18 2008.
- Batan, I.M.L., (2012), *Desain Produk*, Edisi 1, Guna Widya, Surabaya.
- Curtis, F.W., (1944), *High Frequency Induction Heating*, 1st ed. New York: McGraw-Hill Book Company, Inc.
- Harsokoemo, H.D., (2004), *Pengantar Perancangan Teknik*, Ed. Ke-2, Penerbit ITB, Bandung.
- Nasution, A.K., Havendri, A., Budiman, H., Pramudia, G. dan Jofendra, E., (2009), *Rancang Bangun dan Pengujian Tungku Induksi untuk Peleburan Logam*, PDII LIPI, Jakarta.
- Noviansyah, (2006), *Perancangan Pemanas Induksi berkapasitas 200W*, Prosiding Semnas Ilmu Rekayasa Universitas Gunadharma 20-21 Nopember 2006, Jakarta.
- Smallman, R.E. and Bishop, R.J., (2000), *Metalurgi Fisik Modern & Rekayasa Material*, Erlangga, Jakarta.