

ANALISA PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN STRUKTUR MIKRO PADA BAJA KARBON RENDAH (ST41) DENGAN METODE *PACK CARBURIZING*

Eddy Gunawan

Teknik Mesin, Fakultas Teknik
Universitas Maarif Hasyim Latif, Sidoarjo, Indonesia
e-mail : eddy_gunawan@dosen.umaha.ac.id

Diterima: 2 Oktober 2017. Disetujui : 26 Nopember 2017. Dipublikasikan : 4 Desember 2017



©2017 –TESJ Fakultas Teknik Universitas Maarif Hasyim Latif. Ini adalah artikel dengan akses terbuka di bawah lisensi CC BY 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari variasi temperatur terhadap perubahan sifat mekanis pada proses pengarbonan padat baja karbon rendah. Waktu tahan yang digunakan selama proses pengarbonan adalah 30 menit dengan variasi temperatur masing-masing 650°C, 750°C dan 850°C. Dalam proses pengarbonan, sumber karbon adalah serbuk arang tempurung kelapa dan dicampur dengan 25% Ba CO₃ sebagai katalisnya. Pengerasan permukaan dilakukan dengan di quenching pada media air. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kekerasan dan pengamatann struktur mikro. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada ntemperatur 850°C memberikan kekerasan permukaan tertinggi (324 HV)

Kata kunci: baja karbon rendah, kekerasan, pengarbonan padat, struktur mikro, temperatur, waktu tahan

PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin pesat sangat berpengaruh terhadap perindustrian di dalam negeri, salah satunya adalah industri yang menghasilkan atau memproduksi elemen-elemen mesin yang sebagian besar menggunakan logam sebagai bahan bakunya. Setiap logam mempunyai karakteristik yang berbeda-beda, seperti sifat-sifat fisis, sifat mekanis dan sifat kimia, maka diperlukan suatu penanganan khusus agar setiap elemen-elemen logam tersebut dapat digunakan sesuai yang diinginkan.

Pada umumnya untuk memperoleh kekerasan baja dapat dilakukan dengan proses perlakuan panas (*heat treatment*) dan proses kimia (*chemical heat treatment*). Salah satu metode proses kimia yang dapat diterapkan untuk meningkatkan kekerasan bahan adalah melalui proses *carburizing*. Proses *carburizing* merupakan proses penambahan unsur karbon (C) ke dalam logam khususnya pada bagian permukaan bahan dimana unsur karbon ini didapat dari bahan-bahan yang mengandung karbon sehingga kekerasan logam dapat meningkat.

Perlakuan panas adalah suatu perlakuan (*treatment*) yang diterapkan pada logam agar diperoleh sifat-sifat yang diinginkan. Dengan cara pemanasan dan pendinginan dengan kecepatan

tertentu yang dilakukan terhadap logam dalam keadaan fase padat sebagai upaya untuk memperoleh sifat-sifat tertentu dari logam.

Salah satu cara adalah dengan menggunakan proses pengerasan atau *hardening*. Proses ini dilakukan pada temperatur tinggi yaitu pada temperatur austenisasi yang digunakan untuk melarutkan sementit dalam austenit yang kemudian didinginkan dengan cepat.

METODE PENELITIAN

Untuk dapat mengetahui hasil dari penelitian ini maka pada bab ini akan di bahas mengenai metode penelitian yakni mengenai proses pelaksanaan dan prosedur penelitian yang akan di lakukan dalam menguji benda uji, dimana pelaksanaannya di mulai dari persiapan benda uji sampai pengujian. Ada beberapa pengujian yang dilakukan antara lain meliputi uji kekerasan sebelum dan sesudah di carburizing dan pengujian struktur mikro sebelum dan sesudah di carburizing.

