

PENGARUH ANNEALING TERHADAP SIFAT MEKANIS DAERAH HAZ PENGELASAN GMAW BAJA SM490 NORMALIZING DAN TANPA NORMALIZING PADA BOGIE KERETA API DI PT.INKA MADIUN

Beni Prabawanto

S1 Teknik Mesin Manufaktur, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

E-mail : beniprabawanto@mhs.unesa.ac.id

Akhmad Hafizh Ainur Rasyid

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

E-mail: akhmadrasyid@unesa.ac.id

Abstrak

Bogie merupakan salah satu komponen penting dalam kereta api, material yang dipakai dalam proses manufaktur pada bogie di PT.INKA Madiun adalah baja SM490. Masalah yang sering terjadi dalam proses manufaktur bogie adalah adanya tegangan sisa pada daerah HAZ yang menyebabkan sifat mekanis tidak sesuai dengan aplikasi bogie, Proses perlakuan panas Normalizing dan Annealing diharapkan mampu memperbaiki sifat mekanis pada daerah HAZ, Metode penelitian yang digunakan adalah perlakuan panas Normalizing annealing dan Non normalizing annealing dengan memvariasikan temperature pemanasan 600°C, 700°C dan 800°C pada daerah HAZ. Hasil dari penelitian ini adalah diperoleh prosentase ferrite dan pearlite yang berbeda pada masing-masing temperature, serta bantuk struktur ferrite dan pearlite yang berbeda pada masing-masing temperature. Hasil dari pengujian kekerasan rockwell pada daerah HAZ nilai kekerasan tertinggi didapat pada Non normalizing annealing pada temperature 600°C dengan nilai kekerasan 30,5 HRC dan nilai kekerasan terendah didapat pada Normalizing annealing pada temperature 800°C dengan nilai 27,9 HRC. Hasil pengujian impact pada daerah HAZ nilai impact tertinggi didapat pada temperature 700°C Normalizing annealing dengan nilai impact 33,96 J/mm² sedangkan nilai impact terendah pada temperature 600°C Non normalizing annealing dengan nilai impact 22,73 J/mm².

Kata kunci : Normalizing, Annealing, Temperature, HAZ.

Abstract

Bogie is one of the important components of railway system, which uses SM490 produced by PT.INKA Madiun as the manufacturing material. The most common problem in bogie manufacturing process is the existence of stress in HAZ area which reduces bogie mechanical properties not suitable for the application. Normalizing heat process and Annealing is expected to improve the mechanical properties in HAZ area. This study used the combination of Normalizing and Annealing process with Non Normalizing process was conducted as the comparison the temperature variations used in the research are 600°C, 700°C and 800°C. The result of this research is obtained different of ferrite and pearlite structure in all samples test, the difference obtained is the different structure of ferrite and pearlite structures at each temperature. The result of hardness rockwell test at HAZ area of highest hardness value is obtained at Non Normalizing Annealing at 600°C temperature with hardness value 30,5 HRC and lowest hardness value obtained at Normalizing annealing at temperature 800°C with value 27,9 HRC. Result of impact test on HAZ area highest impact value obtained at temperature 700°C Normalizing Annealing showed the impact value at 33,96 J / mm² and lowest impact value at temperature 600°C Non Normalizing Annealing showed impact value 22,73 J / mm².

Keywords : Normalizing, Annealing, Temperature, HAZ.

PENDAHULUAN

Baja merupakan material yang sudah lama digunakan dalam berbagai konstruksi mesin di bidang industri. Pemilihan logam seperti baja karbon banyak digunakan sebagai material dalam pembuatan komponen mesin seperti pasak, roda gigi, poros, bogie kereta api dan elemen lainnya. Hal itu tidak lepas dari sifat baja yang kuat, keras, tahan aus, serta ulet dan mudah di dapat di dunia industri. Namun disisi lain dalam segi penggunaan pada bogie kereta api yang sering mendapat pembebanan,

maka diperlukan material yang memiliki sifat mekanis yang baik.

