

# PENGARUH WAKTU PEMANASAN DAN JARAK KOIL PADA Pengerasan Induksi Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Baja Krupp 1191

Kusharjanto\*, Abrianto Akuan\* dan Ari Irawan\*\*

*Proses pengerasan permukaan dilakukan untuk meningkatkan kekerasan permukaan pada komponen yang mengalami beban puntir dan gesekan. Salah satu metoda yang dapat dipakai dalam proses ini adalah proses pengerasan induksi. Proses pengerasan permukaan induksi yang dilakukan dalam penelitian ditujukan untuk mengetahui karakteristik baja KRUPP 1191 (DIN. 1.1191) atau baja karbon medium 0,45 % C, dengan memvariasikan parameter waktu proses dan jarak koil pemanas terhadap kekerasan, ketebalan lapisan terkeraskan dan struktur mikro. Variasi parameter waktu adalah 2, 4 dan 6 detik sedangkan jarak koil pemanas terhadap benda kerja 1, 2 dan 4 mm. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan nilai kekerasan permukaan maksimum sebesar 66,4 HRC diperoleh untuk waktu proses 6 detik dengan jarak 1 mm. Distribusi nilai kekerasan dari permukaan ke inti menunjukkan nilai yang semakin rendah dengan ketebalan lapisan terkeraskan maksimum pada waktu proses 6 detik dengan jarak 1 mm sebesar 16,0 mm atau 100% dari diameter uji. Dari hasil penelitian dapat diketahui bahwa semakin lama waktu proses maka ketebalan lapisan terkeraskan semakin besar. Jarak koil dengan variasi 1, 2 dan 4 mm tidak menunjukkan pengaruh yang mencolok bila dibandingkan dengan waktu proses. Struktur mikro yang terbentuk pada daerah terkeraskan adalah martensit sedangkan pada daerah tidak terkeraskan struktur mikronya sama seperti material awal yaitu terdiri dari ferit dan perlit.*

## 1. Pendahuluan

Kepresisian komponen yang terbuat dari baja seperti bantalan, poros, katup mesin dan lain-lain serta kebutuhan akan kekerasan yang sangat tinggi pada permukaan komponen-komponen tersebut, mutlak diperlukan untuk mencegah terjadinya deformasi plastis dan keausan dalam pemakaiannya. Berbagai perlakuan diberikan guna memperlambat terjadinya peristiwa deformasi plastis dan keausan tersebut diantaranya dengan pembentukan lapisan keras pada bagian permukaan bantalan, poros dan katup mesin tersebut dengan berbagai proses pengerasan permukaan (*case hardening*). Proses pengerasan permukaan merupakan proses yang sangat kritis tidak hanya berefek pada biaya produksi dan kualitas komponen tetapi berhubungan juga dengan efisiensi energi dan efek pada lingkungan serta lamanya waktu pengerjaan. Beragamnya jenis proses *case hardening* dengan berbagai ketebalan lapisan

keras akan menghasilkan distribusi kekerasan yang berbeda-beda. Pengerasan dengan nyala api (*Flame hardening*), pengerasan induksi (*induction hardening*), *nitriding* dan *carburizing* merupakan metoda-metoda yang sudah dikenal dan dipakai untuk melakukan proses pengerasan permukaan.

Perbedaan ketebalan lapisan keras yang dihasilkan pada pengerasan permukaan dengan metoda induksi dipengaruhi oleh beberapa faktor. Pengerasan Induksi (*induction hardening*) merupakan salah satu metoda yang dipakai pada proses pengerasan permukaan karena memiliki beberapa kelebihan antara lain<sup>[1]</sup>:

- Mudah dalam pengontrolan dan pengotomatisasian.
- Lebih sedikit/efisien dalam penggunaan tempat.
- Tidak berisik dan bersih.

Salah satu parameter proses pengerasan induksi yang dapat dipilih adalah waktu proses pengerasan dan jarak koil pemanas terhadap benda kerja.

Atas dasar pertimbangan-pertimbangan tersebut, maka dilakukan penelitian terhadap

\* Staf Pengajar Fakultas Teknik  
Jurusan Teknik Metalurgi

\*\* Alumni Jurusan Teknik Metalurgi

proses *induction hardening* dengan variasi waktu dan jarak koil pemanas serta pengaruhnya terhadap sifat mekanik dan struktur mikro pada baja KRUPP 1191 untuk komponen-komponen mesin dan otomotif (roda gigi, *shaft*, dan lain-lain).

