

Studi Perbandingan Peningkatan Kekerasan Pada Permukaan Baja Karbon Antara Menggunakan Pemanas Induksi Dan Pemanas Nyala Api (Flame)

Saiffudin ; Patna Partono, S.T., M.T.

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Abstrak

Pada penelitian ini akan membahas perbandingan peningkatan kekerasan dan perbedaan struktur mikro pada permukaan baja karbon menggunakan pemanas induksi dan pemanas nyala api. Mesin pemanas nyala api yang menggunakan las gas actylene dan mesin pemanas induksi yang dirancang untuk menghasilkan suhu mencapai 950°C yang kemudian dilakukan *quenching* atau pendinginan cepat dari temperature austenite dengan media air aquades. Dari hasil uji kekerasan diperoleh hasil bahwa baja AISI 1010 dengan perlakuan induksi memiliki nilai kekerasan yang lebih besar dibandingkan dengan baja AISI 1010 dengan pemanas nyala api atau *flame*.

Kata Kunci: Baja Karbon, Kekerasan, Pemanas Induksi, Pemanas Nyala Api (Flame), Quenching.

Abstract

In this study, we will discuss the comparison of hardness increases and differences in microstructure on the surface of carbon steel using induction heating and flame heating. A flame heating machine that uses actylene gas welding and an induction heating machine that is designed to produce temperatures reaching 950°C which is then quenched or cooled quickly from austenite temperature with distilled water media. From the results of the hardness test, it was found that AISI 1010 steel with induction treatment had a greater hardness value than AISI 1010 steel with flame heating.

Keywords: Carbon Steel, Hardness, Induction Heating, Flame Heating (Flame), Quenching.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam dunia industri maupun material tentunya sangat tidak asing dengan material baja (*steel*). Baja merupakan sebuah paduan besi karbon yang mengandung kadar karbon kurang dari 2% (Smallman dan Bishop, 2000). Hingga saat ini baja berperan penting sebagai material kunci dalam sektor industri seperti konstruksi dan manufaktur. Hal ini dikarenakan sifat mekanik dari baja yaitu mempunyai keunggulan seperti kekuatan dan kekerasan. Dengan adanya tuntutan untuk memiliki sifat yang keras dan tahan aus. Maka dari itu perlu adanya upaya untuk meningkatkan sifat mekanik tersebut untuk mendapatkan material dengan sifat mekanik yang lebih tinggi namun dengan masa jenis yang tetap, salah satunya dengan melakukan proses perlakuan panas terlebih dahulu.

Proses perlakuan panas adalah sebuah upaya yang digunakan untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasan, proses perlakuan panas pada logam sangatlah bermanfaat untuk mendapatkan logam

yang berkualitas dan memiliki sifat-sifat fisik meliputi konduktivitas listrik, struktur mikro, densitas dan sifat mekanik yang lebih baik terutama dalam hal kekerasan dan kelenturan dari sifat asal (Manulaitta dan Patty, 2011). Dalam ilmu bahan, kekerasan suatu baja karbon berkaitan erat dengan kadar karbonnya. Semakin tinggi kadar karbon dalam suatu logam, maka kemampuan logam tersebut untuk dikeraskan akan semakin baik. Ada banyak proses perlakuan panas salah satunya adalah *quenching*, yaitu proses pemanasan baja sampai suhu di daerah atau diatas daerah kritis disusul dengan pendingin yang cepat dinamakan quench (Murtiono, 2012), Apabila ditinjau dari perubahan metalografi permukaan ada dua teknik yang dapat digunakan untuk meningkatkan kekerasan baja karbon, yaitu *flame hardening* dan *induction hardening* (Amstead dkk; 1995).

Induction hardening adalah proses pemanasan dengan memakai prinsip kumparan yang diberi aliran arus bolak-balik dan diletakkan didekat bahan konduktif. Material konduktif dan kumparan selanjutnya menghasilkan medan magnet bolak-balik dan mengakibatkan arus eddy, panas yang timbul pada material konduktif diakibatkan oleh aliran arus eddy yang berada disekitar material konduktif tersebut.

Flame hardening adalah proses pengerasan permukaan dengan cara pemanasan yang cepat pada temperatur austenit hanya pada permukaannya saja. Cara ini digunakan apabila suatu komponen terbuat dari baja yang secara langsung dapat dikeraskan tetapi pemanasannya berlangsung dengan cepat pada permukaan. Proses ini disebut juga proses pengerasan dengan waktu singkat. Prinsip kerja pengerasan ini adalah permukaan material yang dikeraskan dipanaskan dengan cepat oleh semburan gas/las kemudian material didinginkan secara cepat dengan cara disemprot dengan air atau dicelupkan dalam air untuk mendapatkan struktur martensit sehingga didapatkan permukaan yang keras. Pada proses ini tidak terjadi perubahan komposisi.

1.2 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang sudah diuraikan, berikut rumusan masalah dalam penelitian ini, yaitu :

1. Bagaimana struktur mikro pada baja AISI 1010 sebelum dan sesudah mendapatkan perlakuan panas.
2. Bagaimana perubahan fasa /morfologi dan mengetahui sebab-sebab terjadinya perubahan kekerasan.
3. Bagaimana perbandingan tingkat kekerasan setelah dilakukan *induction hardening* dengan *flame hardening*.