Adapun prosedur yang dilakukan tentang proses penelitian meliputi :

- persiapan bahan yang akan di uji
- pemotongan spesimen benda uji
- proses *pack carburizing*
- proses pendinginan

- proses penggosokan
- proses pemolesan
- proses etsa
- pengujian kekerasan dan struktur mikro
- pengambilan data

Persiapan bahan yang akan diuji

Spesimen uji yang digunakan adalah jenis St.41 dengan data pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kimia baja karbon rendah ST.41

Unsur	% komposisi kimia
Besi (Fe)	98,985
Karbon (C)	0,10
Mangan(Mn)	0,6
Silikon (Si)	0,25
Sulfur (S)	0,035
Phospor (P)	0,03

Pemotongan Spesimen benda uji

Untuk mendapatkan kondisi pengujian dan hasil terbaik, maka dilakukan persiapan-persiapan percobaan dan pengujian di laboratorium. Dibawah ini akan diuraikan mengenai persiapan bahan (specimen), diantaranya beberapa percobaan perlakuan panas, pengujian kekerasan, dan struktur mikro. Bahan yang digunakan dalam percobaan ini adalah material baja karbon rendah ST 41 berbentuk pejal dengan panjang 15 mm diameter 25,4 mm

Proses Pack Carburising

Oven dihidupkan, kemudian kotak sementasi dimasukkan dan temperatur diatur 650⁰ C. 750⁰ C dan 850⁰ C Proses pemanasan dilakukan sesuai dengan penahanan waktu (*holding time*) pemanasan yang telah ditentukan pada benda uji tersebut yaitu :

- Masukan spesimen 1 kedalam oven ,setel temperatur menjadi 650⁰ C. Untuk Spesimen Pertama bila sudah mencapai temperatur 650⁰ C tahan hingga 30 menit
- Masukan spesimen 2 kedalam oven ,setel temperatur menjadi 750⁰ C. Untuk Spesimen kedua bila sudah mencapai temperatur 750⁰ C tahan hingga 30 menit
- Masukan spesimen 3 kedalam oven ,setel temperatur menjadi 850⁰ C. Untuk Spesimen ketiga bila sudah mencapai temperatur 850⁰ C tahan hingga 30 menit

Proses Pendinginan (*Quenching*)

Pendinginan dilakukan setelah waktu penahanan temperatur tercapai dengan cara langsung dari media karburasi (*Dirrect Quenching*) selama 5 menit. Media pendinginan menggunakan Air.

Proses Penggosokan (*Grinding*)

Penggosokan benda uji pada bagian yang telah rata kemudian dilakukan secara bertahap. Penggosokan dilakukan dengan kertas gosok besi (ampas kertas) dengan dimulai dari grid yang paling kasar sampai yang paling halus yaitu : 120, 180, 240, 320, 360, 400, 600, 800, 1000, 1200. Proses penggosokan harus teratur sesuai dengan arah agar dicapai kehalusan yang baik.

Proses Pemolesan (*Polishing*)

Proses *polishing* dilakukan apabila proses penggosokan telah selesai. Spesimen dicuci dengan air dan alkohol yang selanjutnya dikeringkan dengan lap kering. Pada proses *polishing* ini spesimen digosok pada kain yang halus yang diletakkan pada piringan yang berputar, selama penggosokan kain ditaburi dengan polishing powder yaitu serbuk alumia (pasta alumia). Proses polishing ini selesai apabila bekas goresan - goresan akibat penggosokan telah hilang sehingga spesimen menjadi halus dan mengkilat, lalu spesimen dicuci dengan air dan alkohol kemudian dikeringkan.

Proses Etsa

Proses ini dilakukan dengan cara mencelupkan permukaan benda uji pada larutan kimia guna memperjelas penglihatan struktur mikro pada mikroskop dan waktu pencelupannya juga harus relatif singkat. Karena komposisi dan struktur permukaan heterogen maka kelarutan pada permukaan heterogen maka kelarutan pada permukaan spesimen menjadi tidak sama, daerah yang mudah melarutkan larutan kimia akan tampak lebih dalam sehingga akan tampak lebih gelap.

Larutan esta yang digunakan adalah nikel 2 %, yang terdiri dari 2 % HNO₃ dan 98 % alkohol. Pencelupan dilakukan kurang lebih 10 menit pada temperatur kamar.