## 2. Tujuan

Penelitian mengenai pengaruh waktu dan jarak koil pemanas pada pengerasan permukaan dengan metoda induksi terhadap sifat mekanik dan struktur mikro baja KRUPP 1191 ini bertujuan sebagai berikut:

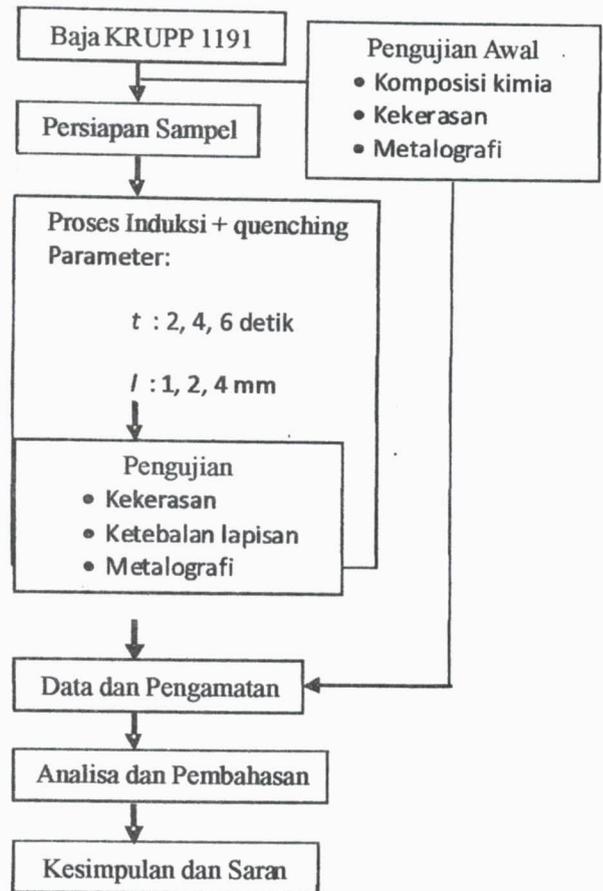
1. Untuk mengetahui dan mempelajari proses pengerasan permukaan dengan metoda induksi serta kemungkinan terbentuknya lapisan keras yang diharapkan.
2. Mempelajari dan membandingkan pengaruh waktu proses terhadap struktur mikro dan ketebalan lapisan keras yang dihasilkan serta pengaruhnya terhadap distribusi kekerasan.
3. Mempelajari dan membandingkan pengaruh jarak koil pemanas terhadap struktur mikro dan ketebalan lapisan keras yang dihasilkan serta pengaruhnya terhadap distribusi kekerasan.

## 3. Batasan Penelitian

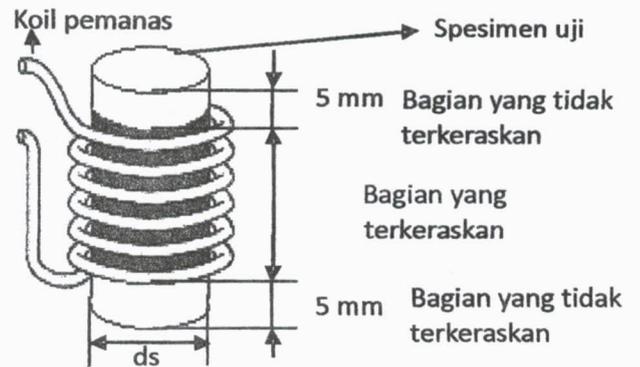
Penelitian ini difokuskan pada proses *induction hardening* untuk baja KRUPP 1191 dengan memvariasikan waktu dan jarak koil pemanas serta pengaruhnya terhadap kekerasan dan struktur mikro. Adapun parameternya adalah:

- waktu proses,  $t_2$ : 2 detik
- $t_4$ : 4 detik
- $t_6$ : 6 detik
- Jarak koil pemanas,  $l_1$ : 1 mm
- $l_2$ : 2 mm
- $l_4$ : 4 mm

## 4. Skema Penelitian



Gambar 1. Diagram alir penelitian.



$ds$  = diameter spesimen  
(10, 14 dan 16 mm)

Gambar 2. Sketsa pengerasan induksi.

Tabel 1. Kodifikasi spesimen.

Nama Kode	Waktu Proses (t) (detik)	Jarak Koil (l) (mm)
$t_2/l_4$	2	4
$t_4/l_4$	4	4
$t_6/l_4$	6	4
$t_2/l_2$	2	2
$t_4/l_2$	4	2
$t_6/l_2$	6	2
$t_2/l_1$	2	1
$t_4/l_1$	4	1
$t_6/l_1$	6	1

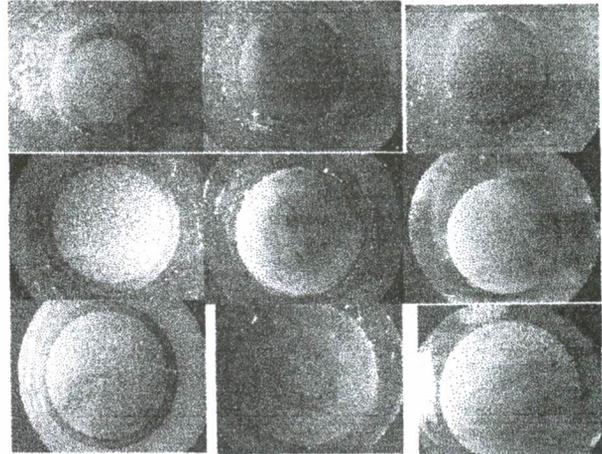
## 5. Data dan Pengamatan

### a. Pemeriksaan Komposisi Kimia

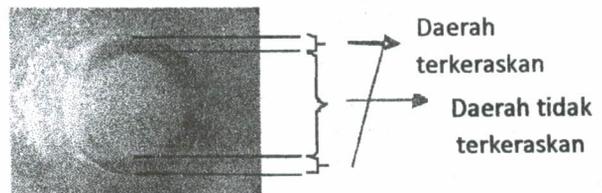
Tabel 2. Komposisi kimia material awal.

