

PENGARUH FREKUENSI ARUS INDUKSI TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN PADA TEKNIK Pengerasan QUENCHING PERMUKAAN MENGGUNAKAN TEKNIK INDUKSI STATIS PADA CAMSHAFT MESIN DIESEL 2 SILINDER

Rifky Ismail¹, Fakhri Aldiyaz¹, Mulyamin Abu Bakar², Sri Nugroho¹

¹ Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto Kampus UNDIP Tembalang Semarang

² Pusat Teknologi Industri Permesinan Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)
Gedung Teknologi 2, Serpong Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Tangerang 15314
Email: rifky_ismail@ft.undip.ac.id

Abstrak

Camshaft adalah suatu elemen penting pada motor bakar torak yang berfungsi sebagai pembuka dan penutup katup hisap dan buang ketika proses pembakaran berlangsung. Dalam prinsip kerjanya camshaft menerima beban tekan dan gesek pada permukaannya dan beban puntir pada bagian dalamnya sehingga dibutuhkan permukaan yang keras tetapi tetap ulet pada bagian dalamnya. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh penggunaan 2 jenis frekuensi induksi yang berbeda: 49 kHz (2 lilitan) dan 56 kHz (3 lilitan) terhadap kedalaman pengerasan, nilai kekerasan dan struktur mikro yang dihasilkan dari proses pengerasan permukaan jenis quenching. Metode penelitian menggunakan teknik eksperimen dimana quenching pemanasan induksi (sekitar 875 °C), menggunakan quench oli, arus output maksimal 600 A, waktu penahanan pemanasan antara 15-25 detik dengan spesimen ditahan statis (tidak bergerak). Material yang digunakan untuk camshaft adalah HQ 705 yang telah dipotong bagian cam-nya. Pengerasan permukaan teknik quenching menggunakan oli ini kemudian diamati nilai kedalaman pengerasan, nilai kekerasan bersatuan HRC dan struktur mikro yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa frekuensi yang lebih tinggi (56 kHz) untuk waktu pemanasan yang sama akan menghasilkan ketebalan pengerasan yang lebih tipis. Ketebalan pengerasan di daerah permukaan cam sekitar 3 mm untuk 56 kHz dan 7 mm untuk 49 kHz. Nilai kekerasan spesimen naik menjadi 49-51 HRC dari nilai awal 32 HRC. Penelitian ini dapat digunakan untuk memberikan rekomendasi awal penggunaan teknik pengerasan permukaan untuk camshaft.

Kata kunci: *Camshaft, frekuensi, pemanas induksi, pengerasan permukaan*

Pendahuluan

Camshaft atau yang biasa disebut noken as adalah suatu komponen penting pada motor bakar torak yang berfungsi sebagai pembuka dan penutup katup hisap dan buang ketika proses pembakaran berlangsung (Yamagata, 2005). Biasanya *camshaft* dalam proses kerjanya dilengkapi dengan bantalan-bantalan dan sprocket atau gigi timing yang berfungsi untuk menghubungkannya dengan sprocket pada poros engkol (*crankshaft*) dan sebagai penghubungnya adalah rantai atau biasa disebut rantai kamrat. Dalam prinsip kerjanya untuk membuka dan menutup katup hisap dan katup buang maka *camshaft* akan bergesekan dengan *tappets* yang terhubung ke *rocker arm* sehingga besar kemungkinan terjadinya aus pada *camshaft* yang menyebabkan siklus membuka dan menutupnya katup tidak normal. Oleh karena itu maka dilakukan proses pengerasan (*hardening*) pada permukaannya yang bertujuan untuk meningkatkan ketahanan terhadap keausan karena *camshaft* harus mempunyai nilai ketahanan yang tinggi terhadap gesekan (Supriyanto dan Abdillah, 2011).