Dalam era kemajuan teknologi yang sangat pesat seperti saat ini, setiap perusahaan yang bergerak didalam bidang manufaktur di tuntut untuk bekerja lebih efektif dan efisien didalam penggunaan dan pemakaian jenis material yang berhubungan dengan proses manufaktur. Salah satunya adalah dapur annealing yang ada pada PT.INKA Madiun, oleh sebab itu untuk mengetahui pengaruh proses annealing di perlukan pembelajaran dan

pengetahuan terhadap sifat mekanik karena sebagai langkah awal penelitian kedepannya dengan skala yang lebih luas dan besar.

Baja SM490 merupakan baja karbon rendah yang menjadi salah satu bahan yang digunakan dalam konstruksi kereta api di PT.INKA. Baja SM490 sebagian besar digunakan didalam proses produksi kereta api terutama pada bagian komponen bogie kereta api karena memiliki sifat mekanis yang baik. Material baja Material baja SM490 selain memiliki sifat keuletan yang baik, juga memiliki sifat mampu las yang baik salah satunya dengan proses pengelasan GMAW.

Proses perakitan di PT. INKA sebagian besar menggunakan proses pengelasan, pada proses pengelasan ada beberapa faktor yang menentukan keberhasilan dalam pengelasan, dimana perubahan logam yang disambung diharapkan mengalami perubahan sekecil-kecilnya sehingga hasil dari pengelasan dan mutu las tersebut dapat dijamin, mutu dari proses pengelasan yang baik adalah dimana tidak adanya cacat dalam bentuk apapun dari hasil proses pengelasan tersebut, Dalam hal ini proses pengelasan perlu mendapatkan penelitian lebih dalam lagi.

Dalam proses pengelasan pada *bogie* kereta api di PT. INKA sering kali dijumpai berbagai masalah, masalah yang terjadi pada proses pengelasan menimbulkan adanya tegangan sisa pada daerah *heat affected zone* (haz), untuk mengurangi tegangan sisa yang timbul akibat proses pengelasan maka di perlukan proses perlakuan panas untuk mendapatkan kembali atau merecoveri sifat-sifat fisik pada material yang berubah pada saat proses pengelasan yang bertujuan untuk mendapatkan sifat-sifat mekanis yang sesuai dengan aplikasinya.

Perlakuan panas dalam hal ini *annealing* dilakukan untuk mengurangi tegangan sisa akibat pengelasan, pada saat proses perakitan tegangan sisa yang terjadi pada proses pengelasan dan memiliki nilai paling tinggi terletak pada daerah *Heat affected zone* (musaikan, 1997), Oleh karena itu pemakaian jenis material SM490, metode pengelasan dan proses perlakuan panas yang akan digunakan harus dipilih dengan tepat.

Perubahan dan pembentukan sifat-sifat dalam baja tergantung pada kandungan yang ada di dalamnya, unsur-unsur penyusunya seperti kandungan Karbon, metode perlakuan panas, metode pendinginan, serta bentuk dan ketebalan bahan. Peningkatan sifat-sifat mekanis pada baja melalui proses perlakuan panas bertujuan untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan aplikasinya. Pada penelitian ini proses perlakuan panas juga di gunakan untuk melihat perubahan struktur mikro dan makro pada daerah *heat affected zone* (haz) hasil dari proses pengelasan baja SM490 yang sudah di *normalizing* dan tanpa *normalizing*.

Mengacu pada uraian di atas, penulis akan mengkaji bagaimana perbandingan sifat mekanis pada daerah *heat affected zone* (haz) hasil pengelasan baja SM490 yang sudah di *normalizing* dan tanpa *normalizing* dengan proses pengelasan GMAW semi otomatis pada bogie kereta api kemudian di lakukan perlakuan panas pada daerah *heat affected zone* (haz) dengan menggunakan

metode *annealing*, langkah selanjutnya di lakukan pengujian untuk melihat sifat mekanis pada daerah *heat affected zone*.