Nama Unsur	Hasil Pengujian (% berat)	Standar DIN 1.1191 (% berat)
C	0.44	0.42 - 0.5
Mn	0.79	0.50 - 0.80
Si	0.365	0.40 maks
P	-	0.035 maks
S	-	0.035 maks
Cr	-	0.40 maks
Ni	-	0.40 maks
Mo	-	0.10 maks
Fe	sisia	sisia

### b. Pemeriksaan Struktur Makro



Setelah dikeraskan



Gambar 3. Struktur makro specimen awal dan hasil induksi.

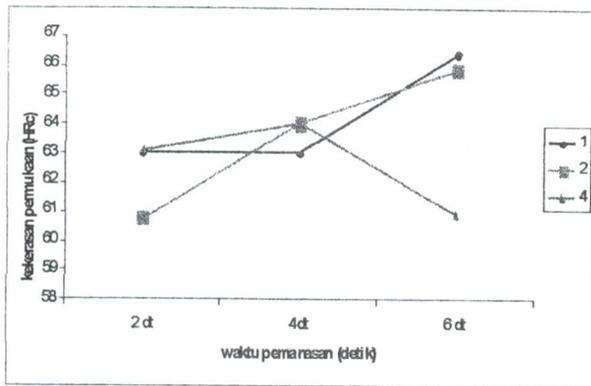
### c. Pengujian Kekerasan

Tabel 3. Kekerasan permukaan material awal

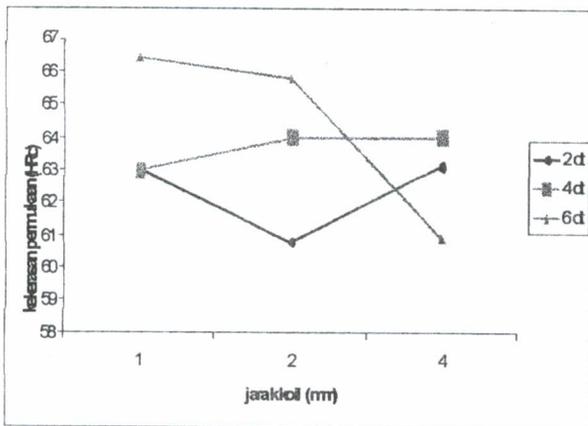
Kekerasan Rata-rata	Spesifikasi Material KRUPP 1191
206.5 (BHN) ~ 16 (HRC)	≤ 207 (BHN)

Tabel 4. Kekerasan permukaan setelah proses induksi

No. Spesimen	HRC Rata-rata
$t_2/l_4$	63.1
$t_4/l_4$	64
$t_6/l_4$	60.9
$t_2/l_2$	60.8
$t_4/l_2$	64
$t_6/l_2$	65.8
$t_2/l_1$	62.8
$t_4/l_1$	63
$t_6/l_1$	66.4



Gambar 4. Pengaruh waktu pemanasan induksi terhadap kekerasan permukaan (HRC).



Gambar 5. Pengaruh jarak koil pemanasan induksi terhadap kekerasan permukaan (HRC).

#### d. Distribusi Kekerasan

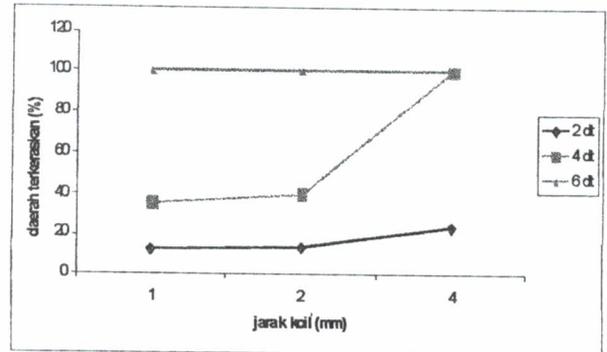
Data distribusi kekerasan setelah proses induksi dapat dilihat pada Tabel 4.