Pengerasan permukaan *camshaft* dalam beberapa industri pada awalnya dilakukan dengan menggunakan tungku pembakaran (EPRI, 1994). Pengerasan menggunakan tungku memberikan distribusi kekerasan yang masuk dalam poros, merata hingga seluruh bagian *camshaft* menjadi keras baik permukaan maupun dalamnya. Sedangkan *camshaft* seharusnya menerima beban puntir sehingga hanya permukaannya yang keras dan dibutuhkan juga nilai *toughness* yang tinggi di bagian dalamnya. Untuk mendapatkan kekerasan pada permukaan dan bagian dalam yang ulet maka dilakukan pengerasan dengan metode induksi (Haimbaugh, 2001). Alasan lain metode pengerasan *camshaft* dengan pemanasan induksi antara lain adalah dalam pemanasan induksi masing-masing pelatuk *cam* di

keraskan bergantian dengan parameter yang dikontrol sehingga *hardening process* lebih mudah di kendalikan (EFD Induction, 2008).

Pemanasan induksi, yang selama ini telah digunakan dalam proses peleburan logam, merupakan sistem pemanasan yang sangat cepat dan efisien karena rugi-rugi radiasi dapat dikurang (Ismail, dkk., 2011). Metode pemanasan induksi telah banyak dikembangkan di Departemen Teknik Mesin Universitas Diponegoro. Pada prinsipnya fenomena pemanasan induksi dimulai dengan melintasnya arus bolak-balik melalui koil untuk menghasilkan medan elektromagnet. Kekuatan medan bervariasi sebanding dengan kekuatan arus yang melalui koil. Aplikasi metode pemanasan induksi di Departemen Teknik Mesin antara lain pada pengerasan roda gigi dan pengerasan pin kereta api (Ismail, dkk., 2014a, dan Ismail, dkk., 2014b).

Arus *eddy* yang diinduksi ke dalam benda konduktif elektrik, misalnya silinder logam, ditempatkan di dalam kumparan. Fenomena resistensi menghasilkan panas di dalam daerah di mana arus *eddy* mengalir. Meningkatnya kekuatan medan magnet meningkatkan juga efek pemanasan. Namun, efek pemanasan juga dipengaruhi dengan sifat magnetik dari objek dan jarak objek tersebut dengan koil (Schneider, 2013). Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan pengaruh frekuensi induksi saat proses pemanasan induksi dilakukan terhadap distribusi kekerasan pada permukaan *camshaft* dengan metode pengerasan statik. Selanjutnya parameter tersebut akan dievaluasi untuk diaplikasikan pada *camshaft* yang akan digunakan dalam usaha pengembangan mobil pedesaan dengan kapasitas *engine* 990 cc sebagai pengangkut barang di pedesaan oleh Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT).

Metodologi Penelitian

Material

Material *camshaft* yang dikirimkan oleh BPPT adalah HQ 705 yang didesain untuk komponen mobil Diesel pedesaan dengan kapasitas *engine* 990 cc. Material ini yang merupakan material baja paduan dengan ketangguhan yang baik. Pengujian komposisi kimia dilakukan di Laboratorium Logam Bahan PT Prima Logam, Tegal dengan menggunakan alat *Optical Emission Spectroscopy* Switzerland QTD-127. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan/komposisi kimia yang terkandung dalam spesimen HQ 705. Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian komposisi untuk spesimen HQ 705. Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui HQ 705 memiliki kandungan Fe sebesar 95,34% dan kandungan C sebesar 0,325%. Dengan kandungan Mn sebesar 0,599% , Cr sebesar 1,545% dan Mo 2,232% maka baja HQ 705 ini dapat disetarakan dengan baja AISI 4340.

Tabel 1. Komposisi unsur pada spesimen HQ 705.