Proses etsa selesai setelah benda uji diletakkan di bawah mikroskop, terlihat struktur mikro dengan jelas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari pengujian yang dilakukan terhadap baja karbon rendah, dengan adanya proses perlakuan panas maka didapat hasil yaitu berupa perubahan sifat mekanis dari benda uji.

Hasil Pengujian Kekerasan

Dalam pengujian ini pengambilan data kekerasan dilakukan pada :

- Penampang benda uji sebelum dilakukan hardening (perlakuan panas).

b. Pada Penampang benda uji setelah mengalami proses perlakuan panas dengan metode pack carburising.

Pengujian kekerasan pada permukaan spesimen dilakukan secara acak pada permukaan.

Sebelum dilakukan proses perlakuan panas benda uji dilakukan pengujian kekerasan terlebih dahulu dengan :

pengujian kekerasan : Rockwell

beban : 100-150 kg

penetrator : Intan (diamond)

Pengujian dilakukan terhadap salah satu benda uji dan kekerasan antara benda uji satu dengan lainnya sebelum pengujian dianggap sama.

Tabel 2. Data Hasil Pengujian Kekerasan Sebelum Proses Carburising

	No	Nilai Kekerasan (HRb) Beban 100 kg
Permukaan Benda Uji	1	55
	2	56
	3	57
	4	55
	5	54
Penampang Benda Uji	1	57
	2	55
	3	56
	4	54
	5	56

Tabel 3. Data hasil pengujian setelah proses carburising dengan temperatur 650°C

	No	Nilai Kekerasan (HRb) Beban 100 kg
Permukaan Benda Uji	1	61
	2	57
	3	58
	4	59
	5	60
Penampang Benda Uji	1	60
	2	58
	3	58
	4	61
	5	57

Tabel 4. Data hasil pengujian setelah proses carburising dengan temperatur 750°C

	No	Nilai Kekerasan (HRc) Beban 150 kg
Permukaan Benda Uji	1	12
	2	12
	3	11
	4	10
	5	11
Penampang Benda Uji	1	9
	2	12
	3	11
	4	12
	5	10

Tabel 5. Data hasil pengujian setelah proses carburising dengan temperatur 850°C

	No	Nilai Kekerasan (HRc) Beban 150 kg
Permukaan Benda Uji	1	34
	2	33
	3	31
	4	33
	5	32
Penampang Benda Uji	1	34
	2	31
	3	30
	4	33
	5	35

Setelah diketahui nilai HRb dan HRc maka nilai tersebut dikonversikan kedalam nilai Hardness Vickers (HV) untuk mempermudah pembuatan grafik perubahan kekerasan yang terjadi setelah terjadi proses laku panas (pack carburising) dengan variasi temperatur yang berbeda.

Data Kekerasan Hardnes Vickers (HV) Sebelum Proses Perlakuan Panas

Tabel 6. Data Hasil Konversi HRb Dengan Hardnes Vickers (HV) Sebelum Proses Laku Panas

	No	Nilai Kekerasan (HRb)	Nilai Kekerasan (HV)
Permukaan Benda Uji	1	55	98,2
	2	56	99,2
	3	57	100,1
	4	55	98,2
	5	54	97,1
Rata-rata		55,4	98,5
Penampang Benda uji	1	57	100,1
	2	55	98,2
	3	56	99,2
	4	54	97,1
	5	56	99,2
Rata-rata		55,6	98,75

Setelah proses perlakuan permukaan selesai, maka dilakukan pengujian kekerasan pada benda uji dengan menggunakan pengujian kekerasan yang sama. Data-data kekerasan benda uji setelah mengalami perlakuan panas adalah sebagai berikut :

Data Kekerasan Hardnes Vickers (HV) Setelah Proses Perlakuan Panas Dengan Temperatur 650°C

Tabel 7. Data Hasil Konversi HRb Dengan Hardnes Vickers (HV) Temperatur 650°C

	No	Nilai Kekerasan (HRb)	Nilai Kekerasan (HV)
Permukaan Benda Uji	1	61	108
	2	57	101,3
	3	58	103
	4	59	104,7
	5	60	106,3
Rata-rata		59	104,66
Penampang Benda uji	1	60	106,3
	2	58	103
	3	58	103
	4	61	108
	5	57	101,3
Rata-rata		58,8	104,32

