



## Pengaruh Temperatur Dan Waktu Penahanan Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Pada Baja Karbon Rendah

Rhaka Qudzsy Wening Praja<sup>1</sup>, Iman Saefulloh<sup>2</sup>, Agus Pramono<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup>Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa  
[rhakaqudzsy@gmail.com](mailto:rhakaqudzsy@gmail.com)

### Abstract

Basically the characteristic of steel products that is widely used in the construction process is structural steel. In order to compete with structural steel foreign-made, a standards compliance is a minimum requirement that must be done. To meet the JIS G 3302 grade SGC 400 standard, the results of the cold rolled process and continued with Cyclic Spheroidizing on 0.11% carbon steel, resulted in an elongation value that met the standards, but the yield strength and tensile strength were below standard. So that a heat treatment process substitution is needed so that 0.11% carbon steel can meet the JIS G 3302 SGC 400 standards. The aim of this research is to determine the effect of temperature and holding time with the cyclic treatment method on the microstructure and mechanical properties of 0.11 steel % carbon. Also in this research , 0.11% carbon steel was subjected to a heat treatment process with a 3-cyclic method at temperatures of 575, 625, and 675°C, then cooled in air blower then given a holding time of 4, 6, 8 minutes. Then 0.11% carbon steel was subjected to tensile test, Vickers hardness test and scanning electron microscope as well as energy dispersive spectroscopy-Mapping.

**Keywords:** Carbon steel 0.11%, JIS G 3302 grade SGC 400, *Spheroidizing (Cyclic Treatment)*

### Abstrak

Pada dasarnya produk baja banyak digunakan dalam proses pembangunan adalah baja struktural. Agar dapat bersaing dengan baja struktur buatan luar negeri, pemenuhan standar merupakan syarat minimal yang harus dilakukan. Untuk memenuhi standar JIS G 3302 grade SGC 400, hasil proses canai dingin dan dilanjutkan dengan *Cyclic Spheroidizing* pada baja 0,11% karbon, menghasilkan nilai elongasi yang memenuhi standar, namun *yield strength* dan *tensile strength* yang di bawah standar. Sehingga diperlukan substitusi proses perlakuan panas agar baja 0,11% karbon dapat memenuhi standar JIS G 3302 grade SGC 400. Pada penelitian ini, bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur dan waktu penahanan dengan metode cyclic treatment terhadap struktur mikro dan sifat mekanik dari baja 0,11% karbon. Pada penelitian ini, baja 0,11% karbon dilakukan proses perlakuan panas dengan metode 3 siklus pada temperatur 575, 625 dan 675°C, lalu didinginkan pada udara blower kemudian diberikan waktu penahanan selama 4, 6, 8 menit. Kemudian baja 0,11% karbon dilakukan uji tarik, uji kekerasan *Vickers* dan *scanning electron microscope* serta *energy dispersive spectroscopy –Mapping*.

**Kata Kunci:** Baja 0.11% karbon, JIS G 3302 grade SGC 400, *Spheroidizing (Cyclic Treatment)*

## 1. Pendahuluan

Pada perkembangan zaman sekarang, logam besi dan baja paling banyak dipakai sebagai bahan industri. Besi dan baja banyak digunakan dikarenakan logam besi dan baja merupakan sumber daya alam yang masih cukup banyak dijumpai. Baja telah digunakan dalam berbagai aplikasi karena fasilitas untuk mendapatkan mereka dan juga untuk sifat berbeda yang diperoleh dengan proses perlakuan panas, termasuk biaya yang rendah, dan dengan mempertimbangkan bahan baku dan produksi baja di seluruh dunia sekitar 6.109 ton per tahun. Baja adalah paduan Fe-C (kandungan carbon maksimum sekitar 2%) yang dapat mengandung elemen paduan lainnya, sesuai dengan aplikasinya. Bahkan variasi rendah dalam komposisi tersebut dapat menyebabkan perbedaan besar dalam sifat mekanik, karena struktur akhir dapat berubah sesuai dengan pengolahan manufaktur dan juga siklus perlakuan panas yang diterapkan. Pada aplikasi industri pembentukan lembaran baja mencari bahan dengan potensi deformasi plastis dan kekuatan tinggi. Tantangan ini tidak mudah dicapai, karena biasanya kenaikan kekuatan baja selalu disertai dengan penurunan elongasi [1].

