

APLIKASI TEKNIK CONTINUOUS HARDENING MENGGUNAKAN ALAT PEMANAS INDUKSI UNTUK Pengerasan PIN

Rifky Ismail*, Eflita Yohana, M. Tauviqirrahman dan A.P. Bayuseno

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto Kampus UNDIP Tembalang Semarang 50275 Telp 024 7460059 ext. 111

*Email: r_ismail@undip.ac.id

Abstrak

Pada sistem mekanik, pin dikenal sebagai *knuckle joint* yang dapat berfungsi sebagai engsel atau engsel yang menghubungkan dua buah batang sehingga mampu bergerak relatif, menahan beban tarik dan tekan serta keausan. Kereta api adalah salah satu alat transportasi yang menggunakan jumlah pin dengan jumlah yang cukup banyak. Dalam observasi lapangan yang dilakukan di Depo Lokomotif Semarang Poncol, ditemukan adanya posisi pin yang hilang saat pengecekan oleh tim maintenance. Hal ini diperkirakan terjadi akibat kegagalan pin dalam menahan beban. Salah satu upaya untuk meningkatkan kekuatan pin adalah melalui penggunaan teknik *continuous hardening* menggunakan alat pemanas induksi untuk melakukan proses pengerasan permukaan pada pin. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan uji coba pengerasan permukaan menggunakan teknik *continuous hardening* berbasis alat pemanas induksi terhadap pin yang terbuat dari material ST 60. Mekanisme kerja teknik *continuous hardening* ini adalah mencekam pin, melewati pin pada koil induksi, memanaskan hingga temperatur austenit diikuti dengan pendinginan cepat melalui penyemprotan air secara langsung. *Rapid cooling* yang dilakukan dimaksudkan untuk melakukan proses *quenching*. Dari hasil observasi didapatkan bahwa nilai kekerasan awal material yang berkisar 18-20 HRC dapat naik menjadi 55 HRC dan struktur mikro berubah dari ferrite-pearlite menjadi martensit pasca mengalami teknik *continuous hardening*. Perubahan nilai kekerasan dan struktur mikro ini hanya terjadi pada permukaan pin sedangkan pada bagian dalam memiliki nilai kekerasan sekitar 25 HRC dan memiliki struktur mikro yang mendekati ferrite-pearlite. Terdapat bagian pin yang mengalami transisi dari bagian yang keras menjadi lebih lunak. Hal ini menunjukkan kesuksesan teknik *continuous hardening* terhadap pengerasan permukaan pin.

Kata kunci: *continuous hardening; pin; pemanas induksi; kekerasan; struktur mikro*

Pendahuluan

Jurusan Teknik Mesin UNDIP sejak beberapa tahun terakhir telah mengembangkan penelitian tentang teknik pengerasan permukaan berbasis teknologi pemanasan induksi (Ismail, et al., 2011; Jamari, et al., 2012, Ismail, et al., 2013; Ismail, et al., 2014; Bayuseno, et al., 2014). Kegiatan penelitian ini telah membahas beberapa kajian dalam teknologi pengerasan permukaan berbasis induksi seperti pengaruh *quenching*, *tempering*, frekuensi induksi dan material. Meskipun teknologi pemanasan induksi telah digunakan secara masif di berbagai industri manufaktur logam, otomotif dan komponen mekanik mulai tahun 1960-an di berbagai negara maju (Haimbaugh, 2001; Rakhit, 2000; Rudnev, et al., 2003) namun faktanya hingga berdasarkan kunjungan lapangan diketahui bahwa belum ada Industri Kecil dan Menengah (IKM) di Jawa Tengah yang menggunakan teknologi ini untuk pengerasan permukaan.

Keterlibatan teknologi pengerasan permukaan menggunakan pemanas induksi dalam industri manufaktur merupakan suatu kebutuhan. Berikut adalah contoh komponen mekanik yang membutuhkan pengerasan permukaan: *knuckle pin*, roda gigi, *excavator teeth*, poros dan peralatan pertukangan. Teknologi ini menghasilkan produk yang keras di bagian permukaan untuk meningkatkan kekuatan dan sifat ketahanan aus (*wear resistance*) tetapi memiliki sifat ulet dan tangguh di bagian dalam untuk menahan beban puntir dan impak (Kim, et al., 2008; Totik, et al., 2003).