Data Kekerasan Hardnes Vickers (HV) Setelah Proses Perlakuan Panas Dengan Temperatur 750°C

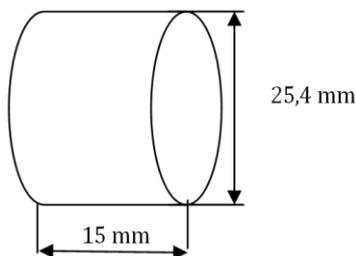
Tabel 8. Data Hasil Konversi HRb Dengan Hardnes Vickers (HV) Temperatur 750°C

	No	Nilai Kekerasan (HRb)	Nilai Kekerasan (HV)
Permukaan Benda Uji	1	12	204
	2	12	204
	3	11	200
	4	10	196
	5	11	200
Rata-rata		11,2	200,8
Penampang Benda uji	1	11	200
	2	12	204
	3	11	200
	4	12	204
	5	10	196
Rata-rata		11,2	200,8

Data Kekerasan Hardnes Vickers (HV) Setelah Proses Perlakuan Panas Dengan Temperatur 850°C

Tabel 9. Data Hasil Konversi HRb Dengan Hardnes Vickers (HV) Temperatur 850°C

	No	Nilai Kekerasan (HRb)	Nilai Kekerasan (HV)
Permukaan Benda Uji	1	34	337
	2	33	328
	3	31	310,5
	4	33	328
	5	32	318,5
Rata-rata		32,6	324,5
Penampang Benda uji	1	34	337
	2	31	310,5
	3	30	302,5
	4	33	324
	5	35	345,5
Rata-rata		32,6	324



Gambar 1. Ukuran specimen



Gambar 2. Proses pack carburising

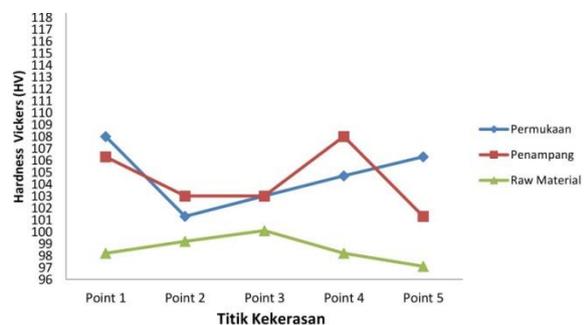


Gambar 3. Proses quenching

Grafik Hasil Uji Kekerasan

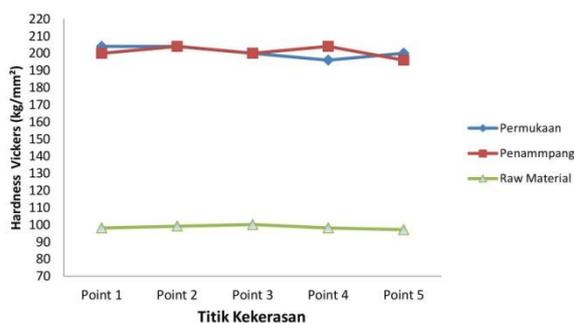
Dari data-data tersebut di atas dapat diketahui bahwa pendinginan benda uji satu dengan yang lainnya berbeda kekerasannya (dalam waktu tahan yang sama). Dan Temperatur yang lebih tinggi maka kekerasannya paling tinggi. Untuk lebih jelasnya maka data-data tersebut disajikan dalam bentuk grafik.