Baja karbon adalah paduan besi karbon dimana unsur karbon sangat menentukan sifat-sifatnya, sedangkan unsur-unsur paduan lainnya yang biasa terkandung di dalamnya terjadi karena proses pembuatannya. Sifat baja karbon biasa ditentukan oleh persentase karbon dan mikrostrukturnya. Baja karbon rendah dapat diklasifikasikan berdasarkan jumlah kandungan karbonnya, yaitu Baja karbon rendah yang mengandung 0,04% - 0,10% C sendiri biasanya digunakan untuk dijadikan baja-baja plat atau strip, Karakteristik utama baja karbon adalah mudah untuk ditempa dan mudah diolah menggunakan mesin. Baja karbon rendah yang mengandung 0,15% - 0,30% C digunakan untuk bahan-bahan manufaktur karena sifatnya yang mampu tempa dan dapat dibentuk karena sifat keuletannya yang tinggi aplikasinya untuk pembuatan kontruksi jembatan, struktur bangunan, pipa, dan dijadikan baja kontruksi [2].

Setiap material atau bahan memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Setiap bahan memiliki sifat yang berbeda-beda mulai dari sifat fisis, sifat mekanis dan sifat kimiawi. Sifat mekanis material salah satunya adalah kekerasan. Pengujian sifat mekanis material dapat dilakukan dengan banyak cara, salah satunya adalah *heat treatment*. Proses perlakuan panas meliputi pemanasan baja pada suhu tertentu, dipertahankan pada waktu tertentu dan didinginkan pada media tertentu pula.

Perlakuan panas mempunyai tujuan untuk meningkatkan keuletan, menghilangkan tegangan internal, menghaluskan butir kristal, meningkatkan kekerasan, tegangan tarik logam dan sejenisnya. Tujuan tersebut akan tercapai jika memperhatikan faktor yang mempengaruhinya, seperti suhu pemanasan dan media pendingin yang digunakan [3].

Masalah yang sering terjadi dalam penggunaan baja karbon rendah sebagai bahan dasar konstruksi adalah *lifetime* yang singkat karena permasalahan *yield strength* dan *tensile strength* yang dibawah standar dan *cold formability* yang rendah dikarenakan elongasi yang tidak mencukupi standar sehingga bentuknya tidak akurat, seperti yang telah terjadi pada baja karbon rendah *cold rolled coil* SGC 400 di PT. Krakatau Steel yang sudah dilakukan perlakuan panas dengan metode *annealing* namun sifat mekaniknya masih dibawah standar. Maka dari itu dibutuhkan suatu perlakuan panas dengan metode lain untuk memperbaiki sifat mekanik seperti *tensile strength*, *yield point*, elongasi dan kekerasan. Salah satu metode perlakuan panas yang digunakan adalah perlakuan panas dengan metode *cyclic spheroidizing annealing* pada baja karbon rendah untuk mendapatkan sifat keuletan sekaligus kekuatan yang baik karena bentuk struktur mikro perlit yang globular dapat meningkatkan keuletan namun dapat mempertahankan kekuatannya [4].

Bahwa dalam penelitian ini akan dilakukan untuk meningkatkan standar properties dari *low carbon steel* menjadi *medium steel* dan variasi parameter perlakuan panas pada baja karbon rendah JIS G3302 grade SGC 400 untuk dilakukan proses perlakuan panas dengan metode *cyclic spheroidizing annealing*. Tujuan penelitian ini adalah untuk meningkatkan pengaruh variasi waktu tahan, dan jumlah *cycle spheroidizing* yang paling optimal yang dapat menghasilkan baja karbon JIS G3302 grade SGC 400 dengan sifat mekanik dan struktur mikro sesuai standar, yaitu untuk *tensile strength*  $\geq 400$  Mpa, *yield point*  $\geq 295$  Mpa, dan elongasi  $\geq 18\%$ .

## 2. Metodologi Penelitian

### 2.1. Baja Karbon

Baja Karbon adalah material logam yang terbentuk dari unsur utama besi dan unsur kedua yang berpengaruh pada sifat-sifatnya adalah karbon, sedangkan unsur, yang lain berpengaruh menurut persentasenya. Baja karbon memiliki klasifikasi

yang mengacu berdasarkan tingkatan kandungan karbon itu terhadap berat besi pada baja tersebut [5].

## 2.2. Perlakuan panas (*heat treatment*)

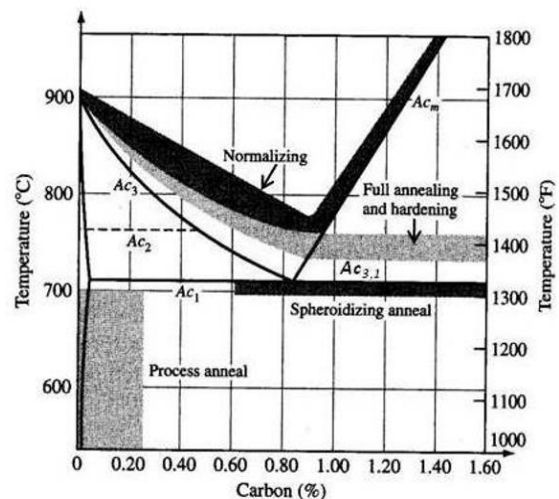
Perlakuan panas atau *heat treatment* adalah salah satu proses untuk mengubah struktur logam dengan jalan memanaskan spesimen pada furnace pada temperatur rekristalisasi selama periode waktu tertentu kemudian didinginkan pada media pendingin udara, air, air garam, oli dan solar yang masing-masing mempunyai kerapatan pendinginan yang berbeda-beda. Perlakuan panas merupakan proses kombinasi antara proses pemanasan atau pendinginan dari suatu logam atau paduannya dalam keadaan. Akibat proses perlakuan panas ini maka akan terjadi perubahan mikrostruktur pada logam padat untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu [6]. Perlakuan panas mempunyai tujuan untuk meningkatkan keuletan, kehilangan tegangan internal, menghaluskan ukuran butir Kristal dan meningkatkan kekerasan atau tegangan tarik logam. Beberapa factor yang dapat mempengaruhi perlakuan panas yaitu suhu pemanasan, waktu yang diperlukan pada suhu pemanasan, laju pendinginan dan lingkungan atmosfer [7].