Pada sistem mekanik, pin dikenal sebagai *knuckle joint* yang berfungsi sebagai engsel yang menghubungkan dua buah batang sehingga mampu bergerak relatif, menahan beban tarik, tekan dan aus. Pin memiliki bagian kepala, batang dan pengunci pin serta didesain untuk dapat dibongkar saat proses perbaikan atau penyetulan sebagaimana terlihat pada Gambar 1. Kereta api adalah salah satu alat transportasi yang menggunakan jumlah pin dengan jumlah yang cukup banyak. Dalam satu gerbong jumlah pin yang digunakan dapat mencapai ratusan buah. Hal ini menunjukkan bahwa pin ini memiliki peran yang sangat penting dalam sistem rangkaian kereta api.

Pin untuk kereta api dapat dibuat dari material baja karbon menengah dan mengalami pengerasan permukaan (*surface hardening*) di bagian batang pin untuk meningkatkan kemampuan menahan beban dan menahan gesekan. Secara teoritis, pin harus didesain agar mampu menahan beban tarik, beban geser, beban impak dan beban aus. Kegagalan pada pin, salah satunya dapat disebabkan kesalahan perlakuan panas, dapat mengakibatkan retak halus hingga patah yang dapat membahayakan keseluruhan rangkaian sistem mekanik.

Dalam observasi lapangan yang dilakukan, ditemukan adanya posisi pin yang hilang saat pengecekan oleh tim maintenance di Depo Lokomotif Semarang Poncol. Hilangnya pin ini dapat diakibatkan kegagalan (patah) saat kereta melaju. Upaya untuk menghindari adanya kegagalan pin saat bekerja adalah dengan melakukan pengerasan permukaan pin. Diantara beberapa opsi pengerasan permukaan yang ada, pengerasan dengan metode *induction heating* atau disebut sebagai pemanas induksi memiliki beberapa kelebihan: (i) proses pemanasan singkat, (ii) dapat didesain otomatis, (iii) sedikit skil yang dibutuhkan oleh operator, (iv) cocok untuk komponen berdimensi kecil, serta (v) nilai dan tebal pengerasan dapat diatur dengan mengendalikan frekuensi arus.

Mengingat pin memiliki dimensi silindris dengan bentuk yang memanjang, pemanasan harus dilakukan dengan secara hati-hati agar tidak menimbulkan deformasi dan perubahan bentuk. Salah satu rekomendasi yang dapat dilakukan adalah pengerasan menggunakan metode pemanas induksi yang dilakukan dengan metode *continuous hardening*. Dibutuhkan penelitian untuk melakukan proses uji coba *continuous hardening* mengingat seluruh penelitian yang telah dilakukan menggunakan teknik *single shoot hardening* (Jamari, et al., 2012, Ismail, et al., 2013; Ismail, et al., 2014; Bayuseno, et al., 2014). Penelitian ini bertujuan untuk melakukan uji coba penggunaan teknik *continuous hardening* menggunakan alat pemanas induksi untuk melakukan proses pengerasan permukaan pada pin.

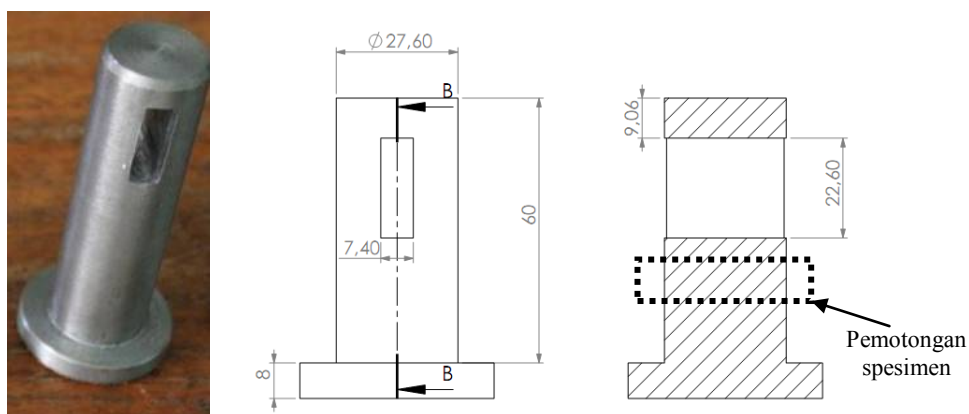
Metodologi Penelitian

Bahan

Pin yang diuji pada penelitian ini terbuat dari material ST 60 dengan komposisi unsur kimia dari material ST 60 dapat dilihat pada Tabel 1. Dimensi pin ditunjukkan oleh Gambar 1 disertai gambar detail potongannya. Pin ini merupakan salah satu contoh pin yang digunakan pada gerbong kereta penumpang milik PT. Kereta Api Indonesia (KAI) yang dibuat oleh UKM di sentra industri logam Kab. Tegal.