1.3 Tinjauan Pustaka

Iswanto dkk (2020) melakukan penelitian tentang perbandingan *induction hardening* dan *flame hardening* pada sifat fisik baja ST60 diperoleh hasil bahwa baja ST 60 dengan perlakuan

induction hardening memiliki butiran *perlite* lebih banyak dan lebih jelas dibandingkan baja ST 60 dengan perlakuan *flame hardening*. Karena pada perlakuan *induction hardening* menghasilkan butiran *perlite* dengan jumlah lebih banyak dan warnanya lebih hitam maka hal ini menyebabkan kekuatan tarik baja ST 60 semakin tinggi. Baja ST 60 dengan perlakuan *induction hardening* memiliki kekuatan tarik lebih besar yaitu sebesar 87,15 N/mm² disbanding baja ST 60 yang dengan perlakuan *flame hardening* dengan kekuatan tarik 81,53 N/mm². begitu juga dengan besarnya regangan baja ST 60 dengan perlakuan *induction hardening* senilai 17,5% sehingga lebih besar dibanding baja ST 60 dengan perlakuan *flame hardening* yang besar regangan hanya 2,5%

Reac pratama, dkk (2021) melakukan penelitian tentang pengaruh waktu dan suhu menggunakan pemanas induksi terhadap kekerasan material pahat ukir kayu diperoleh hasil bahwa ada peningkatan kekerasan yang cukup signifikan dari baja JIS SUP 9 yang dilakukan proses pemanasan menggunakan *induction heater*. Ketika menggunakan variasi temperature 800°C *holding time* 30 detik bisa mendapatkan nilai kekerasan baja JIS SUP 9 tertinggi sebesar 64 HRG, hal ini di karenakan saat baja di panaskan menggunakan pemanas induksi, baja mencapai suhu austenit setelah baja mencapai suhu austenit baja didiamkan selama 30 detik dengan media pendingin air agar terbentuk struktur martensite dan proses ini lah yang membuat baja menjadi lebih keras dan dapat disimpulkan bahwa perlakuan panas menggunakan pemanas induksi dengan variasi temperature dan *holding time* 11 menggunakan media quenching air dapat meningkatkan nilai kekerasan baja JIS SUP 9

Tarsono (2007) melakukan penelitian dengan cara pengerasan induksi pada baja paduan rendah diperoleh hasil pengujian kekerasan maksimum yang dapat dicapai pada semua benda kerja berada diatas kekerasan kritis (400 HV), sedangkan kekerasan tertinggi dicapai benda kerja 4 dengan jarak kumparan dengan benda kerja 1,5 mm. untuk hasil pengerasan induksi memperoleh kedalaman pengerasan efektif dengan jarak antara kumparan dan benda kerja 1,5 mm adalah benda kerja 20mm dan 1,80mm dengan demikian menunjukkan bahwa jarak antara yang kecil dan waktu pemanasan yang lebih lama menghasilkan kekerasan yang tinggi dan dari hasil uji struktur mikro permukaan benda kerja terdiri dari fasa mertensit menunjukkan kekerasan tinggi

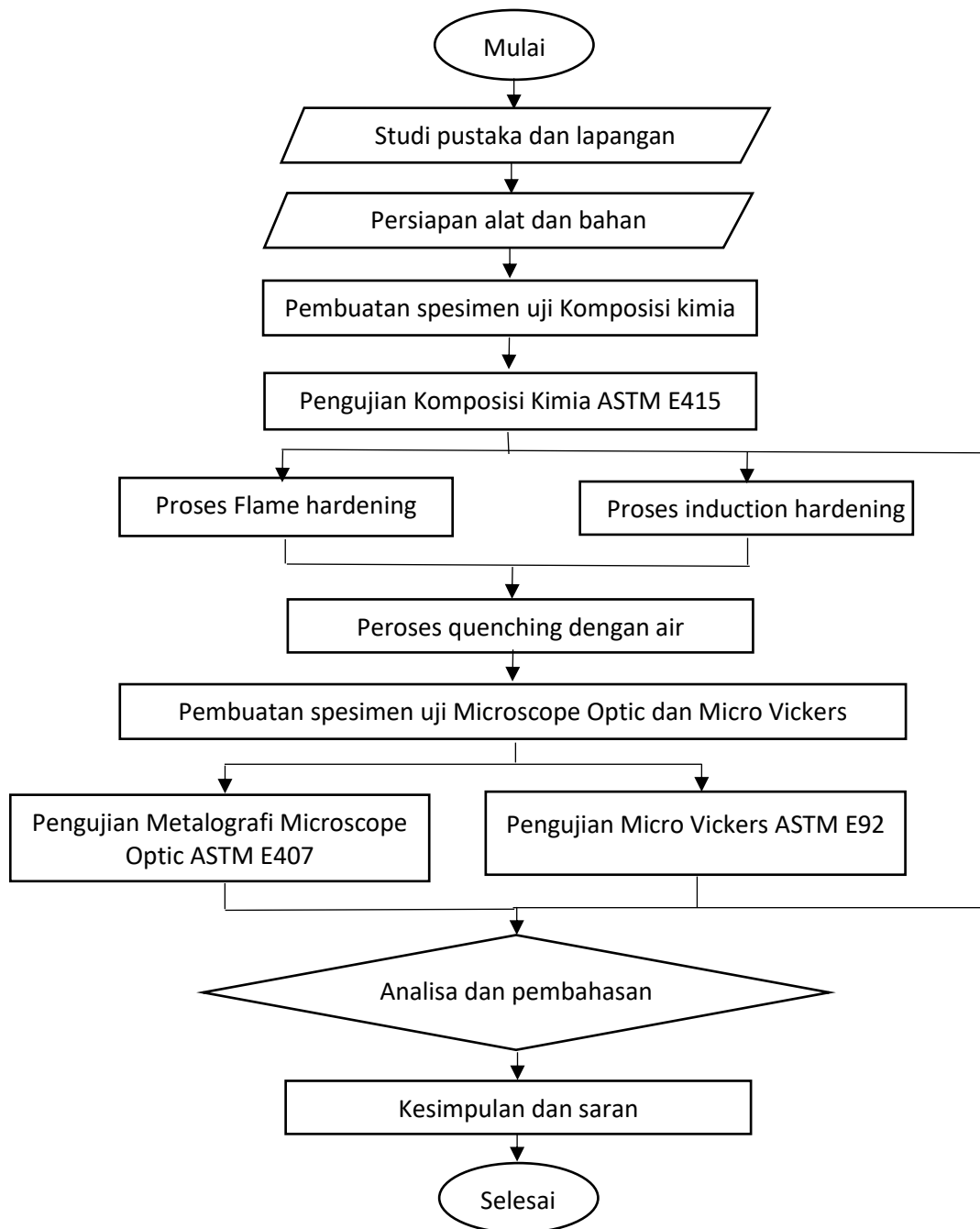
Subrata Talapatra dkk (2013) melakukan penelitian tentang pengaruh pengerasan api pada penempaan baja karbon tinggi. Dalam penelitian ini baja karbon tinggi dengan kandungan karbon 0,73% dengan diameter 25 mm dan panjang 170 mm dipilih sebagai spesimen. Operasi penempaan dilanjutkan dengan pemadatan di palu pneumatik satu nada setelah memanaskan kembali sampel di perapian pandai besi hingga 1100-C (yaitu penempaan suhu baja karbon 0,73%) sampai diameter sampel menjadi diameter 30 mm dan panjang 120 mm (pengurangan panjang 30%). Sampel dikeraskan dengan api dengan cara dipanaskan dengan pembakar dua baris tipe female. diperoleh hasil bahwa nilai kekerasan bahan induk yaitu sebelum ditempa adalah 32 HRC.