Proses perlakuan panas terdiri dari beberapa tahapan, dimulai dari proses pemanasan bahan hingga pada suhu tertentu dan selanjutnya didinginkan juga dengan cara tertentu. Tujuan dari perlakuan panas adalah mendapatkan sifat-sifat mekanik yang lebih baik dan sesuai dengan yang diinginkan seperti meningkatkan kekuatan dan kekerasan, mengurangi tegangan, melunakkan, mengembalikan pada kondisi normal akibat pengaruh pada pengerjaan sebelumnya, dan menghaluskan butir Kristal yang akan berpengaruh pada pengerjaan sebelumnya, dan menghaluskan butir Kristal yang akan berpengaruh pada keuletan suatu bahan [8].

## 2.3. Spheroidizing Annealing

*Soft annealing* atau *Spheroidizing annealing* adalah proses annealing pada temperatur sedikit dibawah atau sedikit diatas temperatur  $A_1$ , yang selanjutnya dilakukan pendinginan lambat. Struktur mikro baja sebelum dilakukan spheroidizing annealing ferit-perlit (*hypoeutectoid steel*), perlit (*eutectoid steel*), atau sementit-perlit (*hypereutectoid steel*). Tujuan dari spheroidizing annealing ini adalah untuk menghasilkan struktur lunak dengan mengubah semua konstituen yang keras seperti perlit, bainit, dan martensit (terutama pada baja dengan kandungan karbonnya di atas 0,5% dan pada tool steel) menjadi struktur

*spheroidized carbide* pada matriks ferit. Struktur lunak seperti ini dibutuhkan untuk *machinability* yang baik dan untuk semua proses *cold working* termasuk deformasi plastis meningkatkan *cold formability*. Sedangkan proses *cold working* kekuatan dan kekerasan material harus serendah mungkin, untuk *machinability* yang baik *mediums strength* atau nilai *hardness* diperlukan [9]. Laju *spheroidization* dipengaruhi oleh struktur awal. Semakin halus perlit, semakin cepat proses spheroidisasi tercapai. Struktur martensit sangat baik untuk dilakukan proses *spheroidization*. Perlakuan ini biasanya diterapkan pada baja karbon tinggi (0,60% karbon dan lebih) [10].



Gambar 1. Kisaran Suhu yang Disarankan Untuk Perlakuan Panas Baja Karbon Biasa (Digges, 1960)

## 2.4. Cyclic Spheroidizing Annealing

Spheroidizing annealing konvensional pada baja membutuhkan waktu yang sangat lama untuk menyelesaikan prosesnya. Upaya awal *spheroidizing* yang melibatkan waktu tahan yang lama (72-100 jam) tepat di bawah suhu kritis yang lebih rendah ( $A_1$ ) diterapkan pada baja karbon sehingga dapat memecah sementit *lamellar* menjadi sementit *spheroid* sementit. *Spheroidizing annealing* memberikan keuletan yang lebih baik, meskipun mengorbankan sebagian kekuatan, dengan struktur mikro yang terdiri dari *spheroid* sementit dalam matriks  $\alpha$ -*ferrite*. Namun, pengurangan kekuatan dan kinetika yang lamban adalah dua masalah utama yang terkait dengan perlakuan panas dengan *spheroidizing annealing* konvensional. Untuk mempercepat proses *spheroidizing*, maka dilakukanlah suatu metode dengan metode *cyclic spheroidizing annealing* [11].

*Cyclic heat treatment* yang melibatkan *thermal cycling* berulang di sekitar suhu kritis telah terbukti menyebabkan banyak perubahan mikrostruktur baru, sehingga memberikan sifat mekanik yang

ditingkatkan dalam baja. Metode *cyclic* ini dapat mempercepat proses *spheroidizing annealing*. Dalam proses perlakuan panas ini, setiap siklus terdiri dari waktu tahan dengan durasi yang pendek (6 menit) di daerah *fully austenitic* (menghasilkan *incomplete austenitization*) diikuti dengan pendinginan ke suhu kamar dengan media udara bertekanan 6°C/s. Semakin meningkatnya jumlah siklus, volume ferit meningkat, sedangkan perlit menurun. Sementara itu, proporsi sementit *spheroidized* meningkat, sehingga kekuatannya pun meningkat [1].