Tabel 1. Komposisi unsur kimia pada material ST 60

Unsur	Fe	C	Si	Mn	Cr	S	P	Al	Cu
Kandungan (%)	98,169	0,4356	0,2417	0,7071	0,3518	0,0031	0,0169	0,0108	0,02



Gambar 1. Pin disertai dengan dimensinya yang digunakan dalam penelitian ini. Material pin terbuat dari baja karbon menengah ST 60. Pemotongan spesimen dilakukan untuk pengujian kekerasan dan struktur mikro untuk pengujian keberhasilan teknik *continuous hardening*.

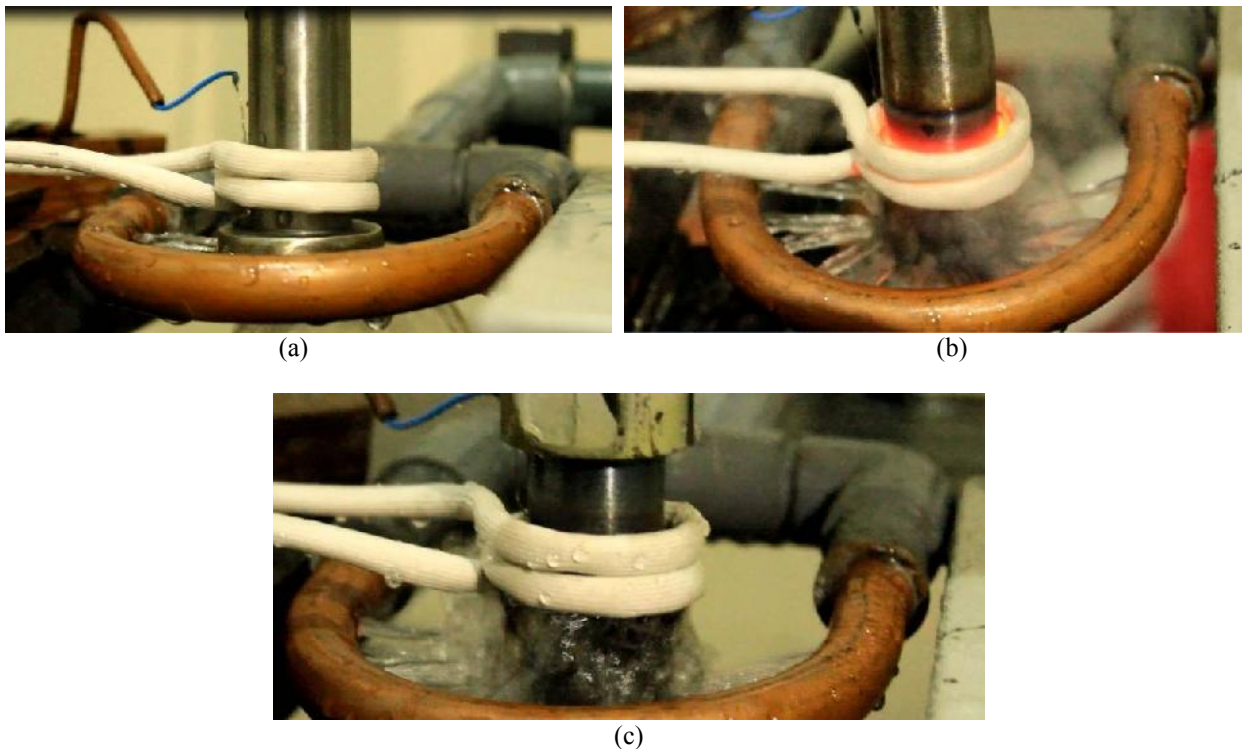
Peralatan dan prosedur *continuous hardening*

Peralatan *continuous hardening* yang digunakan dalam penelitian ini adalah hasil desain dari tim peneliti. Detail keseluruhan sistem ini adalah: (i) sistem pneumatik untuk pencekam pin, (ii) penggerak pin turun secara vertikal menggunakan motor DC, (iii) alat pemanas induksi untuk menaikkan temperatur suatu daerah dengan tegangan 380 Volt, 3 phase dan daya antara 6000 – 8000 Watt, (iv) koil pemanas dengan jumlah 2 lilitan dan (v) sistem pendingin menggunakan fluida air yang dipompakan di daerah sekitar pin yang dipanaskan untuk memberikan efek *quenching* pasca pemanasan.