Grafik perbandingan antara *Raw Material dan Carburising* dengan temperatur 650°C



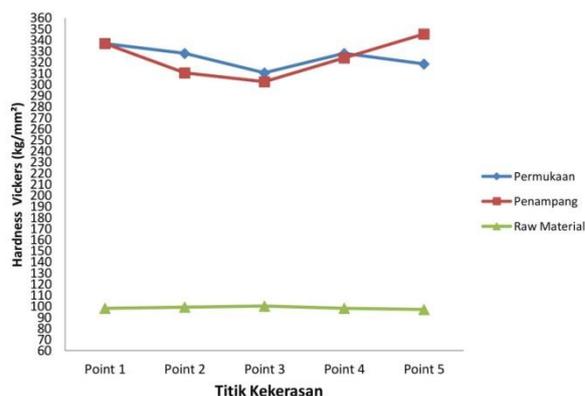
Gambar 4. Grafik Perbandingan Antara *Raw Material dan carburizing* Temperatur 650°C

Grafik perbandingan antara *Raw Material dan Carburising* dengan temperatur 750°C



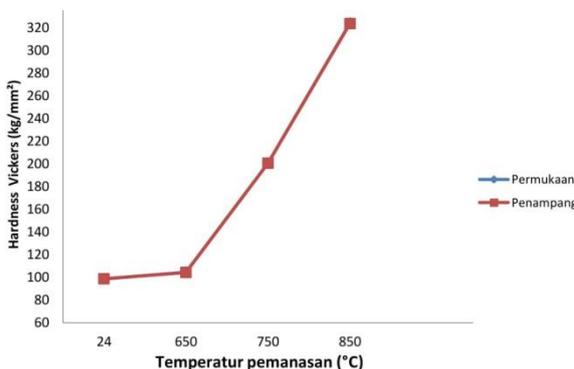
Gambar 5. Grafik Perbandingan Antara Raw Material dan carburizing Temperatur 750°C

Grafik perbandingan antara Raw Material dan Carburizing dengan temperatur 850°C



Gambar 6. Grafik Perbandingan Antara Raw Material dan carburizing Temperatur 850°C

Grafik perbandingan kekerasan antara Raw Material, Carburizing temperatur 650°C, 750°C dan 850°C.



Gambar 7. Grafik Perbandingan Antara Raw Material dan carburizing Temperatur 650°C, 750°C dan 850°C

Analisa Hasil Uji Kekerasan

Analisa Hasil Uji Kekerasan temperatur 650 °C dengan holding time 30 menit. Dari hasil uji kekerasan pada temperatur 650 °C, dengan waktu tahan 30 menit serta media pendingin yaitu air dapat diambil analisa sebagai berikut :

- Kekerasan pada temperatur pemanasan 650 °C dengan waktu tahan 30 menit terjadi perubahan kekerasan pada saat didinginkan dengan media pendingin air, yaitu dari kekerasan rata-rata raw

material 98.75 kg/mm² setelah dilaku panas dengan tempetur 650 °C waktu tahan 30 menit dan pendingin air menjadi 104,35 kg/mm².

- Perubahan yang terjadi tidak terlalu signifikan yaitu hanya sekitar 5,65 kg/mm². karena temperatur minimum proses karburising adalah 800 °C

Analisa Hasil Uji Kekerasan temperatur 750 °C dengan holding time 30 menit. Dari hasil uji kekerasan pada temperatur 750 °C, dengan waktu tahan 30 menit serta media pendingin yaitu air dapat diambil analisa sebagai berikut :

- Kekerasan pada temperatur pemanasan 750 °C dengan waktu tahan 30 menit terjadi perubahan kekerasan pada saat didinginkan dengan media pendingin air, yaitu dari kekerasan rata-rata raw material 98.75 kg/mm² setelah dilaku panas dengan tempetur 750 °C waktu tahan 30 menit dan pendingin air rata-rata menjadi 200 kg/mm².
- Terlihat perbedaan kekerasan yang sangat signifikan pada temperatur 750 °C yaitu sebesar 101,25 kg/mm², perubahan kekerasan ini terjadi karena beberapa factor diantaranya pendingina cepat dengan menggunakan media air ,sehingga martensit yang terbentuk pada permukaan semakin tinggi