#### e. Ketebalan Lapisan

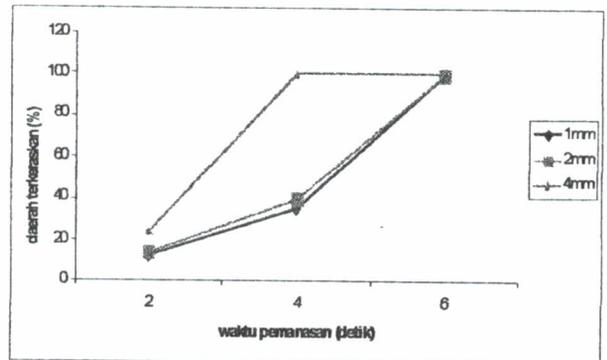
Tabel 5. Tebal lapisan rata-rata dengan pengukuran menggunakan lensa pembesar.

No. Spesimen	Tebal Lapisan Rata-rata (mm)
$t_2/l_4$	1.28
$t_4/l_4$	10.2
$t_6/l_4$	10.2
$t_2/l_2$	0.967
$t_4/l_2$	3.15
$t_6/l_2$	13.9
$t_2/l_1$	1.033
$t_4/l_1$	3.13
$t_6/l_1$	16.0

Catatan: Untuk spesimen  $I_1$ , berdiameter 10,2 mm, spesimen  $I_2$ , berdiameter 13,9 mm, dan spesimen  $I_3$ , berdiameter 16 mm.



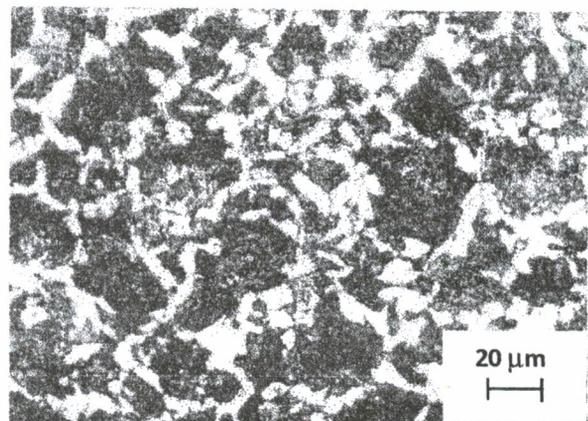
Gambar 7. Pengaruh jarak koil induksi terhadap persentase daerah yang terkeraskan.



Gambar 8. Pengaruh waktu pemanasan induksi terhadap persentase daerah yang terkeraskan setelah proses induksi.