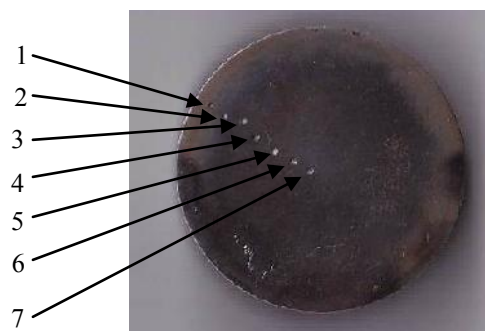
Prosedur *continuous hardening* dilakukan dengan cara sebagai berikut: (i) pin dengan dimensi terlihat pada Gambar 1 dicekam pada holder dengan metode pneumatik (Gambar 2a), (ii) pin dipanaskan hingga temperatur 850°Celsius untuk mencapai temperatur *austenite* (Gambar 2b) dengan termokopel dipasang pada pin untuk mengukur temperatur pemanasan yang terjadi saat pin mengalami *induction heating*, (iii) pin diturunkan vertikal 15-20 mm pasca-pemanasan (dengan waktu penahanan selama 15 detik untuk setiap pemanasan) kemudian disemprot dengan air untuk memberikan efek *rapid cooling* pada mekanisme *water quenching* (Gambar 2c), (iv) proses pemanasan dan penurunan pin dilakukan secara kontinyu hingga seluruh bagian pin mengalami proses *continuous hardening* dan (v) pin diambil setelah selesai proses pengerasan.

Setelah pin mengalami *continuous hardening* kemudian pin dipotong melintang pada bagian tengah pin, berjarak 35 mm dari pangkal pin sesuai Gambar 1. Spesimen yang terbentuk berbentuk silinder tipis dengan diameter 27,6 mm setebal 10 mm digunakan untuk uji kekerasan makro dan uji struktur mikro (Gambar 3). Pengujian kekerasan makro menggunakan standar *Hardness Rockwell Tester* (HRC) dan pengujian struktur mikro menggunakan mikroskop optik Olympus di Lab. Metalurgi Jurusan Teknik Mesin UNDIP. Pengambilan data uji dilakukan mulai dari permukaan spesimen dengan fungsi kedalaman pengerasan.

Gambar 3 menunjukkan jejak indentasi spesimen yang telah diuji kekerasan makro. Pengambilan foto mikro sebagai fungsi kedalaman dilakukan di sekitar jejak indentasi sehingga dapat dikaitkan antara struktur mikro dengan nilai kekerasan materialnya. Terdapat tujuh lokasi pengambilan data uji nilai kekerasan makro dan struktur mikro terhadap spesimen (titik lokasi 1-7).



Gambar 2. Proses pelaksanaan *continuous hardening* menggunakan alat yang didesain oleh tim peneliti: (a) pin dicekam pada holder dengan metode pneumatik, (b) pin dipanaskan hingga temperatur 850 °Celsius untuk mencapai temperatur austenit, (c) pin diturunkan pasca pemanasan dan langsung disemprot dengan air.

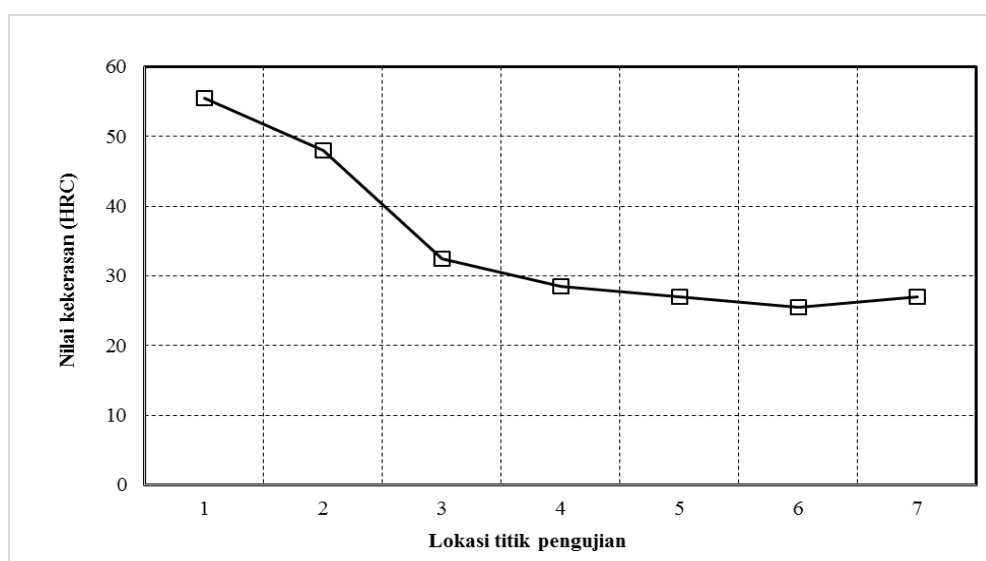


Gambar 3. Spesimen yang didapatkan dari hasil pemotongan pin. Titik yang tergambar merupakan jejak indentasi pengukuran nilai kekerasan makro. Daerah di sekitar titik indentasi tersebut juga diambil data struktur mikro.