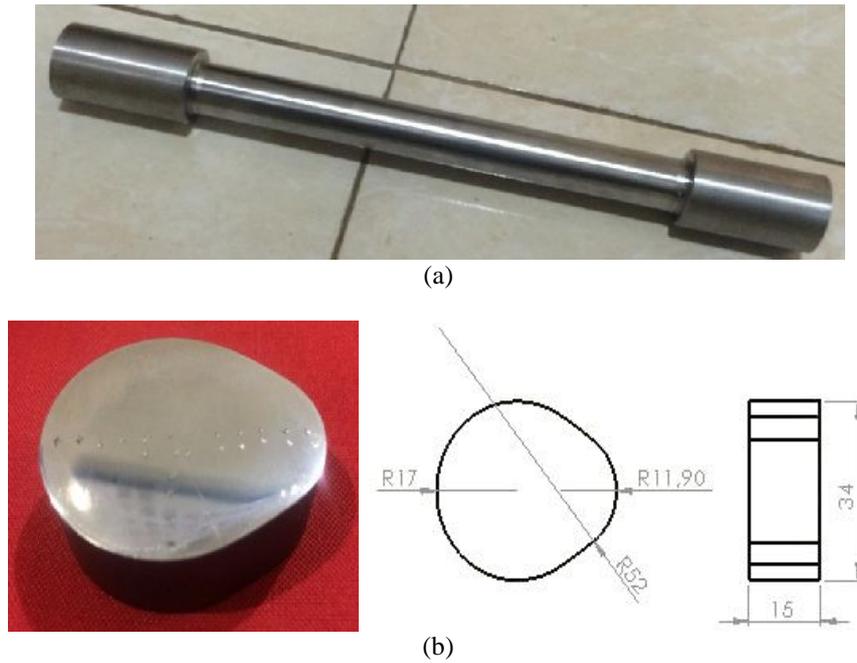
Unsur	Fe	C	Si	Mn	Cr	P	Mo	Ni	Co	Cu	V	W
Persentase (%)	95,34	0,325	0,255	0,599	1,545	<0,1	0,232	1,34	0,116	0,115	<0,1	<0,1

Spesimen yang diberikan BPPT merupakan spesimen berbentuk geometri *cam* seperti terlihat pada Gambar 1 yang kemudian dipotong dengan ketebalan 15 mm menyesuaikan dengan bentuk *cam* sesungguhnya.

Proses Pengerasan Quenching

Urutan proses teknik pengerasan induksi statis untuk pengerasan permukaan *quenching* pada *camshaft* mesin 2 silinder dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Memasang kabel listrik satu fasa, 220 V 50/60 Hz pada terminal sebagai sumber arus utama.
2. Memasang koil tembaga pada trafo, *hardening* menggunakan koil 2 atau 3 lilitan, meletakkan bak oli *quenching* di bawah meja specimen.
3. Meletakkan spesimen tepat di tengah lilitan koil dengan alas keramik di bagian bawah.
4. Menyalakan pompa air untuk sirkulasi sistem pendingin pada koil, trafo, dan inverter.
5. Memasang termokopel pada termometer kalibrator sebagai pencatat temperatur *quenchant*.
6. Menyambung kabel multimeter pada pangkal pipa koil fungsinya untuk mengambil data frekuensi pemanasan.
7. Mempersiapkan dua kamera, satu sebagai perekam perubahan warna pada spesimen dan kenaikan temperatur dan satu lagi untuk merekam perubahan frekuensi, arus masuk, waktu pemanasan, dan arus luaran pada panel inverter.
8. Mengatur pemanasan dalam posisi otomatis kemudian memposisikan arus maksimal untuk pengujian *quenching*. Hal ini dilakukan sebagai pengontrol laju arus dan kenaikan suhu sesuai yang diinginkan, yaitu laju cepat pada proses *quenching*.
9. Menyalakan alat pemanas induksi dengan menekan tombol *power* pada panel.
10. Mengawasi jalannya pemanasan dan merekam prosesnya hingga masuk ke dalam bak pendingin.
11. Mengulangi langkah-langkah di atas untuk spesimen quench lainnya dan dilanjutkan untuk diuji kekerasan dan mikrofafi.
12. Membersihkan dan merapikan alat dan benda uji bila telah selesai.



Gambar 1. (a) Benda kerja *camshaft* utuh, (b) spesimen yang dipotong sesuai dengan cam sesungguhnya yang kemudian akan dikeraskan.

Hardening dilakukan menggunakan 2 jenis koil dengan 1 jenis waktu pemanasan pada masing-masing koil. Spesimen 1 merupakan spesimen yang dikeraskan menggunakan koil 2 lilitan (49 kHz) dengan waktu pemanasan 20 detik. Sementara spesimen 2 merupakan spesimen yang dikeraskan menggunakan koil 3 lilitan (56 kHz) dengan waktu pemanasan 20 detik. Pada proses *quenching* arus output di atur pada posisi maksimal yaitu 600 A dan menggunakan *quenchant* oli. Parameter pengujian spesimen *camshaft* dirangkum dalam Tabel 2.