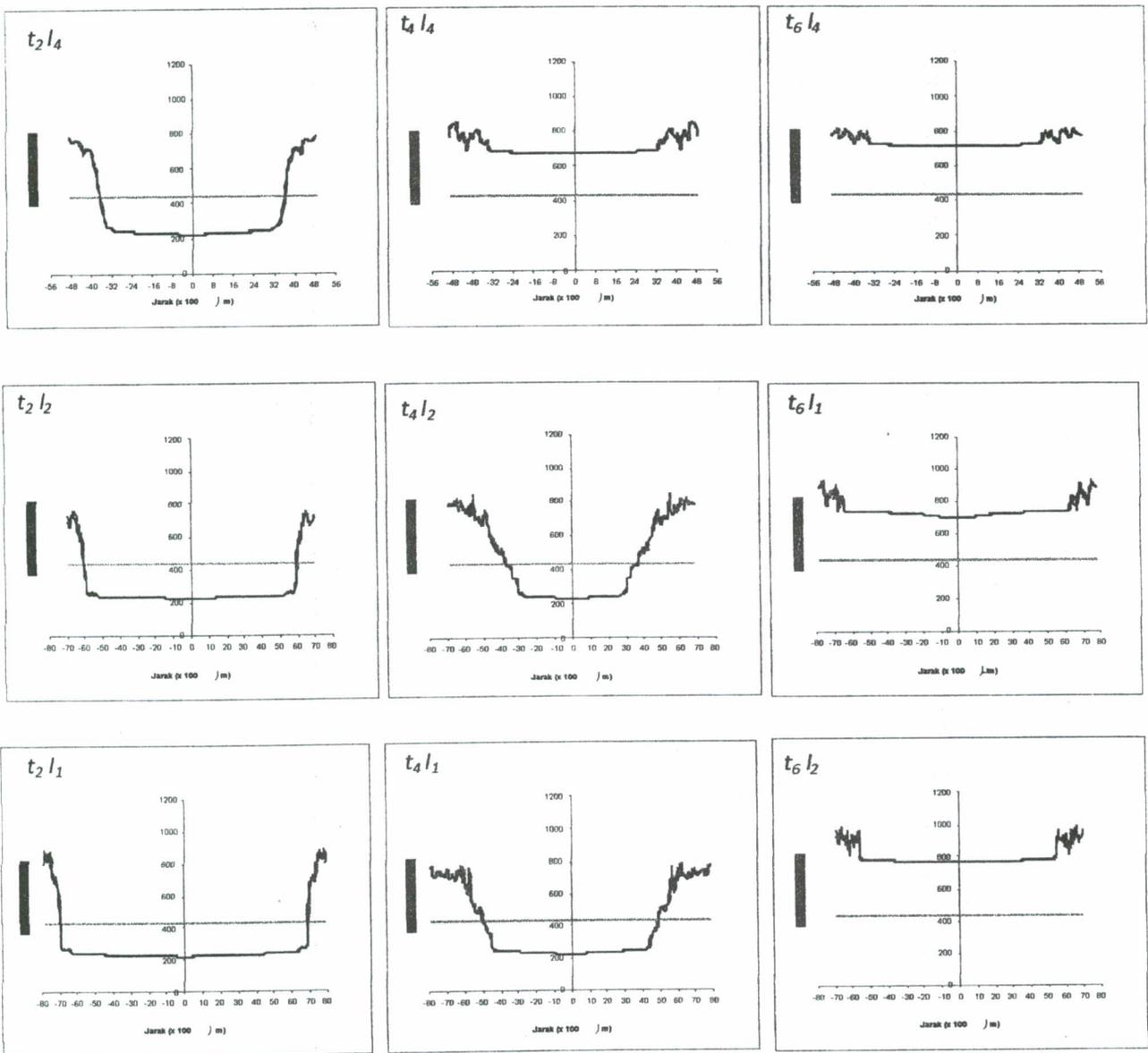
#### f. Pemeriksaan Struktur Mikro

Material awal

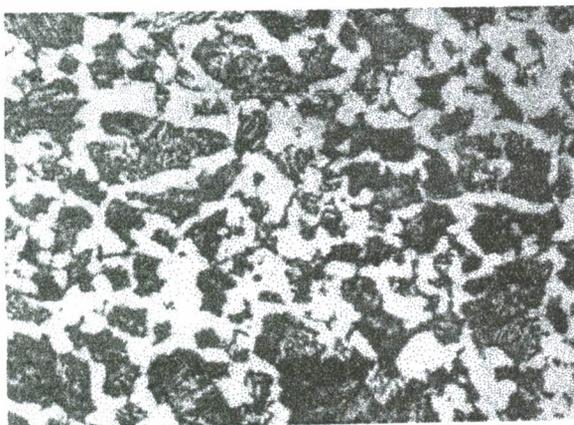


Nital 3%

Gambar 9. Struktur mikro material awal KRUPP 1191 dengan fasa ferit (bagian putih) dalam matriks perlit (bagian hitam).



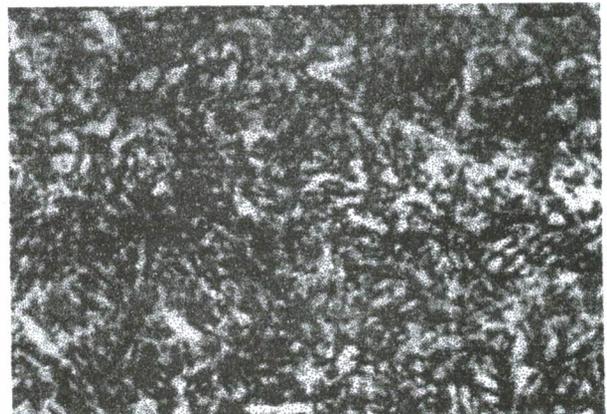
Gambar 6. Grafik distribusi kekerasan dan batasan dari ketebalan lapisan terkeraskan.



Nital 3%

500X

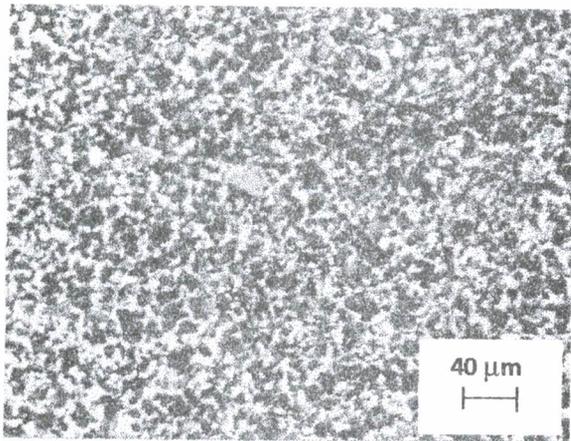
Gambar 10. Referensi struktur mikro baja AISI 1045<sup>[2]</sup>.



Nital 3%

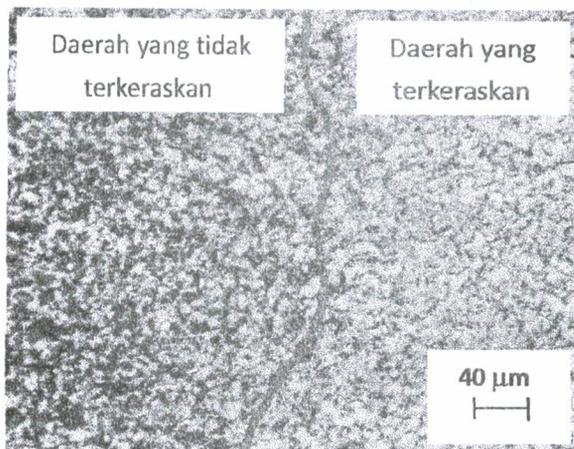
500X

Gambar 11. Referensi struktur mikro baja AISI 1045<sup>[2]</sup>.