Hasil dan Pembahasan

Kekerasan

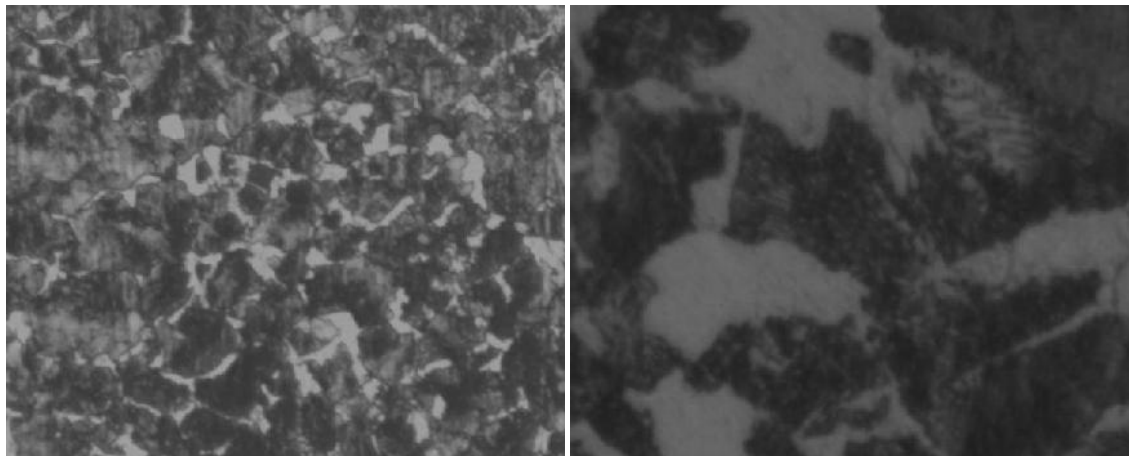
Nilai kekerasan makro HRC yang didapatkan pada lokasi titik pengujian 1 – 7 pada spesimen (Gambar 3) ditunjukkan pada Gambar 4. Nilainya menunjukkan bahwa kekerasan meningkat pada daerah permukaan dan kemudian turun sebagai fungsi kedalaman. Nilai kekerasan awal dari material ST 60 berkisar 18-20 HRC. Pasca *continuous hardening* nilai kekerasan pada permukaan naik hingga mencapai 55 HRC pada permukaan dan kemudian berangsur turun hingga mencapai yang terendah sebesar 25 HRC pada bagian tengah pin. Pada titik 3 telah terjadi penurunan drastis hingga kekerasan hanya mencapai sekitar 32 HRC. Hal ini menunjukkan adanya fenomena *surface hardening* atau pengerasan terlokalisasi pada permukaan seperti yang diharapkan dari suatu pin, yaitu memiliki sifat keras di luar untuk menahan beban tekan, tarik dan gesek serta memiliki keuletan dan ketangguhan di bagian dalam pin. Nilai kekerasan pin berangsur stabil pada lokasi titik 4 – 7 yang berkisar antara 28 – 25 HRC.



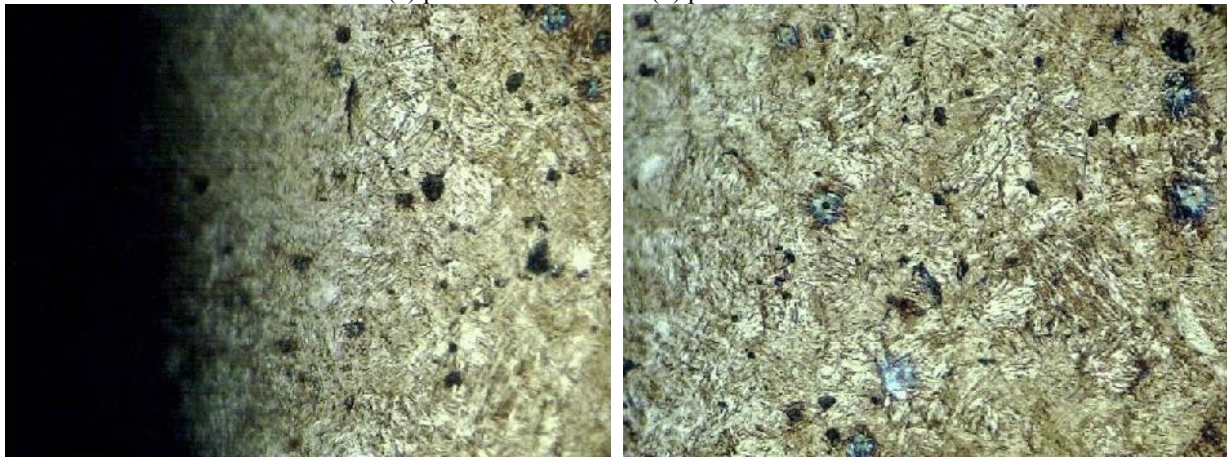
Gambar 4. Nilai kekerasan makro spesimen pin pasca *continuous hardening* pada lokasi titik pengujian 1-7.