Tapi itu naik menjadi 34 HRC di seluruh penampang setelah ditempa. Setelah pengerasan api kekerasan yang diperoleh di permukaan adalah 57 HRC, yang secara bertahap menjadi 32 HRC di inti

Sagar dkk (2017) melakukan penelitian tentang pengaruh *flame hardening* pada baja tahan AISI 3161. Dengan variasi waktu pemanasan selama 1 menit, 3 menit, 12 dan 5 menit, spesimen yang digunakan memiliki panjang 30 mm dan lebar 8 mm. penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui kedalaman pengerasan benda kerja hasil proses flame hardening dengan pengujian metalografi mikroskop optic pada variasi waktu pemanasan yang berbeda-beda. Hasil dari penelitian tersebut dapat diketahui pada waktu pemanasan selama 1 menit didapatkan kedalaman pengerasan 8,5 μm , kemudian pada waktu pemanasan selama 3 menit didapatkan kedalaman pengerasan 11 μm , variasi waktu pemanasan yang terakhir adalah selama 5 menit, didapatkan kedalaman pengerasan 12,5 μm . Berdasarkan hasil tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa lama waktu pemanasan pada proses flame hardening berbanding lurus dengan kedalaman pengerasan benda kerja. Semakin lama proses pemanasan, maka akan semakin dalam pengerasan yang terjadi. Namun, jika pengerasan permukaan benda kerja terlalu dalam, maka dikhawatirkan akan mengurangi ketangguhan pada bagian inti benda kerja, sehingga benda kerja kurang baik dalam menerima beban kejut.

2. METODE

3.1 Diagram Alir



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

2.2 Alat dan Bahan Penelitian

1. Baja AISI 1010
2. Alat ukur (Jangka sorong)
3. Gergaji Besi
4. Mesin Bubut
5. Alat Las Gas-Acetylen
6. Induction heating
7. *Thermokopel*
8. Amplas
9. Autosol
10. Larutan Etsa
11. Bak penampung air

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu dengan menggunakan *spectrometer bruker (Spektrometer emission)* dengan ASTM E 415-08. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui komposisi unsur yang terkandung dalam baja karbon.

Tabel 1 Hasil pengujian komposisi kimia

Unsur	Sample Uji	
	153/22-S481 (%)	Standar Deviasi
C	0,125	0,036
Si	0,161	0,0037
Mn	0,429	0,010
P	0,019	0,0091
S	0,015	0,0045
Cr	0,021	0,0025
Mo	0,021	0,0075
Ni	0,025	0,0048
Cu	0,0099	0,010
Al	0,012	0,0020
Co	<0,0050	0,00000
Mg	<0,0050	0,0003
Nb	0,022	0,0036
Ti	0,0042	0,0093
V	<0,0050	0,0010
W	<0,100	0,026
Fe	99,06	0,080

Dari pengujian komposisi bahan pada tabel 1 dapat dilihat bahwa kandungan karbon yang terkandung pada material baja sebesar 0,125% dan kandungan besi (Fe) senilai 99,06 serta terdapat unsur-unsur paduan lainnya yang rendah. Untuk menentukan jenis baja karbon dari hasil uji komposisi dapat dilihat pada tabel 2.