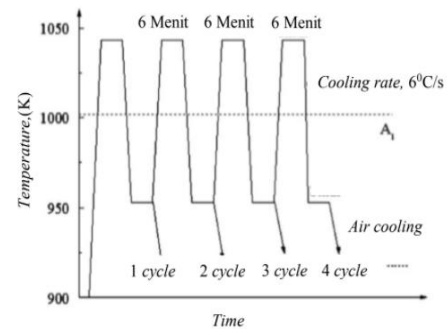
Melalui *cyclic spheroidizing annealing*, proses *spheroidizing* akan lebih cepat tanpa deformasi dan menghasilkan sementit yang berbentuk *globular* setelah beberapa kali dilakukan *cyclic*. Pengaruh pembalikan temperatur *non-equilibrium* selama proses *cyclic spheroidizing annealing* dijelaskan sebagai faktor utama penyebab eksitasi atom-atom, dengan demikian mengurangi energi aktivasi sehingga meningkatkan proses kinetika yang menyebabkan proses perlakuan panas *cyclic spheroidizing annealing* ini menjadi semakin cepat bila dibandingkan dengan *spheroidizing annealing* konvensional [11].

Sementit *lamellar* akan pecah menjadi partikel sementit *spherical*. Kekuatan pendorong untuk pembentukan partikel *spherical* adalah pengurangan energi permukaan yang disebabkan oleh permukaan rasio luas permukaan antarmuka dengan satuan volume antara ferit dan sementit. Total luas permukaan antarmuka dapat diminimalkan dengan menumbuhkan atau menggabungkan partikel-partikel sementit kecil selama proses *spheroidizing*, bahwa ketika jumlah *cyclic heat treatment* meningkat, maka fraksi sementit *spheroid* akan meningkat [12].

Sebagian besar dari semua aktivitas *spheroidizing* dilakukan untuk meningkatkan *cold formability* baja. Struktur mikro sementit yang *spheroid* didinginkan untuk *cold forming* karena menurunkan *flow stress* material. *Flow stress* ditentukan oleh proporsi dan distribusi ferit dan karbida. Kekuatan ferit tergantung pada ukuran butir dan laju pendinginan. Karbida sebagai *lamellar* dalam perlit atau *spheroid* sangat mempengaruhi sifat mampu bentuk baja. Persen *spheroidization*, jumlah *spheroid* di area tertentu, dan ukuran *spheroid* semuanya memainkan peran utama dalam sifat mekanik. Secara umum, lebih kecil dan lebih tersebar *spheroid* secara merata dalam matriks menghasilkan sifat mekanik yang lebih baik [13].

Baja Karbon Rendah JIS G3302 SGC 400 dilakukan proses *cyclic spheroidizing* dengan penahanan temperatur pada 625°C dengan waktu tahan tiap siklusnya selama 6 menit dengan

pendinginan media udara bertekanan seperti yang dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Kurva Cyclic Heat Treatment [12]

## 2.5. Media Holding

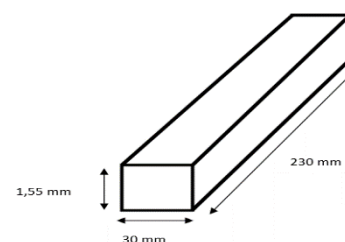
Holding time dilakukan untuk mendapatkan kekerasan maksimum dari suatu bahan pada proses hardening dengan menahan pada temperature pengerasan untuk memperoleh pemanasan yang homogeny sehingga struktur austenitnya homogen atau terjadi kelarutan karbida ke dalam austenite, difusi karbon dan unsur paduannya. Pedoman untuk menentukan holding time dari baja karbon rendah yang mengandung karbida yang mudah larut, diperlukan holding time yang singkat antara 5-15 menit setelah mencapai temperature pemanasannya dianggap sudah memadai [6].

## 2.6. Variabel Penelitian

1. Variabel bebas pada penelitian ini yaitu:
  - a) Temperatur yang digunakan adalah 575°C, 625°C, dan 675°C
  - b) Menggunakan waktu penahanan 4 menit, 6 menit, dan 8 menit
2. Variabel terikat pada penelitian ini adalah Baja Karbon Rendah JIS G3302 SGC 400, 0,11% C

## 2.7. Preparasi Sampel

Proses preparasi sampel baja canai dingin karbon rendah JIS G3302 SGC 400 Sampel dipotong dengan ukuran Panjang 230 mm x 30 mm dan ketebalan 1,5 mm, dapat dilihat pada Gambar 3.