Tabel 2. Parameter pengujian pada 2 spesimen.

Parameter	Spesimen	
	1	2
Jumlah lilitan koil	2	3
Waktu pemanasan (s)	20	20
Frekuensi (KHz)	49	56
Arus input (A)	32	32
Arus output (A)	600	600

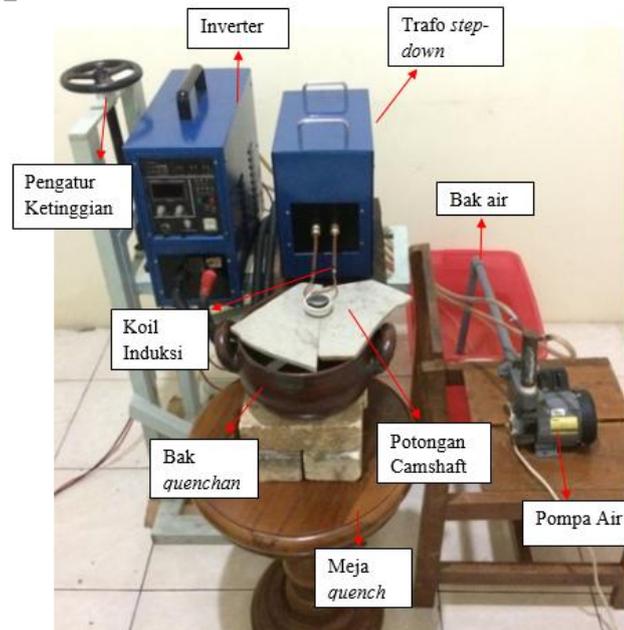
Peralatan Pengerasan Quenching

Peralatan utama dalam penelitian ini adalah alat pemanas induksi yang terdiri dari inverter (*power supply*), transformator, koil, dan pompa seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Alat pemanas induksi adalah alat yang menghasilkan medan elektromagnet dari aliran listrik yang diubah arah alirannya secara kontinyu. Paparan medan elektromagnet secara kontinyu ini menghasilkan panas induksi. Hal ini diawali proses induksi timbal-balik antara kumparan koil tembaga yang dilalui arus dengan logam yang dapat dimasuki arus (konduktor). Koil digunakan sebagai media yang menyalurkan arus listrik kepada benda kerja.

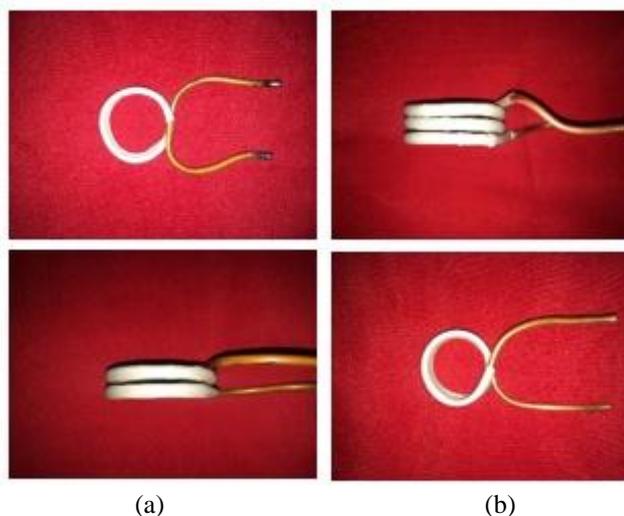
Pada kasus ini terdapat 2 jenis yang digunakan dalam eksperimen, yaitu: koil 2 lilitan yang saat digunakan menghasilkan arus dengan frekuensi kerja induksi yang diterima spesimen sebesar 49 kHz dan koil 3 lilitan yang saat digunakan menghasilkan arus dengan frekuensi kerja induksi yang diterima spesimen sebesar 56 kHz. Gambar koil yang digunakan dalam eksperimen ini dapat dilihat pada Gambar 3.