Struktur mikro

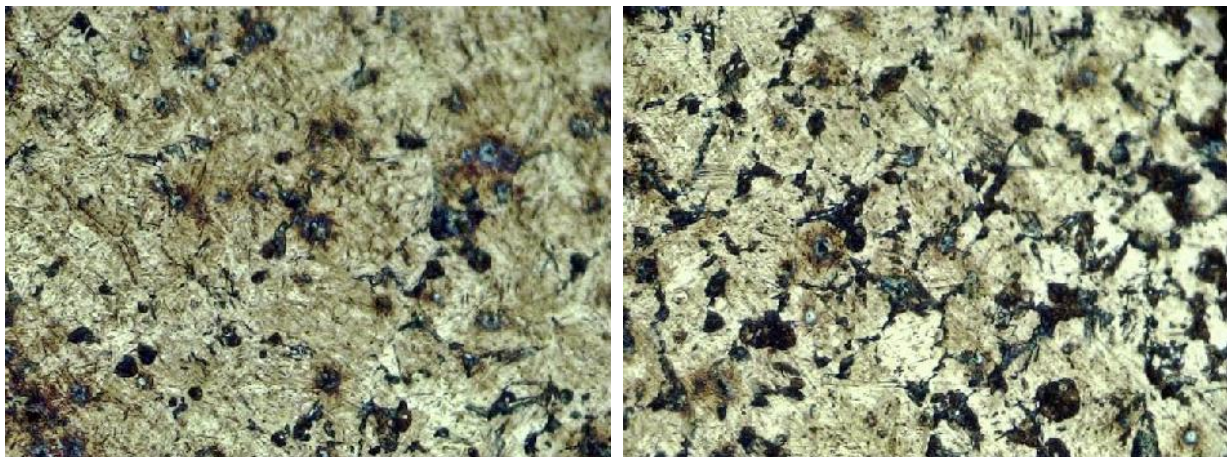
Pengujian struktur mikro berguna untuk mengetahui perubahan fasa dan struktur yang terjadi pada material dari tepi sampai tengah spesimen pin. Spesimen yang digunakan pada material pin adalah baja karbon menengah ST 60 dengan struktur mikro awal terdiri dari *ferrite – pearlite* seperti terlihat pada Gambar 5a dengan perbesaran 100 x dan Gambar 5b dengan perbesaran 200x. Daerah yang berwarna gelap merupakan *pearlite* sedangkan daerah yang berwarna terang merupakan *ferrite*. Batas butir terlihat jelas dengan perbedaan yang mencolok.



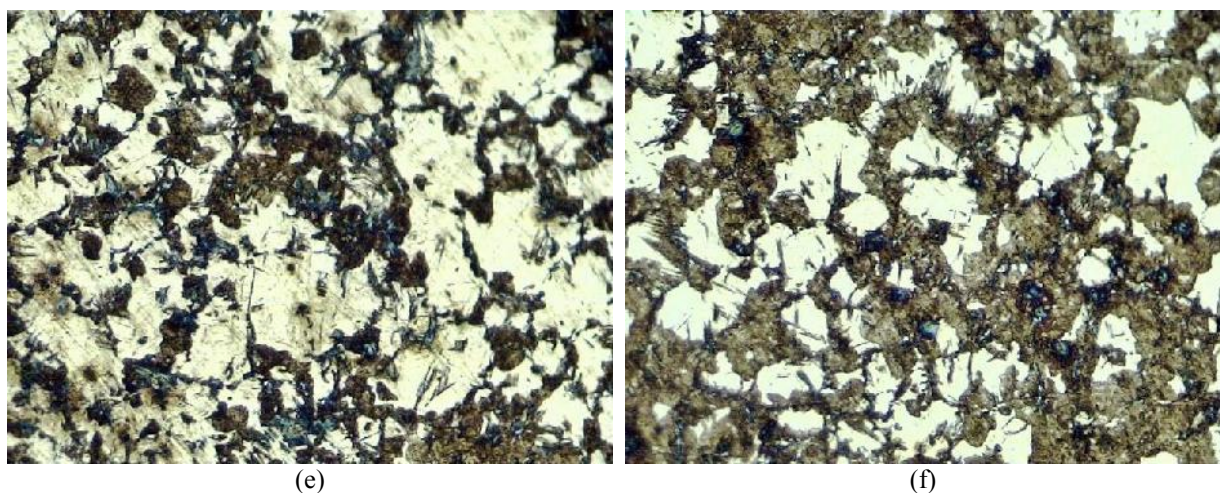
(a) (b)
Gambar 5. Struktur mikro material awal ST 60 dengan struktur awal *ferrite – pearlite*:
(a) perbesaran 100x dan (b) perbesaran 200x.