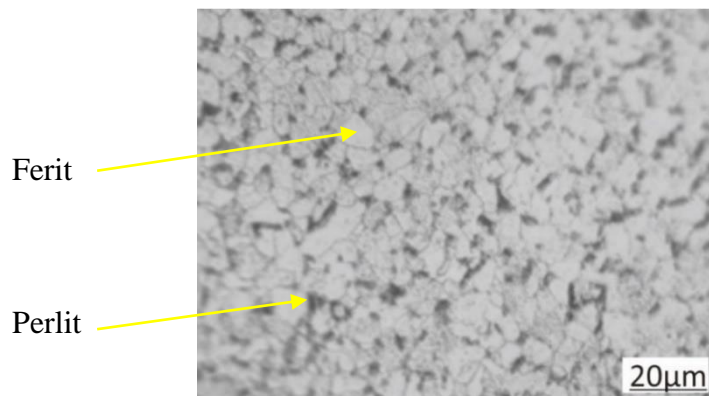
Tabel 2 *Composition of AISI Carbon and Alloy Steels*

Steel	C	Mn	P,max	S,max
1008	0,10 max	0,30-0,50	0,040	0,050
1010	0,08-0,13	0,30-0,60	0,040	0,050
1020	0,18-0,23	0,30-0,60	0,040	0,50

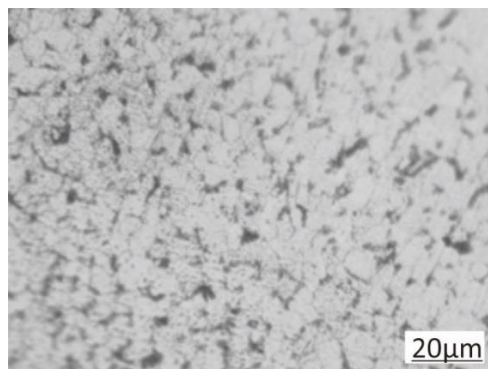
Bedasarkan Standart American Society for Metals, dengan melihat komposisi yang terkandung didalamnya dapat dikategorikan dalam steel 1010 (ASM, 2001)

3.2 Pengujian Metalografi

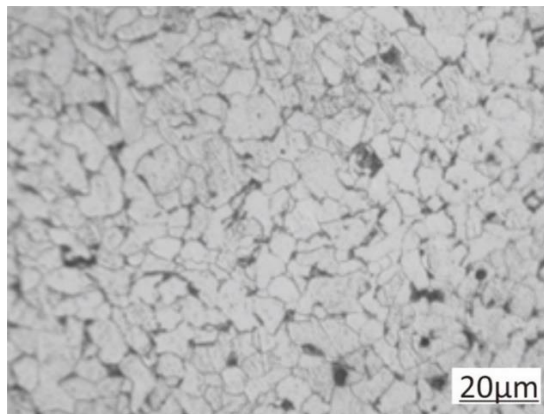
Pengujian metalografi yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu dengan menggunakan mikroskop optik dengan ASTM E407. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari *flame hardening* dan *induction hardening* terhadap struktur mikro dari baja AISI 1010.



Gambar 2 Foto struktur mikro spesimen Raw material kedalaman 1mm dengan perbesaran lensa okuler 200 kali

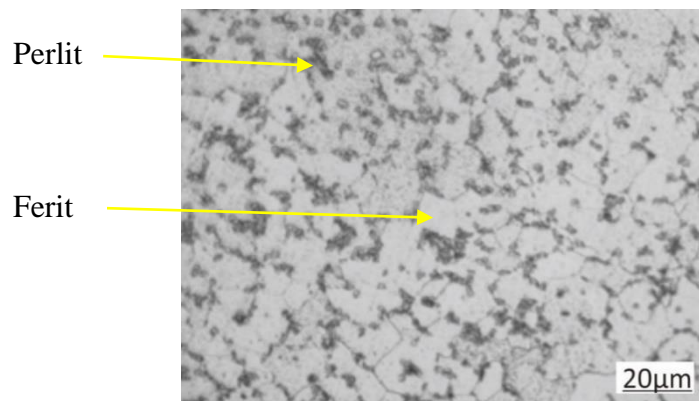


Gambar 3 Foto struktur mikro spesimen Raw material kedalaman 4mm dengan perbesaran lensa okuler 200 kali

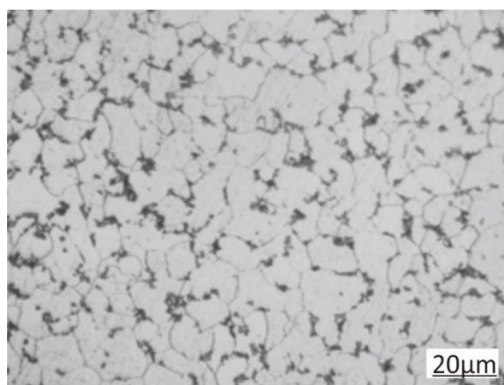


Gambar 4 Foto struktur mikro spesimen Raw material kedalaman 8mm dengan perbesaran lensa okuler 200 kali

Struktur mikro yang terdapat pada daerah tersebut adalah ferit dan perlit. Fasa yang terdapat pada spesimen induk tersebut adalah fasa awal dari baja AISI 1010 atau tidak terjadi perubahan fasa. Hal ini dikarenakan pada spesimen induk tidak terjadi pendinginan secara cepat.