Setelah proses pengerasan *quenching* selesai dilaksanakan, spesimen hasil pengerasan diuji kekerasan menggunakan alat uji kekerasan makro dengan metode Rockwell (HRC). Pengujian dilakukan terhadap 3 arah yang berbeda sebagaimana digambarkan pada Gambar 4 dimana arah pengujian meliputi: atas, tengah dan bawah. Tujuan

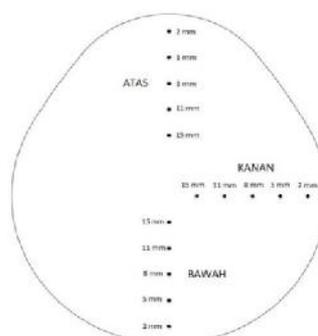
dilakukan pengerasan dengan melibatkan beberapa arah ini untuk memberikan informasi kerataan distribusi pengerasan pada seluruh sisi *camshaft*.



Gambar 2. Alat pemanas induksi yang digunakan untuk eksperimen pengerasan permukaan pada spesimen *camshaft* yang diletakkan di tengah koil induksi.



Gambar 3. Jenis koil yang digunakan dalam eksperimen: (a) *hardening* 2 lilitan dan (b) *hardening* 3 lilitan



Gambar 4. Cara pengukuran distribusi kekerasan pada spesimen *camshaft* yang telah dipotong

Hasil dan Pembahasan

Pengaruh Frekuensi Kerja Pemanas Induksi terhadap Distribusi Kekerasan

Visualisasi ketebalan pengerasan ditunjukkan pada Gambar 5 di mana untuk ketiga arah pengujian pada pengujian dengan frekuensi kerja 49 kHz menghasilkan ketebalan pengerasan sekitar 8 mm dan pada pengujian menggunakan frekuensi kerja 56 kHz menunjukkan ketebalan pengerasan sedalam 11 mm. Pada kasus ini jumlah lilitan koil berpengaruh terhadap frekuensi arus bolak balik pada konduktor yang mana erat kaitannya dengan arus *eddy* sebagai sumber panas saat proses pemanasan induksi. Semakin banyak jumlah koil maka semakin tinggi hambatan yang dimiliki oleh koil dan mengakibatkan rendahnya frekuensi kerja arus induksi.

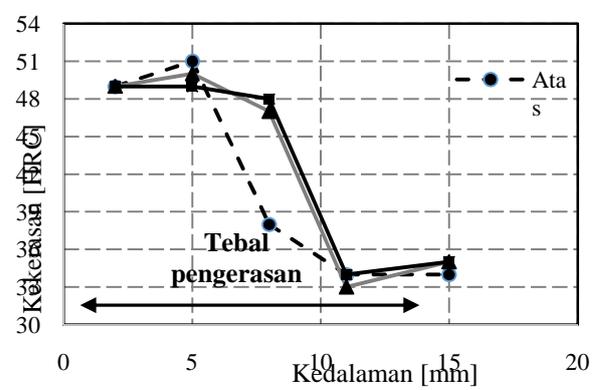
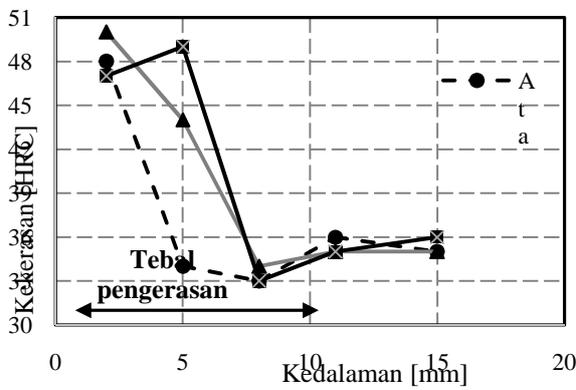
Ketika frekuensi kerja induksi rendah, maka konsentrasi arus *eddy* pada bagian permukaan spesimen yang dipanaskan masuk lebih dalam. Dengan kata lain pemanasan akan terjadi lebih dalam tidak hanya dibagian permukaannya saja. Selain arus *eddy*, konsentrasi panas pada permukaan spesimen juga dipengaruhi oleh *ring effect* dimana koil 3 lilitan memiliki kecenderungan akumulasi arus pada permukaan yang lebih baik. Spesimen 1 dan 2 dipanaskan menggunakan lilitan 2 koil dan 3 koil selama 20 detik menghasilkan perbedaan persebaran kekerasan yang diperlihatkan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Distribusi nilai kekerasan spesimen 1