(a) (b)



(c) (d)



Gambar 6. Struktur mikro material ST 60 yang telah mengalami telah mendapatkan *continuous hardening*: bagian permukaan menunjukkan struktur *martensite* sedangkan bagian tengah mendekati struktur *ferrite – pearlite* (perbesaran 100x).

Pada Gambar 6 (a-f) menunjukkan evolusi struktur mikro yang terjadi pada spesimen ST 60 yang telah mengalami *continuous hardening*. Foto mikro diambil dengan perbesaran 100x. Lokasi pengambilan struktur mikro adalah titik 1-6 pada Gambar 3. Titik 7 tidak ditampilkan gambarnya karena memiliki struktur mikro yang hampir sama dengan lokasi titik 6. Pada Gambar 6a, struktur mikro yang diambil pada lokasi titik pengujian 1 dengan jarak sekitar 2 mm dari tepi/permukaan spesimen menunjukkan transformasi dari struktur awal *ferrite – pearlite* yang berubah menjadi struktur *martensite* yang ditandai dengan serpihan-serpihan tajam berwarna agak gelap. Hal ini relevan dengan hasil pengukuran kekerasan makro yang meningkat tajam pada permukaan (lokasi titik 1) sebagaimana terlihat pada Gambar 4. Gambar 6b, diambil pada lokasi titik 2, masih menunjukkan struktur mikro *martensite* pada jarak sekitar 3 mm dari permukaan spesimen. Pada Gambar 6c, diambil di sekitar titik 3, terjadi transisi dari struktur *martensite* yang batas butirnya tidak terlihat jelas perlahan mulai terlihat batas butir berwarna hitam gelap. Hal ini juga konsisten dengan data pengujian kekerasan makro yang memperlihatkan penurunan drastis karena struktur sudah tidak lagi terlihat sebagai *martensite*.

Perubahan struktur mikro secara bertahap akibat efek dari pemanasan di mana perlakuan panas pada bagian ini tidak mencapai suhu austenisasi, sebagaimana terlihat pada Gambar 6d. Kemudian, struktur mikro dengan fasa mendekati *ferrite – pearlite* (Gambar 6e-f) sebagai struktur awal spesimen ST 60 mulai ditemukan pada kedalaman sekitar 8 mm dari permukaan. Bagian *ferrite* yang berwarna terang dan bagian *pearlite* yang berwarna gelap telah terlihat jelas meskipun batas butir pada beberapa lokasi masih belum terlihat jelas akibat pengaruh panas yang diterima saat terjadi *continuous hardening*. Panas ini terjadi sebagai akibat adanya proses konduksi saat permukaan terkena pemanasan induksi dan merambat hingga bagian dalam spesimen.

Faktor yang berpengaruh terhadap pengerasan *continuous hardening* pada sistem yang dirancang dalam penelitian ini adalah kecepatan turun pin dalam alat pemanas induksi. Kecepatan turun pin ini berpengaruh terhadap temperatur maksimum yang terjadi pada permukaan pin dan kecepatan pendinginan pin saat disemprot dengan air. Teknik *continuous hardening* yang digunakan diwajibkan mampu memanaskan baja karbon menengah ST 60 hingga temperatur *austenite* kemudian diturunkan secara bertahap dan kontinyu diikuti oleh pendinginan cepat. Beberapa pengujian lain yang datanya tidak disajikan dalam penelitian ini mengalami kegagalan untuk mendapatkan permukaan yang lebih keras karena proses penurunan terlalu cepat. Penurunan yang terlalu cepat menjadikan temperatur pemanasan belum mencapai suhu *austenite* sehingga nilai kekerasan tidak berubah signifikan. Faktor kecepatan ini akan menjadi fokus penelitian yang akan datang. Adanya kesuksesan pada level uji coba eksperimen ini dapat ditingkatkan dengan pengujian dengan jumlah spesimen yang lebih banyak. Proses tempering juga perlu dilakukan pasca *continuous hardening* untuk menyeragamkan tegangan, meningkatkan ketangguhan dan keuletan serta menurunkan nilai kekerasan logam.