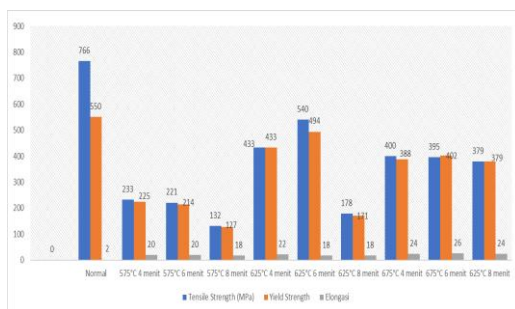
Gambar 3. Gambar contoh baja canai dingin

## 2.8. Analisa Data

Pekerjaan diawali dengan proses spheroidizing sampel dipanaskan dalam muffle furnace pada temperatur 575°C, 625°C, 675°C dengan waktu penahanan awal 30 menit lalu dilakukan metode siklik yaitu pengulangan selama proses pemanasan yang bertujuan untuk menyingkat waktu. Pemanasan dengan 3 kali siklik selama 4 menit, 6 menit, dan 8 menit. Pada saat siklik sampel dilakukan pendinginan dengan metode pendinginan Blower 2800 rpm. Kemudian didinginkan sampai temperatur kamar. Selanjutnya, dilakukan pengujian Tarik, Kekerasan, SEM (Scanning Electron Microscope), dan EDS (Energy Dispersive X-RAY).

## 3. Hasil dan Pembahasan

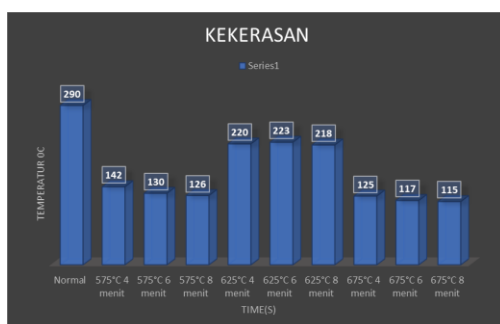
### 3.1. Hasil Uji Tarik



Gambar 4. Grafik Hasil Uji Tarik

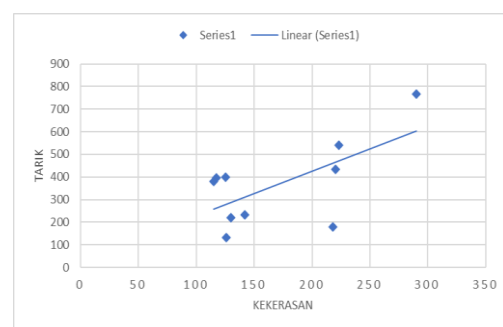
Dari Grafik 4 tersebut, diketahui bahwa nilai kuat tarik pada temperatur 625°C pada 6 menit adalah yang tertinggi yang di dengan nilai tensile strength, yield strength, dan elongasi sebesar 540, 494, dan 18. Namun mengalami penurunan pada temperatur, 625°C pada 8 menit dikarenakan semakin lama waktu penahanan akan mengakibatkan penurunan pada baja karbon di setiap temperaturnya [12].

### 3.2. Hasil Uji Kekerasan



Gambar 5. Grafik Hasil Uji Kekerasan

Dari data grafik pada Gambar dapat 5 dilihat bahwa nilai kekerasan yang paling tinggi pada temperatur 575°C 4 menit sebesar 142 HV, dan data yang paling rendah didapat pada temperatur 575°C 8 menit sebesar 126 HV, kemudian pada temperatur yang paling tinggi pada 625°C 6 menit sebesar 223 HV, dan yang paling rendah didapat pada temperatur 625°C 8 menit sebesar 218 HV, lalu pada temperatur yang paling tinggi pada 675°C 4 menit sebesar 125 HV, dan yang paling rendah di dapat pada temperatur 675°C 8 menit sebesar 115 HV. Itu dikarenakan pada waktu *holding* yang semakin lama dan faktor pendinginan akan membuat nilai kekerasan menjadi turun di setiap temperaturnya [14].

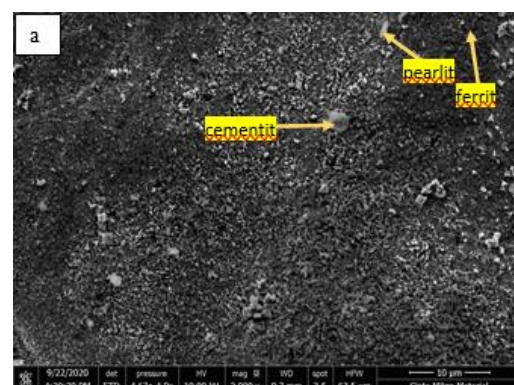


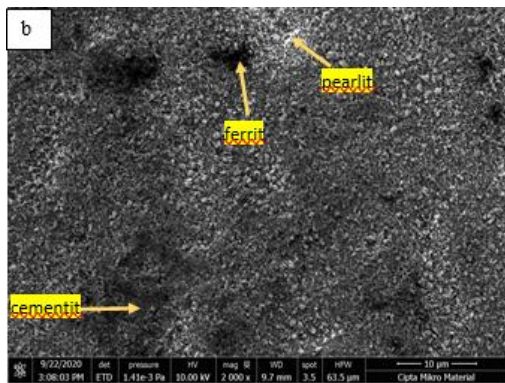
Gambar 6. Grafik Hubungan Kuat uji tarik dan Hubungan Kekerasan