Spesimen 1			
Kedalaman pengerasan (mm)	Nilai kekerasan (HRC)		
	Atas	Kanan	Bawah
2	48	50	47
5	34	44	49
8	33	34	33
11	36	35	35
15	35	35	36

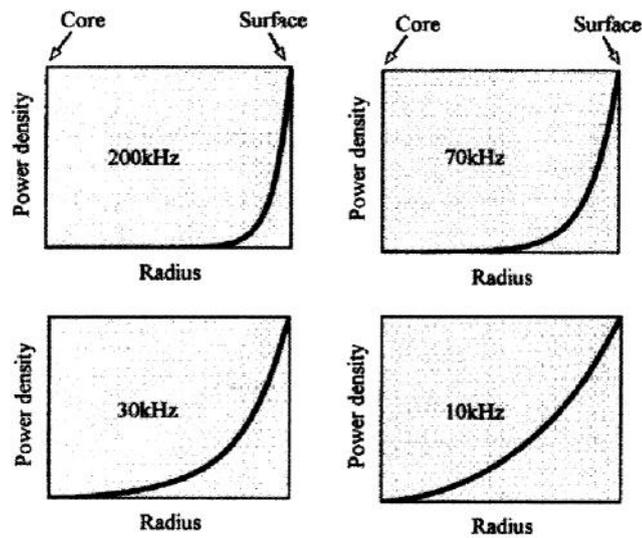
Tabel 4. Distribusi nilai kekerasan spesimen 2

Spesimen 2			
Kedalaman pengerasan (mm)	Nilai kekerasan (HRC)		
	Atas	Kanan	Bawah
2	49	49	49
5	51	50	49
8	38	47	48
11	34	33	34
15	34	35	35



Gambar 5. Distribusi nilai kekerasan dari 2 jenis spesimen yang diuji:
(a) Spesimen 1 dan (b) Spesimen 2

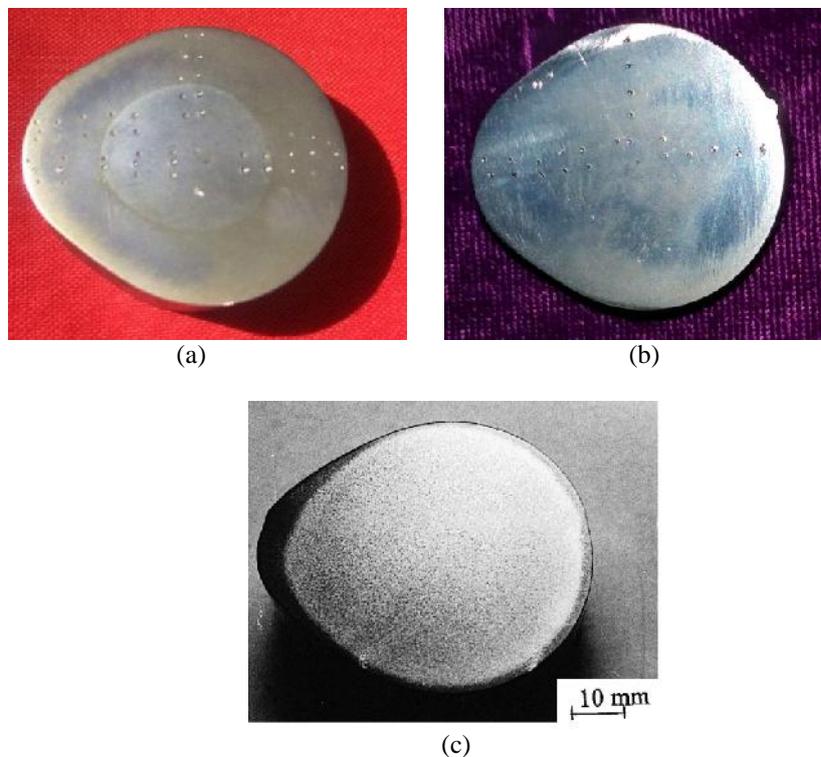
Hal ini selaras dengan beberapa pengujian pengerasan induksi dengan perbedaan frekuensi yang telah dilakukan sebelumnya dengan bentuk material lingkaran (Nugroho, dkk., 2018; Ismail, dkk., 2014). Ilustrasi yang diberikan pada beberapa literatur berkaitan dengan distribusi pengerasan permukaan akibat perbedaan frekuensi kerja diperlihatkan melalui Gambar 6 (Rudnev, dkk., 2003). Perbedaan frekuensi secara jelas memberikan efek kedalaman pengerasan yang berbeda. Semakin tinggi frekuensi, pada contoh diberikan 200 kHz, maka nilai pengerasan yang dihasilkan akan semakin tipis. Gambar 6 menunjukkan bahwa tingginya frekuensi akan memberikan efek *power density* yang tinggi hanya di bagian tepi dari suatu benda kerja. Hal ini berbeda dengan frekuensi rendah, pada contoh diberikan 10 kHz, yang akan memberikan efek *power density* yang masuk hingga bagian dalam suatu benda kerja.