Analisa Hasil Uji Kekerasan temperatur 850 °C dengan holding time 30 menit

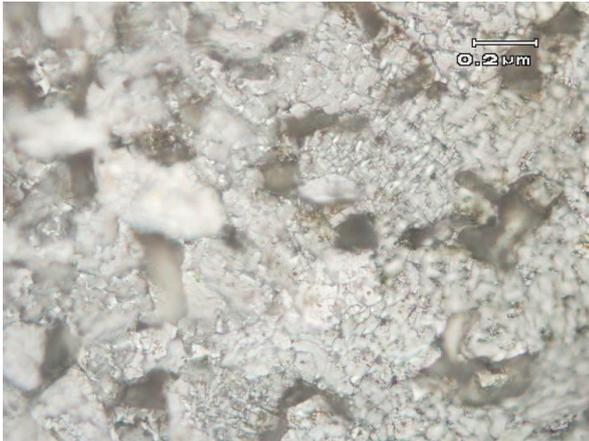
Dari hasil uji kekerasan pada temperatur 850 °C, dengan waktu tahan 30 menit serta media pendingin yaitu air dapat diambil analisa sebagai berikut :

- Kekerasan pada temperatur pemanasan 850 °C dengan waktu tahan 30 menit terjadi perubahan kekerasan pada saat didinginkan dengan media pendingin air, yaitu dari kekerasan rata-rata raw material 98.75 kg/mm² setelah dilaku panas dengan tempetur 850 °C waktu tahan 30 menit dan pendingin air rata-rata menjadi 324 kg/mm².
- Terlihat perbedaan kekerasan yang sangat signifikan pada temperatur 850 °C yaitu sebesar 225,25 kg/mm²,

Pengamatan Struktur Mikro.

Pengamatan ini bertujuan untuk mengetahui struktur mikro yang ada pada material dasar, dan material yang mengalami proses perlakuan panas pada temperatur 650 °C, 750 °C dan 850 °C dengan waktu penahanan 30 menit yang terdiri dari material dengan menggunakan media pendingin Air.

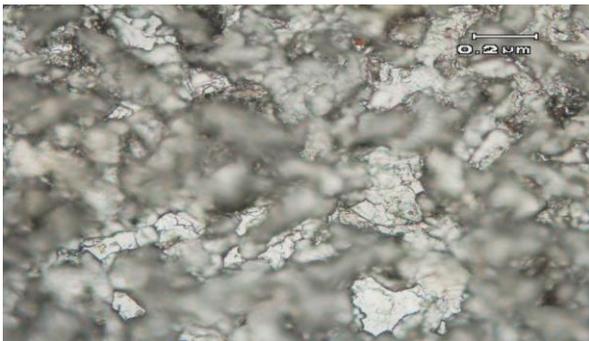
Adapun Gambar 8 hasil dari foto struktur mikro pada Raw material Baja ST41 (perbesaran foto 500x)



Gambar 8. Foto struktur mikro raw material baja ST41 dengan perbesaran 500x

Keterangan : Dari hasil pengamatan struktur mikro spesimen sebelum proses pengarbonan padat menunjukkan struktur *ferrite* (warna putih) lebih banyak dibandingkan dengan struktur *pearlite* nya (warna hitam) pada batas butir, akan tetapi setelah proses pengarbonan padat justru struktur *pearlite* nya yang lebih banyak daripada *ferrite* nya. Gambar struktur mikro dari raw material dapat dilihat pada gambar 8, sedangkan gambar struktur mikro setelah material mendapatkan proses pengarbonan padat dapat dilihat pada gambar 10

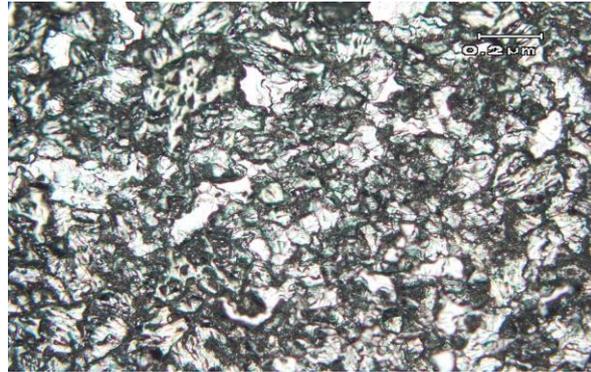
Foto Struktur mikro pada material baja ST41 setelah proses laku panas temperatur 650 °C dan media pendingin air (perbesaran foto 500x)