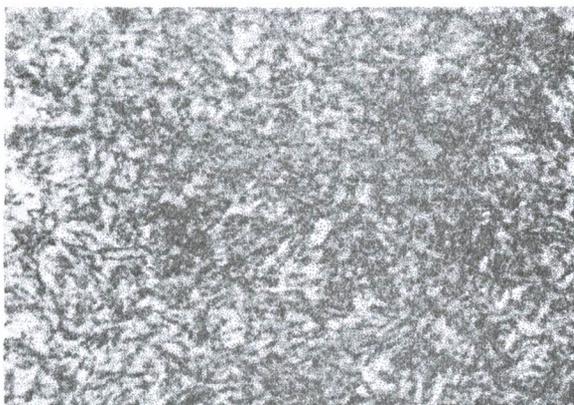
Nital 3%

Gambar 12. Struktur mikro bagian inti, fasa ferit (bagian putih) dan perlit (bagian hitam).



Nital 3%

Gambar 13. Struktur mikro daerah transisi, (daerah terkeraskan) fasa Martensit ; (daerah tidak terkeraskan) fasa ferit (bagian putih) dan perlit (bagian hitam).



Nital 3%

Gambar 14. Struktur mikro daerah terkeraskan, (fasa Martensit).

## 6. Pembahasan dan Diskusi

Berdasarkan hasil dari pemeriksaan komposisi kimia dari spesimen uji yaitu baja KRUPP 1191, dan kemudian dibandingkan dengan standar materialnya yaitu DIN 1.1191, maka dapat dinyatakan bahwa baja tersebut masih berada pada kisaran komposisi dan sesuai dengan standar materialnya serta termasuk klasifikasi jenis baja karbon medium.

Selain pemeriksaan komposisi kimia, dilakukan juga pengujian kekerasan pada spesimen awal. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kekerasan spesimen awal sehingga dapat dilihat perubahan kekerasan yang terjadi setelah dilakukan proses pengerasan induksi. Dari data nilai kekerasan awal yang didapat setelah pengujian yang kemudian dibandingkan dengan nilai kekerasan pada spesifikasi material yang disajikan oleh KRUPINDO sebagai perusahaan penyedia material awal, maka material awal sudah sesuai, dengan nilai kekerasan 206,5 BHN masih dibawah nilai spesifikasi materialnya yang bernilai  $\leq 207$  BHN.

Pemeriksaan lain yang dilakukan adalah pemeriksaan struktur mikro awal yang bertujuan untuk mengetahui fasa-fasa penyusun material awal pada kondisi anil serta dapat diketahui perubahan-perubahan apa saja yang terjadi setelah dilakukan proses pengerasan induksi. Setelah dilakukan proses metalografi maka dilakukan pengamatan dibawah mikroskop optik dan didapat bahwa struktur mikro awal adalah fasa ferit dalam matriks perlit. Hal tersebut sesuai dengan referensi yang terdapat pada *Metal Handbook ASM vol. 7 "Atlas of Microstructure of Metal Alloys"* edisi ke-8 (Gambar 10.). Persentase masing-masing fasa dapat diketahui dengan menggunakan metoda interpolasi yaitu ferit sebanyak 45% dan perlit sebanyak 55%.

Setelah dilakukan pemeriksaan awal kemudian proses pengerasan induksi dilakukan. Variasi yang dilakukan pada proses pengerasan induksi adalah variasi waktu proses pemanasan dan jarak koil pemanas pada benda kerja. Pemilihan waktu dan jarak koil yang dilakukan didasarkan dari berbagai literatur dan tindak lanjut dari penelitian sebelumnya.

Setelah proses pengerasan induksi, dilakukan tahapan metalografi mulai dari pemotongan, pembersihan sampai pengetsaan. Sebelum dilakukan pemeriksaan secara mikro dibawah mikroskop, bagian yang terkeraskan sudah dapat

Secara visual hal yang paling berbeda dari masing-masing variasi parameter yang digunakan adalah luas daerah yang terkeraskan.

Pada spesimen dengan parameter waktu proses selama 2 detik yaitu spesimen  $t_{2/4}$ ,  $t_{2/2}$  dan  $t_{2/1}$  terlihat bahwa daerah yang terkeraskan sangat kecil dengan batasan yang sangat jelas. Pada spesimen dengan parameter waktu proses selama 4 detik yaitu spesimen  $t_{4/4}$ ,  $t_{4/2}$  dan  $t_{4/1}$  daerah terkeraskan sudah lebih besar bila dibandingkan dengan waktu proses 2 detik. Bahkan dapat dilihat pada spesimen  $t_{4/4}$  telah terjadi pengerasan secara keseluruhan dari spesimen. Hal ini didasarkan pada tidak adanya batasan yang jelas antara daerah yang terkeraskan dengan daerah yang tidak terkeraskan seperti pada spesimen  $t_{2/4}$ ,  $t_{2/2}$ ,  $t_{4/2}$ ,  $t_{2/1}$ . Hal tersebut juga terjadi pada spesimen dengan parameter waktu proses selama 6 detik yaitu spesimen  $t_{6/4}$ ,  $t_{6/2}$  dan  $t_{6/1}$ .