Gambar 6. Efek dari frekuensi terhadap porwer density yang dialami suatu benda kerja. Semakin tinggi frekuensi, power density akan terfokus pada permukaan dan pada akhirnya akan menghasilkan lapisan pengerasan yang lebih tipis (Rudnev, dkk., 2003).

Ketebalan Pengerasan pada Permukaan Camshaft

Hasil pengerasan yang didapatkan pada penelitian ini memberikan kedalaman pengerasan mencapai 8 mm pada spesimen 1 dan 11 mm pada spesimen 2. Gambar 7 menunjukkan penampang benda kerja *camshaft* yang mengalami pengerasan permukaan. Pada hasil pengerasan spesimen menunjukkan dalamnya lapisan keras yang dihasilkan pada eksperimen ini. Hal ini berbeda dengan lapisan pengerasan yang dihasilkan dari referensi yang dilakukan oleh Michalski, dkk. (2000) dimana ketebalan pengerasan berkisar 3-4 mm.



Gambar 7. Pengerasan permukaan menghasilkan ketebalan pengerasan berbeda: (a) Spesimen 1 hasil eksperimen, (b) Spesimen 2 hasil eksperimen dan (c) Spesimen dari referensi (Michalski, dkk., 2000)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa frekuensi yang lebih tinggi (56 kHz) untuk waktu pemanasan yang sama akan menghasilkan ketebalan pengerasan yang lebih tipis. Ketebalan pengerasan di daerah permukaan *cam* sekitar 8 mm untuk 56 kHz dan 11 mm untuk 49 kHz. Nilai kekerasan spesimen naik antara menjadi 48-50 HRC dari nilai awal 32 HRC. Dari pembahasan yang dilakukan pada paper ini diketahui bahwa kedalaman pengerasan dipengaruhi oleh nilai frekuensi kerja arus induksi saat proses pemanasan induksi bekerja. Selain itu waktu pemanasan juga dianggap mempengaruhi ketebalan pengerasan. Pada pengujian ini waktu pengerasan yang dilakukan adalah 20 detik. Hal ini diasumsikan memberikan efek pengerasan yang terlalu tebal. Dibutuhkan pengurangan waktu pemanasan untuk mengurangi tebal pengerasan. Rekomendasi pengurangan waktu pengerasan dari 20 detik menjadi 10 dan 15 detik diharapkan dapat menurunkan tebal pengerasan pada permukaan *camshaft*. Untuk nilai kekerasan yang dihasilkan pada pengujian ini telah memenuhi harapan BPPT untuk nilai kekerasan *camshaft* yang sesuai dengan referensi yaitu lebih tinggi dari 45 HRC (Michalski, dkk., 2000). Penelitian ini dapat digunakan untuk memberikan rekomendasi teknik pengerasan untuk *camshaft*.