Dari hasil grafik hubungan uji tarik dan hubungan kekerasan dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi *tensile strength*, *yield strength*, dan elongasi semakin tinggi juga nilai kekerasannya.

### 3.3. Hasil Pengujian SEM

#### Morfologi Mikrostruktur Pada Pemanasan 575°C

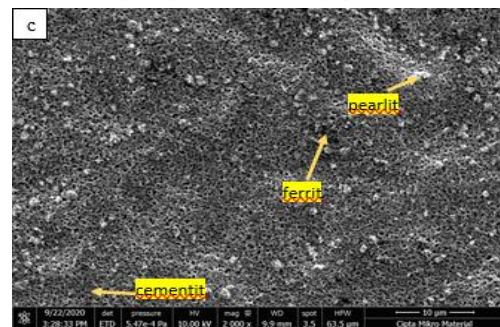
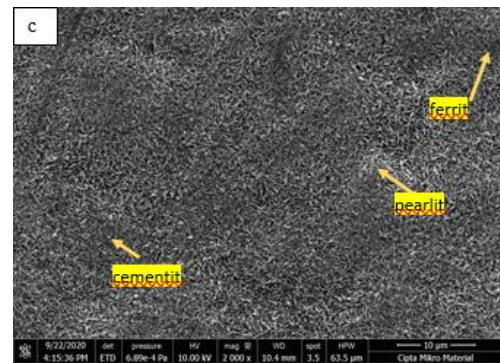
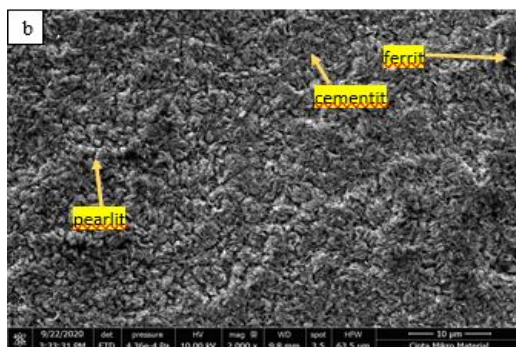
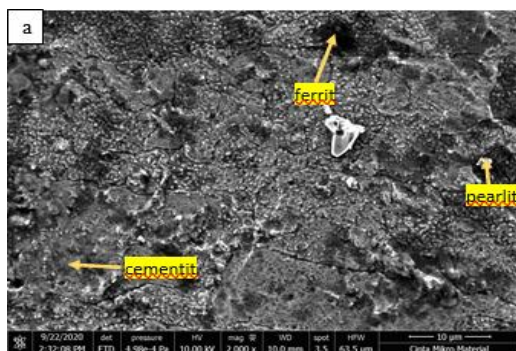




Gambar 7. Hasil Uji SEM Perbesaran 2000x pada temperatur 575°C dengan waktu penahanan 4 menit, 6 menit, 8 menit.

Pada Gambar 7 memperlihatkan mikrostruktur baja karbon rendah setelah perlakuan panas pada temperatur 575°C kemudian diberi waktu penahanan awal 30 menit, lalu didinginkan menggunakan media blower, lalu diberikan waktu penahanan 4, 6, 8 menit. Dapat ditarik analogi bahwa jika temperatur naik, kemungkinan ferrit yang terbentuk pada batas butir jauh lebih besar terjadi pada waktu penahanan 4 menit, pada waktu penahanan 4 menit dengan proses pendinginan blower, ferrit yang terbentuk pada batas butir tampaknya berkembang baik pada batas butir maupun dalam butir.