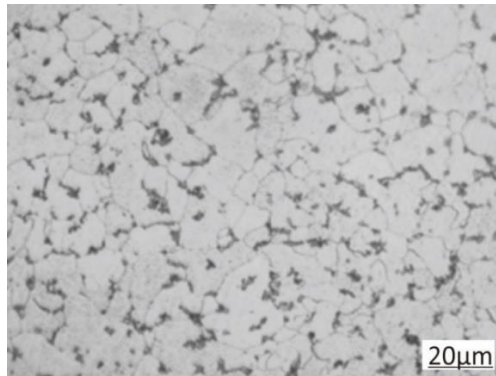


Gambar 5 Foto struktur mikro spesimen yang dipengaruhi *flame hardening* kedalaman 1mm dengan perbesaran lensa okuler 200 kali



Gambar 6 Foto struktur mikro spesimen yang dipengaruhi

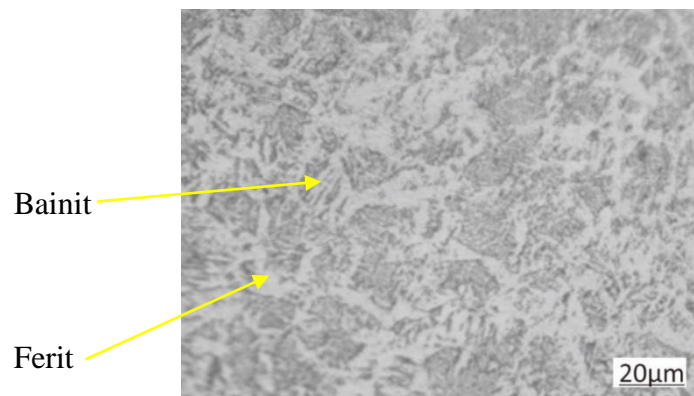
flame hardening kedalaman 4mm dengan perbesaran lensa okuler 200 kali



Gambar 7 Foto struktur mikro spesimen yang dipengaruhi

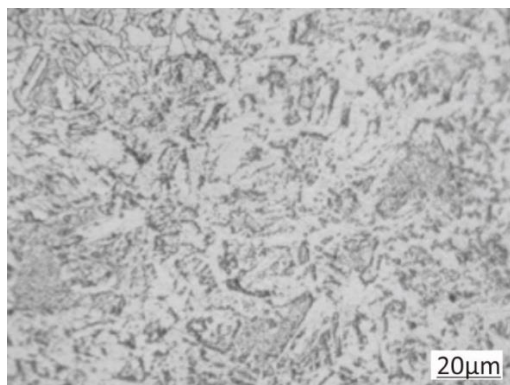
flame hardening kedalaman 8mm dengan perbesaran lensa okuler 200 kali

Pada pengujian metalografi pada spesimen dengan perlakuan *flame hardening* dengan *microscope optic* terlihat adanya ferit dan perlit. Ferit terlihat berwarna terang dan Perlit terlihat berwarna gelap, perlit disini terlihat lebih gelap dan tersebar dibagian yang terkena proses *flame hardening* dengan ukuran butiran lebih kecil atau halus dari spesimen induk.



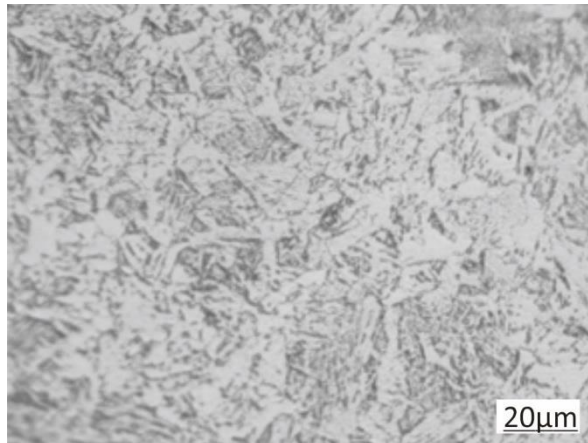
Gambar 8 Foto struktur mikro spesimen yang dipengaruhi

induction hardening kedalaman 1mm dengan perbesaran lensa okuler 200 kali



Gambar 9 Foto struktur mikro spesimen yang dipengaruhi

induction hardening kedalaman 4mm dengan perbesaran lensa okuler 200 kali



Gambar 10 Foto struktur mikro spesimen yang dipengaruhi

induction hardening kedalaman 8mm dengan perbesaran lensa okuler 200 kali

Pada pengujian metalografi pada spesimen dengan perlakuan *induction hardening* dengan *microscope optic* terlihat adanya ferit, perlit dan bainit. Ferit terlihat berwarna terang, Perlit berwarna gelap dan sangat halus sedangkan bainit berbentuk menyerupai jarum-jarum sementit dengan orientasi acak yang berada dalam celah ferit dan merupakan fasa yang kurang stabil yang diperoleh dari austenit pada temperature yang lebih rendah dari temperaur transformasi ke perlit dan lebih tinggi dari temperature transformasi ke martensit.

Dari gambar diatas dapat dijelaskan bahwa baja AISI 1010 yang mendapat perlakuan *induction hardening* yang ditunjukkan oleh gambar 8, 9 dan 10 terbentuk bainit dan memiliki butiran *perlite* (warna hitam) lebih banyak dan lebih jelas (berwarna lebih hitam) dibandingkan dengan baja AISI 1010 yang menerima perlakuan *flame hardening*, yang ditunjukkan pada gambar 5, 6, 7. terbentuknya bainit dan Butiran *perlite* yang jumlahnya lebih banyak dan warnanya lebih hitam ini disebabkan oleh pemanasan pada *induction hardening* waktunya lebih lama dibandingkan dengan *flame hardening*. Karena pada perlakuan *induction hardening* menghasilkan bainit dan butiran *perlite* dengan jumlah yang lebih banyak dan warnanya lebih hitam maka hal ini menyebabkan kekerasan baja AISI 1010 dengan perlakuan *induction hardening* lebih tinggi dari perlakuan *flame hardening*.