Kesimpulan

Camshaft dalam penelitian ini merupakan komponen mobil pedesaan dengan kapasitas *engine* 990 cc sebagai pengangkut barang di pedesaan yang dikembangkan oleh Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan pengaruh frekuensi induksi saat proses pemanasan induksi dilakukan terhadap distribusi kekerasan pada permukaan *camshaft* dengan metode pengerasan statik. Material *camshaft* adalah HQ 705, dapat disetarakan dengan baja AISI 4340. *Hardening* dilakukan menggunakan koil 2 lilitan (49 kHz) dan koil 3 lilitan (56 kHz) dengan waktu pemanasan 20 detik. Hasilnya didapatkan bahwa ketiga arah pengujian pada pengujian dengan frekuensi kerja 49 kHz menghasilkan ketebalan pengerasan sekitar 8 mm dan pada pengujian menggunakan frekuensi kerja 56 kHz menunjukkan ketebalan pengerasan sedalam 11 mm. Hal ini berbeda dengan lapisan pengerasan yang dihasilkan dari referensi dimana ketebalan hanya pengerasan berkisar 3-4 mm. Waktu pemanasan mempengaruhi ketebalan pengerasan sehingga dibutuhkan pengurangan waktu pemanasan untuk mengurangi tebal pengerasan dari 20 detik menjadi 10 dan 15 detik. Untuk nilai kekerasan yang dihasilkan pada pengujian ini telah memenuhi harapan BPPT untuk nilai kekerasan *camshaft* yang sesuai dengan referensi yaitu lebih tinggi dari 45 HRC.

Ucapan terima kasih

Penulis menyampaikan terima kasih atas pembiayaan penelitian yang telah diberikan oleh Universitas Diponegoro melalui Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat dengan skema Riset Pengembangan dan Penerapan (RPP) Universitas Diponegoro dengan nomor kontrak 385-65/UN7.P4.3/PP/2018.

Daftar Pustaka

- EPRI. (1994) “*Techapplication: Induction Hardening for Durable Camshafts.*” Techapplication Vol. 8, No. 2.
- EFD induction, (2008) “*Camshaft Hardening a Guide to the Benefits of Induction Heating*”. Austria.
- Haimbaugh, R. E. (2001) “*Practical Induction Heat Treating.*” ASM International. USA
- Ismail, R. dkk. (2011) “Pemanfaatan Mesin Pemanas Induksi Untuk Pengerasan Permukaan Roda Gigi Produk UKM,” *Seminar Nasional Teknologi Informasi & Komunikasi Terapan*.
- Ismail, R., dkk. (2014) “Aplikasi Teknik Continuous Hardening Menggunakan Alat Pemanas Induksi untuk Pengerasan Pin,” *Simposium Nasional RAPI XIII - 2014 FT UMS*, Surakarta.
- Ismail, R., dkk. (2014) “Induction Hardening of Carbon Steel Material: The Effect of Specimen Diameter.” *Advanced Materials Research*, Vol. 911 (2014) pp 210-214.
- Michalski, J., Marszalek, J., dan Kubiak, K., (2000), An experimental study of diesel engine cam and follower wear with particular reference to the properties of the materials, *Wear*, pp. 168–179.
- Nurgoho, S., Setiawan, S.S., Azka, M., Prabowo, A.B. dan Ismail, R., (2018), Investigation on hardness and microstructure of surface hardened and tempered camshaft using induction hardening method, *Proceeding of IC-DEAM 2018*, Bandung.
- Rudnev, V., Loveless, D., Cook, R, dan Black, M., (2003), *Handbook of Induction Heating*, Marcell Dekker, New York.
- Schneider, J.M. (2013), “Introduction to Surface Hardening of Steels Heat Treating,” *ASM Handbook Vol 4*. ASM International, 1991, p 259–267.
- Supriyanto dan Abdillah, Z. (2011) “Tinjauan Ketahanan Aus Hasil Modifikasi Noken As Pada Motor Balap” *Jurnal Teknik*, Vol.1 No.2. Universitas Janabadra.
- Yamagata, H., (2005), *The Science and Technology of Materials in Automotive Engines*. Woodhead Publishing Limited. England.