Gambar 9. Foto struktur mikro material baja ST41 setelah proses laku panas dengan temperatur 650 °C perbesaran 500x

Keterangan : Untuk baja karbon ST41 termasuk baja karbon rendah, karena unsur karbonnya 0.1%. setelah proses laku panas dengan temperatur 650 °C, waktu penahanan 30 menit dan pendinginan Air terjadi perubahan struktur pada baja ST41, tetapi perubahan itu tidak begitu signifikan masih banyak bagian yang berwarna putih (*ferrite*) dibanding dengan bagian yang berwarna hitam. (*pearlite*)

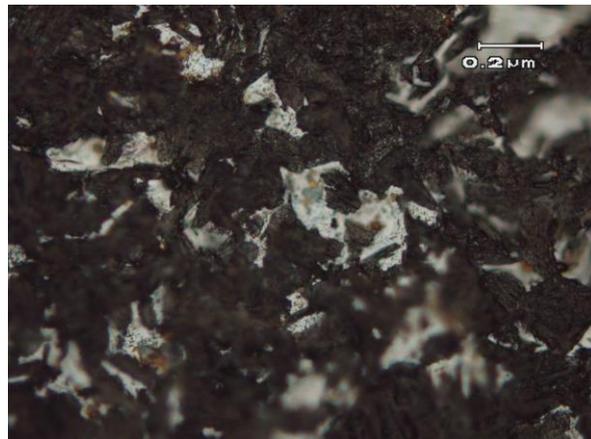
Foto Struktur Mikro pada material Baja ST41 setelah proses laku panas temperatur 750 °C , waktu penahanan dan media pendingin air (perbesaran foto 500x)



Gambar 10. Foto Struktur Mikro Material Baja ST41 setelah proses laku panas dengan temperatur 750 °C perbesaran 500x

Keterangan : Untuk baja karbon ST41 termasuk baja karbon rendah, karena unsure karbonnya 0.1%, didalam baja karbon rendah, setelah proses laku panas karburising (penambahan unsur karbon) dengan temperatur 750 °C, waktu penahanan 30 menit dan pendinginan Air terjadi perubahan struktur pada baja ST41, terlihat bagian hitam lebih banyak dibandingkan bagian yang putih .

Foto Struktur Mikro pada material Baja ST41 setelah proses laku panas temperatur 850 °C dan media pendingin air (perbesaran foto 500x)



Gambar 11. Foto Struktur Mikro Material Baja ST41 setelah proses laku panas dengan dengan temperatur 850 °C perbesaran 500x

Keterangan : Hasil pengamatan struktur mikro lapisan karburasi menunjukkan peningkatan kandungan karbon seiring dengan bertambahnya suhu pengarbonan. Pada pengarbonan temperatur 850°C waktu penahanan 30 menit struktur yang terbentuk adalah *ferrite* dan *austenite* , fasa austenit dengan struktur face center cubic yang memiliki ruang yang cukup untuk disisipi oleh atom-atom karbon. Fasa austenit setelah mengalami pendinginan air akan terbentuk struktur *martensite*, sedangkan ketebalan lapisan karburasi semakin besar seiring dengan meningkatnya temperatur pengarbonan. Semakin tinggi temperatur perlakuan maka atom karbon semakin banyak yang terperangkap pada bagian

permukaan. Hal ini sangat jelas terlihat pada permukaan spesimen yang mengalami proses quenching, dimana pada umumnya atom karbon yang terperangkap pada bagian permukaan spesimen mengakibatkan terbentuknya martensit dan terdapat austenit sisa sehingga lapisan menjadi keras seperti pada Gambar 11 Pada Gambar tersebut terlihat semakin tinggi temperatur pengarbonan, matriks *martensite* semakin rapat sehingga nilai kekerasan lapisan akan semakin tinggi. “

PENUTUP

Material pada temperatur pemanasan 650 °C, dengan waktu penahanan 30 menit dan media pendingin air dapat dilihat pada gambar grafik 1, yang menunjukkan terjadinya perubahan kekerasan, tetapi perubahan kekerasan tersebut tidak terlalu signifikan dibandingkan dengan kekerasan raw material, karena temperatur minimum proses carburizing adalah 800 °C. Perubahan nilai kekerasan rata-rata yaitu 5,65 kg/mm².