3.3 Pengujian Kekerasan *Micro Vickers*

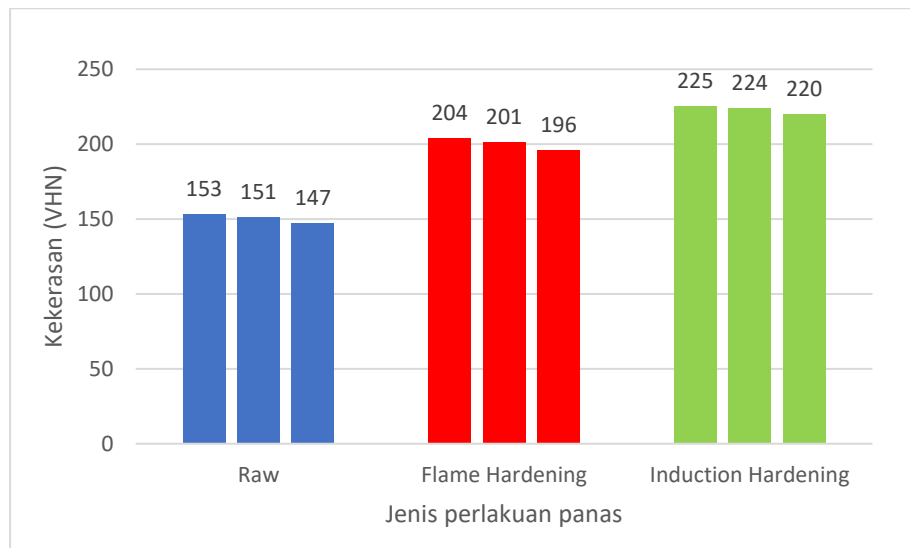
Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan dari Spesimen yang diuji pada beberapa bagian. Pengujian kekerasan dilakukan pada beberapa titik menggunakan indentor berbentuk piramida presisi dengan dasar persegi dan sudut puncak

136°. Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan pada material yang telah melalui proses *flame hardening* dan *induction hardening* untuk kemudian dibandingkan dan dilihat peningkatan kekerasannya terhadap Spesimen induk. Setelah dilakukan pengujian *Micro Vickers* dengan jumlah 3 titik setiap spesimen hasil pemanas dengan *induction hardening* dan pemanas *flame hardening*, maka diperoleh data seperti pada tabel 3.

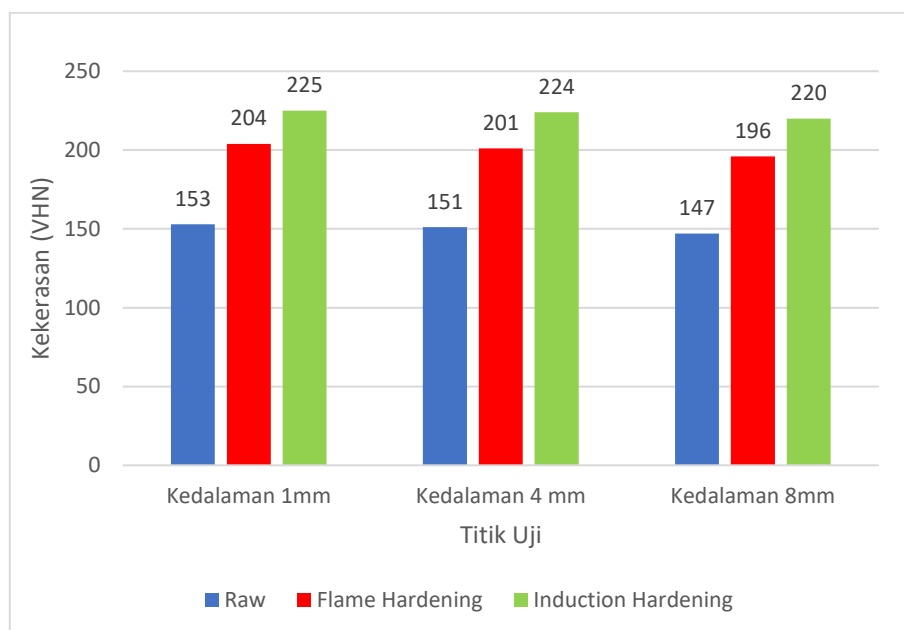
Tabel 3 Hasil pengujian kekerasan

NO	Variasi Spesimen	Titik uji	Kekerasan (VHN)	Rata-rata Kekerasan (VHN)
1	RAW	Kedalaman 1mm	153	150
		Kedalaman 4mm	151	
		Kedalaman 8mm	147	
2	<i>Flame Hardening</i>	Kedalaman 1mm	204	200,3
		Kedalaman 4mm	201	
		Kedalaman 8mm	196	
3	<i>InductionHardening</i>	Kedalaman 1mm	225	223
		Kedalaman 4mm	224	
		Kedalaman 8mm	220	

Pada tabel 3 dapat dilihat adanya peningkatan kekerassan setelah dilakukan *heat treatmen* hal itu menunjukkan bahwa peningkatan kekerasan karena berubahnya fasa setelah proses *heat treatment*. Seperti saat perlakuan *induction hardening* terjadi peningkatan jumlah perlit dan berwarna lebih gelap sekaligus terbentuknya bainit, bainit berbentuk menyerupai jarum-jarum sementit dengan orientasi acak yang berada dalam celah ferit dan merupakan fasa yang kurang stabil yang diperoleh dari austenit pada temperature yang lebih rendah dari temperaur transformasi ke perlit dan lebih tinggi dari temperature transformasi ke martensit. Perbandingan kekercsan antar spesimen dan kedalaman titik uji dapat dilih pada gambar 11 dan 12.