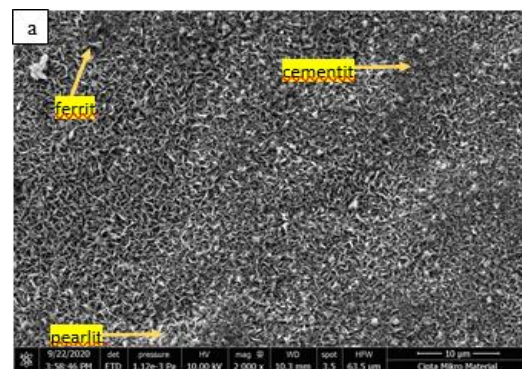
### Morfologi Mikrostruktur Pada Pemanasan 625°C

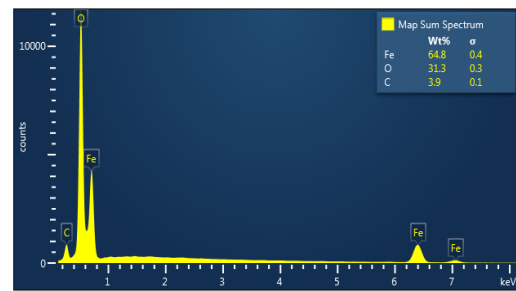
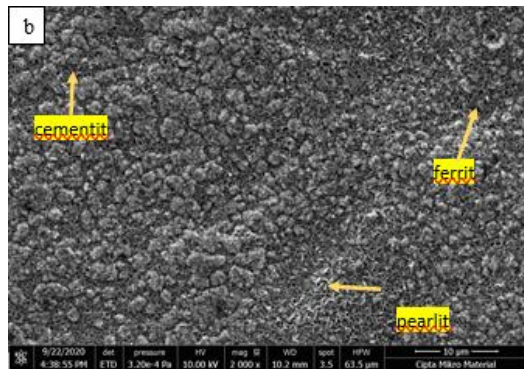


Gambar 8. Hasil Uji SEM Perbesaran 2000x pada temperatur 625°C dengan waktu penahanan 4 menit, 6 menit, 8 menit.

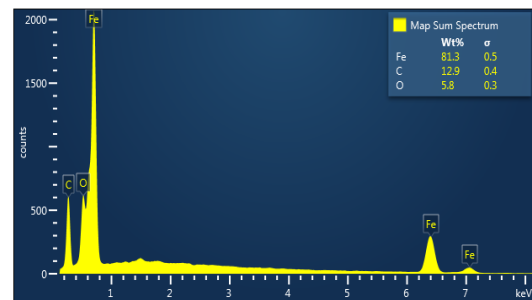
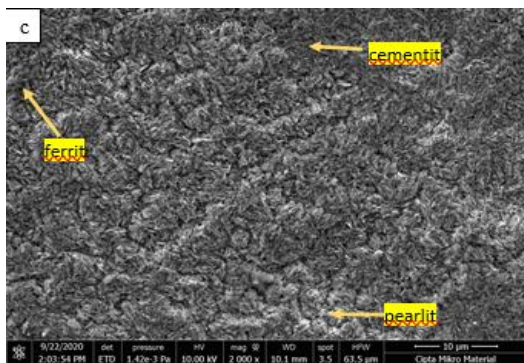
Pada gambar 8. dijelaskan bahwa pada rentang temperatur 575°C- 625°C tersebut terbentuk struktur mikro fasa pearlit. Pearlit adalah campuran khusus terdiri dari dua fasa dan terbentuk cementit dan ferrit yang memiliki transformasi fasa stabil yaitu ferrit dan karbida. Kedua fasa baru  $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$  bernukleasi pada batas butir dan tumbuh secara serentak dalam butir. Karbon memisah meninggalkan ferrit dan berkonsentrasi dalam karbida. Pada temperatur 625 waktu penahanan 6 menit pearlit terlihat terbentuk secara sempurna.

### Morfologi Mikrostruktur Pada Pemanasan 675°C





Gambar 11. Hasil uji EDS setelah pemanasan 625°C



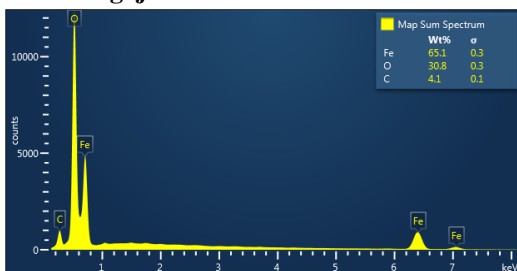
Gambar 12. Hasil uji EDS setelah pemanasan 675°C

Gambar 9. Hasil Uji SEM Perbesaran 2000x pada temperatur 675°C dengan waktu penahanan 4 menit, 6 menit, 8 menit.

Gambar 9 memperlihatkan mikrostruktur baja karbon rendah JIS SGC 400 dipanaskan temperatur 675°C dengan waktu penahanan 4, 6, dan 8 menit kemudian diberikan pendinginan blower, terbentuk fasa pearlit, ferrit, dan cementit yang terbentuk sempurna. Seiring dengan peningkatan temperatur dan waktu tahan formasi pembentukan pearlit akan semakin halus.

Berdasarkan literatur dari A. Saha, 2012, laju pendinginan semakin cepat pada setelah perlakuan panas spheroidizing dengan metode cyclic, lamel sementit berubah menjadi bentuk spheroid globular yang membesar ukurannya karena pengaruh tingginya temperatur yang terletak pada perlit dapat dilihat pada gambar 4.6 yang merupakan hasil dari pengujian struktur mikro SEM dengan perbesaran 2000x.