Pengujian pada penelitian ini digunakan untuk mengetahui perubahan struktur mikro dan makro dan perbandingan nilai ketangguhan, kekerasan pada daerah *heat affected zone* (haz) baja SM490 yang sudah di *normalizing* dan tanpa *normalizing* dengan proses pengelasan GMAW semi otomatis pada *bogie* kereta api setelah dilakukan proses perlakuan panas. Proses *annealing* diharapkan bisa mendapatkan parameter yang tepat dan sesuai sebagai tambahan literatur dan pembelajaran untuk perusahaan, sehingga diharapkan bisa menjadi masukan dalam proses fabrikasi di dalam perusahaan untuk proyek ke depannya.

METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian

Dalam penelitian ini penulis menggunakan jenis penelitian eksperimen yang bertujuan untuk mengetahui perbedaan struktur mikro dan makro melalui uji *metallography*, nilai kekerasan dan ketangguhan daerah HAZ pengelasan GMAW baja SM490 *normalizing* dan tanpa *normalizing*.

Tempat dan Waktu Penelitian

• Tempat penelitian

Penelitian ini dilakukan ditiga tempat. Untuk proses pengelasan dilakukan di PT.INKA Madiun. Proses *normalizing* dan *annealing* serta uji kekerasan dilakukan di laboratorium pengujian bahan Teknik Mesin Universitas Negeri Surabaya sedangkan untuk uji *metallography* dan uji *impact* dilakukan di laboratorium uji bahan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.

• Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 3 bulan, mulai bulan Februari sampai dengan bulan April 2018.

Rancangan penelitian

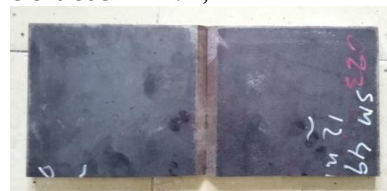
• Proses *Normalizing*

Proses *normalizing* dilakukan sebelum proses pengelasan dengan *temperature* 820°C.

• Proses pengelasan

Proses pengelasan dilakukan menggunakan mesin las GMAW dengan parameter pengelasan :

Jenis sambungan	: Butt joint
Ampere	: root pas = 175, filler = 250 kepping = 250
Voltase	: 24-25
Gas pelindung	: CO ₂ (18%) Argon (82%)
Jenis elektrode	: ER 70 S-6
Diameter elektrode	: 1,2 mm



Gambar 1. Spesimen pengelasan

• Variasi Temperatur *Annealing*

Spesimen yang sudah dipotong sesuai dengan standart pengujian selanjutnya dilakukan proses *annealing* dengan variasi *temperature* 600°C, 700°C dan 800°C. Jumlah spesimen uji tiga spesimen per variasi *temperature*.

• Uji *Metallography*

Pengujian struktur mikro menggunakan standar pengujian *ASTM E 3* dengan pembesaran 400X sedangkan untuk foto makro menggunakan kamera nikon, langkah-langkah pengujian:

- Pemotongan spesimen
- Penggrindaan
- Polishing
- Etsa
- Pengamatan dengan mikroskop

• Uji Kekerasan *Rockwell*

Pengujian kekerasan mengacu dengan standar pengujian kekerasan *rockwell* dengan total pembebanan 150 kgf, langkah-langkah pengujian :

- Persiapan spesimen uji
- Pasang indenter pada mesin lalu nyalakan mesin
- Letakkan spesimen uji pada mesin
- Tentukan titik penetrasi dan seting beban
- Tekan tombol start untuk memulai pengujian