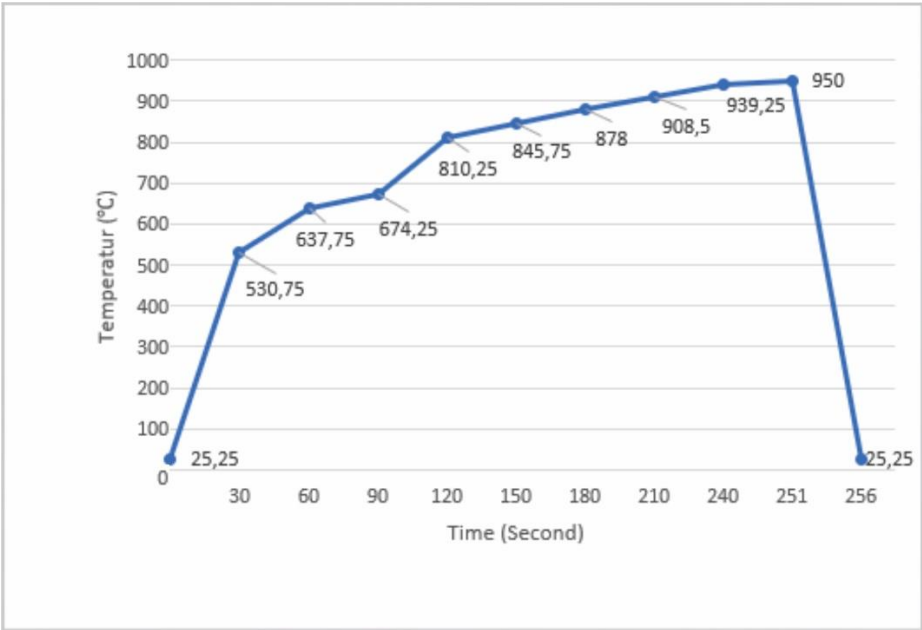
Gambar 11 Grafik peningkatan kekerasan setiap spesimen



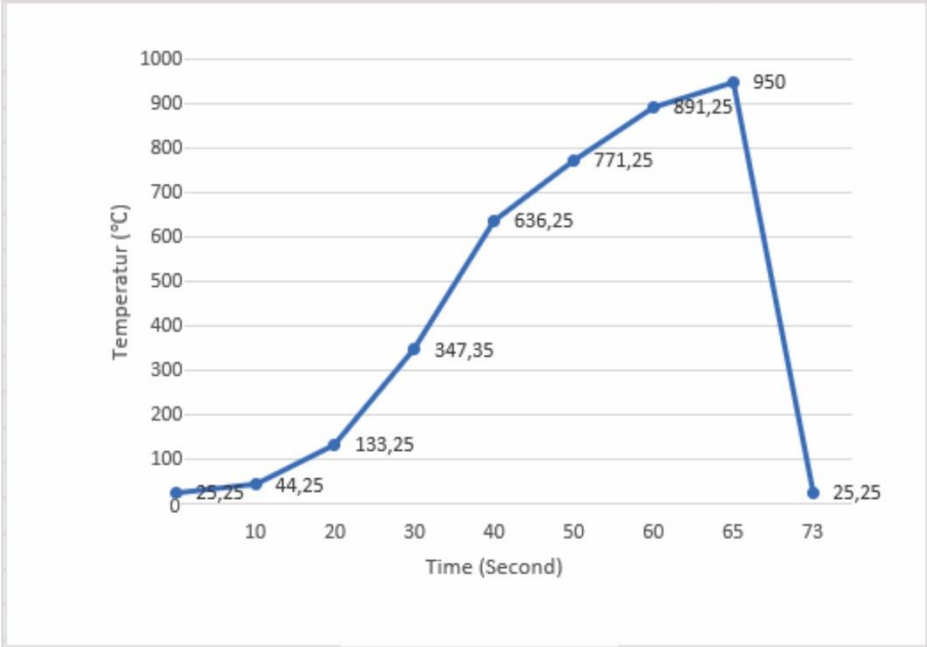
Gambar 12 Grafik peningkatan kekerasan sesuai kedalaman titik ujia

Dari data hasil pengujian kekerasan *Micro Vickers* didapatkan hasil bahwa baja AISI 1010 dengan perlakuan *induction hardening* memiliki nilai kekerasan rata-rata yang lebih tinggi yaitu sebesar 223 VHN dibandingkan dengan baja AISI 1010 yang mendapat perlakuan *flame hardening* dengan kekerasan rata-rata sebesar 200,3. Dapat dilihat dari gambar 13 dan 14 pada penelitian ini waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu 950°C pada spesimen dari proses *induction hardening* dan *flame hardening* berbeda. Untuk mencapai suhu 950°C pada spesimen, dibutuhkan waktu 4,11 menit apabila menggunakan *induction hardening*, dan jika menggunakan *flame hardening* membutuhkan waktu 1,05 menit, sehingga pada proses *induction hardening* spesimen mengalami pemanasan lebih lama meskipun suhu tertingginya sama yaitu 950°C. Hal ini

menyebabkan perlakuan *induction hardening* pada baja AISI 1010 memiliki kekerasan lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan *flame hardening*.