Kesimpulan

Penelitian mengenai penggunaan teknik *continuous hardening* menggunakan alat pemanas induksi (*induction heating*) yang didesain oleh tim peneliti untuk melakukan proses pengerasan permukaan pada pin telah berhasil dilakukan. Material awal pin yang terbuat dari baja karbon menengah ST 60 dengan kadar karbon 0,43 %, nilai kekerasan awal 18-20 HRC dengan struktur mikro awal struktur awal *ferrite – pearlite* berubah nilai kekerasannya menjadi 55 HRC pada permukaan dengan struktur mikro berupa *martensite*. Pendingin yang digunakan adalah air yang diberi tekanan untuk menyemprot spesimen yang mengalami pemanasan hingga temperatur *austenite*.

Penurunan spesimen secara vertikal dilakukan setiap 15-20 mm dengan penahanan selama 15 detik untuk di setiap penurunan. Proses *continuous hardening* ini kemudian menghasilkan *surface hardening* di mana perubahan nilai kekerasan dan struktur mikro terjadi pada daerah di sekitar permukaan saja sedangkan daerah bagian dalam tetap diharapkan ulet dan tangguh. Faktor yang berpengaruh terhadap pengerasan *continuous hardening* pada sistem yang dirancang dalam penelitian ini adalah kecepatan turun pin dalam alat pemanas induksi. Penurunan yang terlalu cepat menjadikan temperatur pemanasan belum mencapai suhu *austenite* sehingga nilai kekerasan tidak berubah signifikan. Faktor kecepatan ini membutuhkan kajian lebih lanjut pada penelitian yang akan datang.

Ucapan Terima Kasih

Tim peneliti menyampaikan rasa terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Republik Indonesia yang telah membiayai penelitian ini menggunakan skema hibah penelitian MP3EI Tahun Anggaran 2014, melalui Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA) Universitas Diponegoro No. DIPA: 023.04.02.189185/2014 tanggal 05 Desember 2013.

Tim peneliti juga menyampaikan terima kasih kepada mahasiswa S1 dan S2 Jurusan Teknik Mesin UNDIP atas bantuan dan kontribusinya dalam pelaksanaan penelitian dan pengambilan data.

Daftar Pustaka

- Bayuseno, A.P., et al. (2014), "Pengaruh tempering menggunakan pemanas induksi terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro material baja ST-60 pasca-quenching," *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin Universitas Trisakti*, Jakarta.
- Haimbaugh, R. E., (2001), *Practical Induction Heat Treating*, ASM International Press, Ohio, USA.
- Ismail, R., Jamari, Tauviqirrahman, M., Sugiyanto dan Andromeda, T., (2011), "Surface hardening characterization of transmission gears," *Prosiding Seminar Nasional Sains and Teknologi, Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim*, Semarang.
- Ismail, R., Tauviqirrahman, M., Bayuseno, A.P., Sugiyanto dan Jamari, (2013), "Pemanfaatan alat pemanas induksi untuk industri kecil dan menengah," *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin dan Teknologi Kejuruan UNJ*, Jakarta.
- Ismail, R., Prasetyo, D.I., Tauviqirrahman, M., Yohana, E. dan Bayuseno, A.P., (2014), "Induction hardening of carbon steel material: the effect of specimen diameter," *Advanced Materials Research*, Vol. 911, pp. 210-214.
- Jamari, et al., (2012), "Pengaruh frekuensi pemanasan induksi terhadap pengerasan material ST-60," *Prosiding Seminar Nasional XI: Rekayasa dan Aplikasi Teknik Mesin di Industri ITENAS*, Bandung.
- Kim, M.H., et al., (2008), "Experimental investigation on the mechanical behavior of high-frequency induction-hardened mild carbon SPS5 steel," *Materials Science and Engineering A*, Vol. 485, pp. 31-38.
- Rakhit, A.K., (2000), *Heat Treatment of Gears: A Practical Guide for Engineers*, ASM International Press, Ohio, USA.
- Rudnev, V., Loveless D. dan Cook, R., (2003), *Handbook of Induction Heating*, Marcel Decker, Inc, NY, USA.
- Totik, Y., et al., (2003), "The effects of induction hardening on wear properties of AISI 4140 steel in dry sliding conditions," *Materials and Design*, Vol. 24, pp. 25-30.