Adanya variasi waktu proses dan jarak koil pemanas pada proses pengerasan induksi berpengaruh terhadap perubahan sifat mekaniknya. Dari data nilai kekerasan permukaan dapat dilihat bahwa kekerasan permukaan spesimen dengan makin lama waktu proses, maka kekerasan makin tinggi. Hal ini berkaitan dengan pencapaian temperatur austenisasi. Dengan waktu yang sangat singkat fasa austenit yang terbentuk di permukaan lebih kecil dibandingkan dengan waktu yang lebih lama. Fenomena bahwa semakin lama waktu proses akan mengakibatkan nilai kekerasan yang makin tinggi tidak terjadi pada spesimen  $t_{6/4}$ . Hal ini disebabkan telah terjadi *over heating* sehingga menyebabkan terjadinya pembesaran butir yang berakibat pada penurunan nilai kekerasan. *Over heating* tersebut terjadi karena ukuran (diameter) benda kerja yang kecil menyebabkan panas yang merambat dari permukaan menuju inti berbalik ke permukaan lagi sehingga temperatur pada benda kerja akan naik/lebih tinggi dari temperatur austenisasinya. Hal ini berbeda dengan diameter spesimen yang lebih besar. Pada diameter benda kerja yang lebih besar, proses perambatan panas berjalan searah dari permukaan ke inti tanpa terjadi efek pengembalian panas dari inti ke permukaan sehingga tidak terjadi *over heating*. Jarak koil 1, 2 dan 4 mm tidak menunjukkan perbedaan yang mencolok terhadap nilai kekerasan permukaan

untuk waktu 2 dan 4 detik. Pengaruh jarak koil baru terlihat pada waktu proses 6 detik, dimana semakin jauh jarak koil terhadap benda kerja, maka kekerasan semakin turun. Hal ini berkaitan dengan medan magnet dan arus imbas yang terjadi. Dimana semakin jauh jarak koil, medan magnet dan arus imbas semakin kecil.

Ditinjau dari distribusi kekerasan yang diketahui dari nilai pengujian kekerasan *micro Vickers* dengan jarak antar jejak 100m dari permukaan ke inti, terlihat bahwa semakin besar waktu proses yang digunakan, maka kecenderungan terbentuknya lapisan yang terkeraskan semakin dalam dengan nilai kekerasan yang cenderung menurun. Hal ini berkaitan dengan masukan panas (*heat input*) yang terjadi sesuai dengan persamaan  $H=I^2.R.t$ . Dari persamaan tersebut, terlihat bahwa waktu ( $t$ ) berbanding lurus dengan masukan panas ( $H$ ) sehingga semakin lama waktu proses semakin besar masukan panas yang terjadi. Kecenderungan ini terjadi pada berbagai jarak koil pemanas. Penurunan nilai kekerasan dari bagian permukaan ke bagian inti tersebut dipengaruhi oleh persentase fasa (austenit) yang terbentuk dan kecepatan pendinginan yang berbeda pada tiap jarak tertentu dari permukaan. Bagian permukaan mengalami laju pendinginan yang sangat cepat dibandingkan bagian dalamnya. Dengan laju pendinginan yang sangat cepat tersebut terbentuk fasa martensit jadi lebih besar dibandingkan bagian dalamnya. Dilihat dari nilai kekerasan dan distribusinya, variasi jarak koil pemanas pada penelitian ini tidak memperlihatkan perbedaan yang mencolok seperti variasi waktu, hal ini karena perbedaan jarak koil sangat kecil dan masih berada pada kisaran yang berefek sama.

Pengukuran batasan daerah terkeraskan dengan daerah tidak terkeraskan, selain dapat diketahui dengan menggunakan lensa pembesar dapat juga diketahui dari hasil pengujian kekerasan. Dengan pengujian kekerasan, batasan diameter kritis baja yang merupakan diameter dimana terdapat 50% martensit dapat diketahui dan untuk baja spesimen uji dengan persentase Karbon 0,44% bernilai 44 HRC. Batasan diameter kritis yang bernilai 44 HRC tersebut ditunjukkan dengan garis hijau.

Dari hasil pengukuran ketebalan lapisan menggunakan lensa pembesar dapat dikemukakan bahwa semakin lama waktu proses, maka ketebalan lapisan terkeraskan semakin besar. Hal ini kembali dipengaruhi oleh masukan panas yang terjadi serta kemungkinan terbentuk fasa (austenit) yang bertransformasi menjadi martensit yang bersifat keras akan semakin besar.