Gambar 13 Grafik waktu dan temperatur perlakuan *Induction hardening*



Gambar 14 Grafik waktu dan temperatur perlakuan *Flame hardening*

4. PENUTUP

4.1 KESIMPULAN

Bedasarkan penelitian yang sudah dilakukan tentang perbandingan *induction hardening* dengan *flame hardening* pada sifat baja AISI 1010 dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil pengujian metalografi menggunakan *Microscope Optic* pada spesimen baja AISI 1010 yang dilakukan proses *induction hardening* dan *flame hardening* dengan dipanaskan pada temperature sekitar 950°C dan dilakukan pendinginan cepat dengan menggunakan pendingin air aquades. Menunjukkan bahwa pada permukaan yang mendapat perlakuan *induction hardening* terbentuk bainit dan memiliki perlite lebih banyak dan lebih jelas dibandingkan dengan baja AISI 1010 yang menerima perlakuan *flame hardening*, hal tersebut disebabkan oleh pemanasan pada *induction hardening* waktunya lebih lama dibandingkan dengan *flame hardening*. Karena pada perlakuan *induction hardening* menghasilkan bainit dan perlite dengan jumlah yang lebih banyak dan warnanya lebih jelas maka hal ini menyebabkan kekerasan baja AISI 1010 dengan perlakuan *induction hardening* lebih tinggi dari perlakuan *flame hardening* dibandingkan dengan baja AISI 1010 yang menerima perlakuan *flame*.
2. Berdasarkan hasil pengujian kekerasan *Micro Vickers* dapat diketahui bahwa terjadi peningkatan kekerasan pada daerah permukaan yang terkena pengaruh *heat treatment* dan Baja AISI 1010 dengan perlakuan *induction hardening* memiliki kekerasan rata-rata lebih besar yaitu sebesar 223 VHN dibanding baja AISI 1010 yang diberikan perlakuan *flame hardening* dengan nilai kekerasan rata-rata 200,3 VHN

4.2 SARAN

Dalam penelitian selanjutnya, penulis mempunyai beberapa saran yang mungkin dapat digunakan untuk mengembangkan penelitian ini, antara lain:

1. Pemilihan material merupakan faktor yang sangat menentukan sekali dalam proses *heat treatment*, oleh karena itu diharapkan ada penelitian selanjutnya dengan variasi material yang berbeda.
2. Diharapkan ada penelitian selanjutnya dengan variasi *temperature* dan metode pendinginan untuk memperoleh hasil yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Amstead, B, H, Djaprie, & Sriati. (1995). *Teknologi Mekanik*. Jakarta: Erlangga.
- ASM International Handbook Committee, ASM Handbook Vol 1 - Propertise and Selection: Irons, steel, and High-Performance Alloy, 2001.
- Callister, W.D. Rethwisch. 2014. "Materials Science and Engineering: An Introduction (2nd Edition)." *Materials & Design* 12(1): 59.
- Djafrie, S. (1985). *Teknologi Mekanik Jilid 1 Terjemahan Manufacturing Proseses*. Jakarta: Erlangga.
- Folkhard, E. (1984). *Welding Metallurgy of Stainless Steel*. New York: Spring-Verling Wien.
- Haryadi, G. (2005). Pengaruh Suhu Tampring Terhadap kekerasan Struktur Mikro dan Kekuatan Tarik Pada Baja K-40. *Jurnal Rotasi UNDIP*, Vol 7.
- Iswanto, Edi Widodo, & Angga Kharisma Putra. (2020). Perbandingan Induction hardening dengan Flame hardeing pada sifat fisik baja ST 60. *Majalah Ilmiah Mekanik Volume 19 Nomor 2*, 90.
- J. M. Manulaitta, Nevada, A. Patty, & Alexander. (2011). Analisa Nilai Kekerasan Baja Karbon Rendah (S35C) dengan Pengaruh Waktu Penahanan (Holding Time) Melalui Proses Pengarbonan Padat (Pack Carburizing) dengan Pemanfaatan Cangkang Kerang Sebagai Katalisator. *Teknologi*.
- J. M. Manulaitta, Nevada, A. Patty, & Alexander. (2011). Analisa Nilai Kekerasan Baja Karbon Rendah (S35C) dengan Pengaruh Waktu Penahanan (Holding Time) Melalui Proses Pengarbonan Padat (Pack Carburizing) dengan Pemanfaatan Cangkang Kerang Sebagai Katalisator. *Teknologi*.
- Murtiono, & Arief. (2012). Pengaruh Quenching dan Tempering Terhadap Kekerasan dan Kekuatan Tarik Serta Struktur Mikto Baja Kaarbon Sedang Untuk Mata Pisau Pemanen Sawit. *Jurnal e-Dinamis*, 57-70.
- Nurkhozin. (2006). Pengaruh Manual Flame Hardening Pada Baja Tempa.
- Prasetyo. (2011). Scanning Elektron Microscope dan Optical Emission Spectroscopie.
- Reac Pratama, Romli, & Eka Satria M. (2021). Pengaruh Waktu dan Suhu Menggunakan Pemanas Induksi Terhadap Kekerasan Material Pahat Ukir Waktu. *Jurnal Teknologi Terapan*, 122-151.
- Smallman, R.E , & Bishop R. (2000). *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*. Jakarta: Erlangga.
- Suprpto, Tjipto Sujitno, & Mudjijana. (2005). Pengerasan Permukaan Baja ST 42 Dengan Teknik Nitridasi ION. 53.
- Surdia, Tata, and Shinroku Saito. 1999. Pengetahuan Bahan Teknik. 4th ed. Jakarta: PT.Pradnya Paramita.
- Susanto, T. D. (2007). Studi Pengerasan Permukaan Dengan Cara Pengerasan Induksi Pada Baja Paduan Rendah.

S.Talapatra, G. Kibria, A.M. N. Ahsan, and T. Bhowmick, "MIE12-043 Effect of Flame Hardening on High Carbon Steel Forging," pp. 1-4, 2013.

Tarsono, S. D. (2007). Studi Pengerasan Permukaan Dengan Cara Pengerasan Induksi Pada Baja Paduan Rendah.

Tata Surdia, & Shinroku Saito. (1999). *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.