Material pada temperatur pemanasan 750°C, dengan waktu penahanan 30 menit dan media pendingin air dapat dilihat pada gambar grafik 2 , yang menunjukan terjadinya perubahan kekerasan, Perubahan nilai kekerasan rata-rata yaitu sebesar 101,25 kg/mm².

Material pada temperatur pemanasan 850°C, dengan waktu penahanan 30 menit dan media pendingin air dapat dilihat pada gambar grafik 3 , yang menunjukan terjadinya perubahan kekerasan yang sangat signifikan, perubahan ini terjadi karena benda uji sudah melewati batas temperatur minimal proses pengerasan permukaan dengan metode carburizing yaitu 800°C Perubahan nilai kekerasan rata-rata yaitu sebesar 225,25 kg/mm².

Struktur mikro yang terjadi pada material yang telah diproses perlakuan panas dapat dilihat perbedaannya dari setiap material, bentuk butiran struktur mikronya berbeda-beda antara material satu dengan yang lainnya, hal ini disebabkan karena beda temperatur pemanasan yang digunakan,

Sebagai bahan pembanding sebaiknya dilakukan pengujian menggunakan variasi media karburasi. Pengujian dapat menggunakan ketebalan spesimen yang bervariasi dan waktu penahanan yang lebih variatif

DAFTAR PUSTAKA

- Alamsyah, A. (1993). *Pengembangan Teknik Perlakuan Panas pada Baja yang berwawasan Lingkungan*. Mojokerto: PT. Tira Austenit Graha Bakti Praja.
- Bandung, P. M. *Pengetahuan Bahan*. Bandung: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- Dieter, G. E., & Bacon, D. J. (1986). *Mechanical metallurgy* (Vol. 3). New York: McGraw-hill.
- Gunawan, E. (2017). Pengaruh Temperatur pada Proses Perlakuan Panas Baja Tahan Karat Martensitik AISI 431 terhadap Laju Korosi dan Struktur Mikro. *Teknika: Engineering and Sains Journal*, 1(1), 55-66.
- Iqbal, M. (2008). Pengaruh Temperatur Terhadap Sifat Mekanis Pada Proses Pengkarbonan Padat Baja Karbon Rendah. *SMARTek*, 6 (2).
- Kirono, S., & Azhari, A. (2011). Pengaruh Tempering Pada Baja St 37 Yang Mengalami Karburasi Dengan Bahan Padat Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro. *JURNAL MESIN TEKNOLOGI*, 5 (1).
- Krauss, G. (1990). *Steels: heat treatment and processing principles*. ASM International.
- Perdana, D. (2017). Pengaruh Variasi Temperatur pada Proses Perlakuan Panas Baja AISI 304 Terhadap Laju Korosi. *Teknika: Engineering and Sains Journal*, 1(1), 67-72.
- Sriwardani, N. (2008). *Process Heat Treatment*. Surakarta : Percetakan UNS.
- Sudarsono. (2003). Pengaruh Temperatur dan Waktu Tahan Karburasi Padat Terhadap Kekerasan Permukaan Baja AISI-SAE 1522. *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi*. Yogyakarta: Institut Sains & Teknologi AKPRIND.
- Suhartono, H. A. (1994). Pengaruh Karburasi Terhadap Ketahanan Lelah Baja Karbon Medium dengan Takik V. *majallah BPPT*, LIX.
- Surdia, T. (1988). *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Pradya Paramita.
- Syamsuir. (2003). *Pengaruh Karburasi Terhadap kekerasan baja DINI5CrNi6 (MS.7210)*. Yogyakarta: UGM.
- Tyagi, R., Nath, S. K., & Ray, S. (2001). Dry sliding friction and wear in plain carbon dual phase steel. *Metallurgical and Materials Transactions*, 32A (2), 359-367.
- van Vlack, L. H., & Djaprie, S. (1992). *Ilmu dan teknologi Bahan*. Jakarta: Erlangga.

Halaman ini sengaja dikosongkan