### Hasil Pengujian EDS



Gambar 10. Hasil uji EDS setelah pemanasan 575°C

Berdasarkan hasil perhitungan EDS pada Gambar 10, persentasi unsur terbesar adalah Fe sebanyak 81,3 %, karena unsur utama dari baja merupakan FE, kemudian O dengan persentasi sebanyak 31,3 % selanjutnya C dengan persentasi sebanyak 5,3 %, (karena unsur pendukung dari baja ini adalah FE dan C), Sementit adalah senyawa keras, getas dan berkekuatan rendah. Karbida besi mempunyai komposisi kimia menjadi  $Fe_3C$ .

### 4 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian yang sudah dilakukan didapat nilai yang bervariasi. Untuk nilai pengujian uji tarik yang mendekati standar adalah temperatur 625°C 6 menit, tensile strength 540, yield strength 494, dan elongasi 18%. Nilai uji kekerasan terbesar didapat pada 625°C 6 menit dengan 223 Mpa. Didapat temperatur terbaik adalah pada sampel 625°C 6 menit.

Dari pengujian yang sudah dilakukan pada baja karbon rendah JIS 3302 SGC 400 bahwa semakin lama waktu penahanan dan pendinginan akan dapat mengalami penurunan kekerasan pada baja.

Berdasarkan Uji SEM EDS didapat pada gambar yang lebih banyak berbentuk spheroid adalah 625°C 6 menit dengan ukuran butir 1.1987. Dan pada uji EDS yang mempunyai banyak kandungan pada temperature 675°C 4 menit pada karbon 5,8 dan besi 81,3.

## 5 Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Bapak Iman Saefulloh, ST., M. Eng. Sebagai pembimbing 1 dan Dr. Tech Agus Pramono, ST., MT. Sebagai pembimbing 2, dan untuk Ibu Dr. Dra. Hj. Rina Lusiani, MT. Sebagai Penguji 1 dan Ibu Shofiatul Ula, M.Eng, sebagai Penguji 2 yang terlibat dalam penelitian ini sehingga Alhamdulillah artikel bisa terselesaikan dengan baik dan tak lupa saya ucapkan terima kasih juga kepada dosen Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan pihak institusi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa atas fasilitas yang telah diberikan.

- [11] Fu, B. G, Li, Z. Q, Zhao, X. B. Shen, Z, Li, G. L, Liu, J. H, 2016, Formation mechanism of spheroidal carbide in ultra-low carbon ductile cast iron, China foundry, 13(5), 346-351
- [12] Japanese Industrial Standard, 2010, Ferrous materials and metallurgy II, *Japanese Standard Association*, Tokyo
- [13] Japanese Industrial Standard, Z 2201, 1998, *Test pieces for tensile test for metallic materials*, Japanese Standard Association, Tokyo
- [14] Japanese Industrial Standard, Z 2244, 2003, *Vickers hardness test- test method*, Japanese Standard Association, Tokyo

## Daftar Rujukan

- [1] Soma Maji, Amir Raza Subhani, Bijay Kumar Show, and Joydeep Maity, 2017, Effect of cooling rate on microstructure and mechanical properties of eutectoid steel under cyclic heat treatment, *Journal of materials engineering and performance*.
- [2] Shakti Mishra, Alok Mishra, Bijay Kumar Show, Joydeep Maity, 2017, Simultaneous enhancement of ductility and strength in AISI 1080 steel through a typical cyclic heat treatment, West Bengal, India
- [3] Atanu Saha, Dipak Kumar Mondal, Koushik Biswas, Joydeep Maity, 2012, Microstructural modifications and changes in mechanical properties during cyclic heat treatment of 0,16% carbon steel, West Bengal, India
- [4] A. Karmakar, M. Ghosh, D. Chakrabarti, 2013, Cold-rolling and inter-critical annealing of low-carbon steel: Effect of initial microstructure and heating-rate, Jharkhand, India
- [5] Atanu Saha, Dipak Kumar Mondal, Joydeep Maity, 2010, An alternate approach to accelerated spheroidization in steel by cyclic annealing, *Journal of materials engineering and performance*
- [6] Akbari, E. Taheri, K. K. Taheri, A. K, 2018, The effect of prestrain temperature on kinetics of static recrystallization, microstructure evolution, and mechanical properties of low carbon steel, *journal of materials engineering and performance*, 27(5), 2049-2059.
- [7] ASTM International, 2013, ASTM E112-13, *Standard test methods for determining average grain size*.
- [8] Thelning, Karl-Erik, 2013, *Steel and its heat treatment*, Butterworth-heinemann
- [9] Totten. George E, 2006, *Steel heat treatment handbook*, CRC press
- [10] Dieter. G.E, 1997, *ASM handbook, Materials selection and design volume 20*, ASM international