Pengaruh jarak koil terhadap ketebalan lapisan terkeraskan ada kecenderungan semakin kecil dengan jarak koil yang semakin jauh. Hal ini diperkirakan pengaruh dari medan magnet yang timbul semakin kecil dengan jarak koil yang semakin jauh.

Perbedaan ketebalan lapisan yang terkeraskan akan menyebabkan perbedaan pada luas daerah terkeraskan. Nilai persentase luas daerah terkeraskan yang merupakan perbandingan antara luas daerah terkeraskan dengan luas penampang total. Semakin lama waktu pemanasan, maka semakin besar persentase luas daerah terkeraskan.

Hal ini dipengaruhi oleh semakin besar tebal daerah terkeraskan dengan luas spesimen uji yang tetap.

Semakin dekat jarak koil pemanas menyebabkan luas daerah terkeraskan semakin kecil. Hal ini berseberangan dengan literatur yang menyebutkan bahwa semakin dekat jarak koil pemanas, maka daerah terkeraskan semakin besar. Ketidaksesuaian ini kemungkinan disebabkan oleh faktor pembagi (dalam hal ini diameter spesimen uji) yang tidak sama, karena jarak koil 1,2 dan 4 mm diperoleh dengan memvariasikan diameter benda kerja dengan diameter koil yang tetap.

Dari hasil pemeriksaan struktur mikro (Gambar 13 dan 14) terlihat bahwa setelah dilakukan proses pengerasan induksi terjadi perubahan fasa dari spesimen. Dari gambar struktur mikro terlihat adanya fasa martensit sehingga kekerasan yang dihasilkan mencapai 67 HRC. Martensit terbentuk pada daerah yang terkena efek dari pemanasan yang dilanjutkan dengan pendinginan yang cepat (*quenching*). Martensit yang terbentuk dengan kadar karbon 0,44% adalah martensit jenis *lath* dengan mekanisme geser *slip*.

Struktur mikro transisi yang merupakan batasan antara daerah yang terkeraskan dengan daerah yang tidak terkeraskan ditandai dengan garis merah seperti terlihat pada gambar tersebut. Dari gambar struktur mikro pada daerah inti tersebut dapat diketahui bahwa daerah inti beberapa spesimen tidak terkena efek pemanasan dan pendinginan yang cepat karena pada struktur mikro tidak terjadi perubahan. Hal ini dibuktikan dengan fasa-fasa yang terdapat pada gambar terdiri dari perlit dan ferit sama seperti struktur mikro spesimen awal dengan nilai kekerasan yang tidak terlalu jauh berbeda.

## 7. Kesimpulan

1. Dengan variasi waktu proses 2, 4 dan 6 detik serta jarak koil pemanas 1, 2 dan 4 mm terhadap baja karbon medium KRUPP 1191, terbentuk lapisan keras di permukaan.
2. Nilai kekerasan dari permukaan ke inti mengalami penurunan, dimana semakin jauh dari permukaan, nilai kekerasan semakin rendah.
3. Semakin lama waktu proses pengerasan induksi, maka ketebalan lapisan rata-rata yang terkeraskan semakin besar (1,093; 5,493; 13,366 mm).
4. Semakin lama waktu proses pengerasan induksi, maka persentase luas daerah terkeraskan semakin besar. Persentase luas daerah terkeraskan semakin besar dengan jarak koil pemanas yang semakin jauh.
5. Variasi jarak koil pemanas, tidak menunjukkan perbedaan yang mencolok pada nilai kekerasan permukaan dan ketebalan lapisan terkeraskan.
6. Struktur mikro pada daerah terkeraskan adalah martensit. Sedangkan pada daerah tidak terkeraskan struktur mikronya sama seperti struktur mikro material awal, yaitu terdiri dari fasa ferit dan perlit.
7. Proses pengerasan induksi terhadap komponen-komponen mesin dari material baja karbon medium 0,45 % C atau baja KRUPP 1191, dapat dilakukan pada kondisi waktu proses 6 detik dan jarak koil pemanas 1 mm yang menghasilkan kekerasan permukaan antara 60,8 sampai 66,4 HRC.

## Daftar Pustaka

1. ASM, "Metals Handbook Volume 4, Heat Treating", Metals Park, Ohio, 2001.
2. ASM, "Metals Handbook Volume 7, 8<sup>th</sup> edition, Atlas of Microstructures of Metals Alloy", Metals Park, Ohio, 1974.
3. Avner, SH, "Introduction to Physical Metallurgy", McGrawHill Kogakusha, Ltd, Tokyo, 1974.
4. Kalpakjian, S, "Schmid Manufacturing Engineering and Technology", Prentice-Hall, New Jersey, 2001.
5. Krauss, G, "Steel: Heat Treatment and Processing Principles", ASM International, Material Park, Ohio, 1990.
6. Reed-Hill, Robert E, Abbaschian, R, "Physical Metallurgy Principles", 3<sup>rd</sup> edition, PWS-KENT Publishing Company, Boston, 1992.