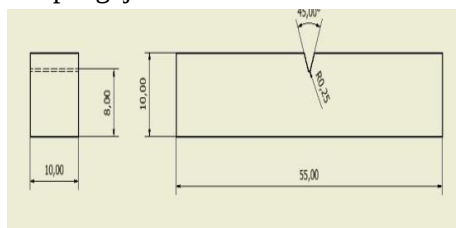


Gambar 2. Spesimen Uji Kekerasan

• Uji *Impact*

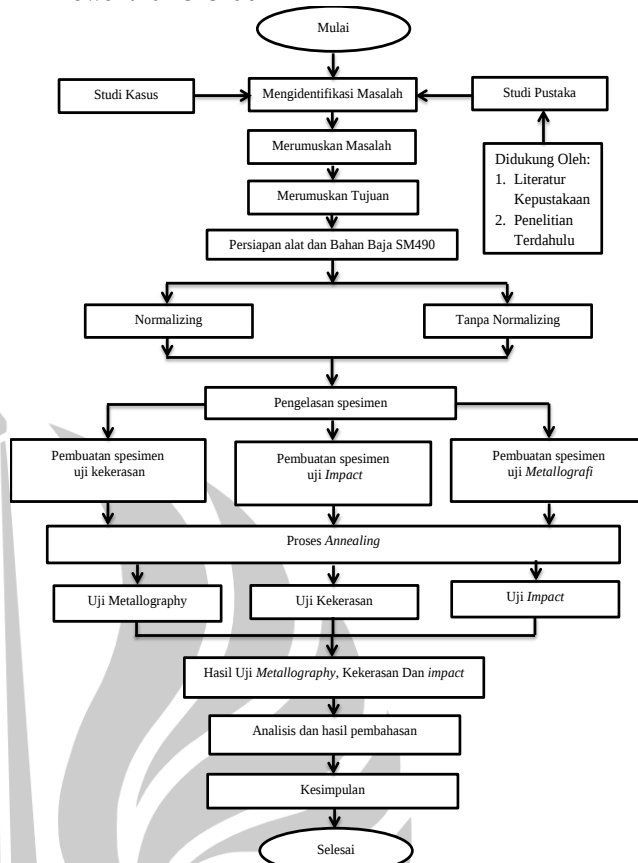
Pengujian *impact* mengacu pada standar *ASTM E23* dengan berat beban 500 joule dan sudut pendulum 150°, langkah-langkah pengujian :

- Meratakan spesimen
- Spesimen dipotong dengan ukuran 55 x 10 x 10 mm sesuai standar pengujian
- Haluskan spesimen dan buat takikan
- Pastikan alat uji dalam kondisi baik
- Sipakan spesimen yang sudah dibentuk
- Atur jarum pada mesin dalam posisi 0
- Letakkan spesimen uji pada mesin
- Mulai pengujian



Gambar 3. Spesimen uji impact

• *Flowchart* Penelitian



Gambar 4. *Flowchart* Proses Penelitian

Peneliti mengawali penelitian dengan survey pendahuluan dan studi literatur sehingga ditemukan rumusan masalah. Setelah itu dilakukan persiapan penelitian dan membuat spesimen pengelasan. Proses *normalizing* dilakukan dengan *temperature* 820°C sedangkan proses *annealing* dengan *temperature* 600°C, 700°C dan 800°C . Proses selanjutnya adalah melakukan pengujian *metallography*, uji kekerasan dan uji *impact*. Hasil uji dianalisis dan kemudian disimpulkan.

• Variabel Penelitian

Variabel penelitian adalah suatu atribut atau suatu sifat atau nilai dari orang, obyek atau kegiatan yang mempunyai variasi tertentu yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari dan kemudian ditarik kesimpulannya (Sugiyono, 2013).

• Variabel terikat:

- Struktur mikro dan makro daerah HAZ
- Nilai kekerasan daerah HAZ
- Nilai ketangguhan daerah HAZ

• Variabel bebas:

- *Temperature normalizing* 820°C dan *temperature annealing* 600°C, 700°C dan 800°C.

• Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah :

- Welder
- Parameter pengelasan
- Baja Sm490 *normalizing* dan tanpa *normalizing*
- Waktu penahanan
- Proses pendinginan

Alat, Bahan, dan Instrumen Penelitian

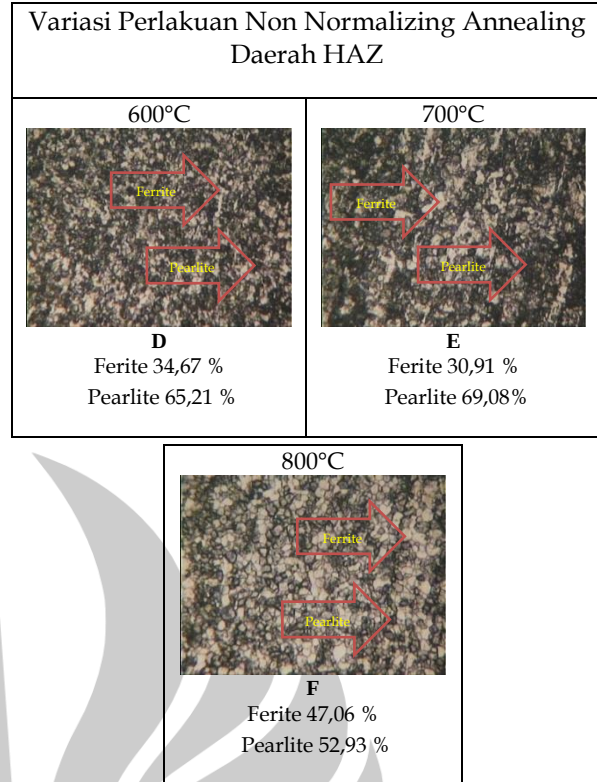
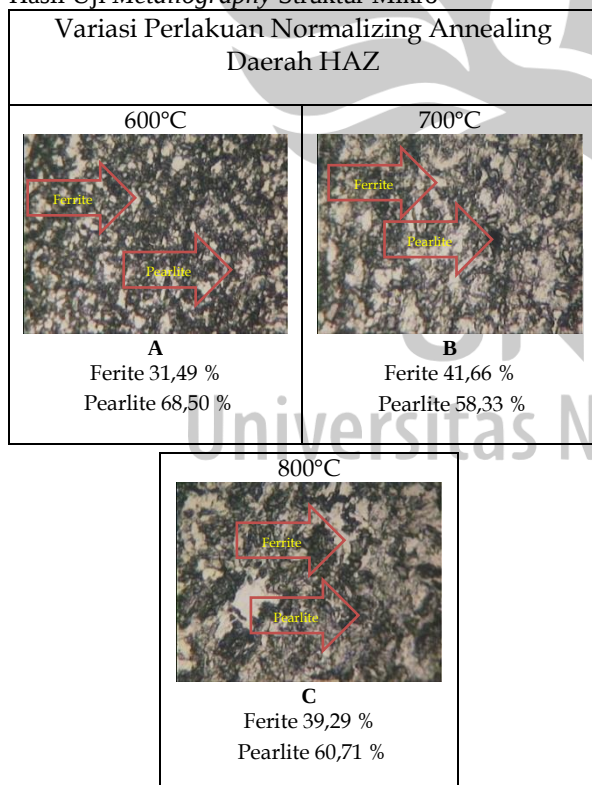
- Alat yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut:
 - Tungku pemanasan
 - APD alat pelindung diri
 - Tang penjepit
 - Kertas amplas
 - Gerinda
 - Kain majun
 - Sarung tangan
 - Stopwatch
 - Las GMAW
- Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah baja SM 490
- Instrumen yang digunakan dalam proses penelitian adalah sebagai berikut:
 - Mesin *Metallography*
 - Mesin uji kekerasan *Rockwell*
 - Mesin uji *Impact*

Teknik Analisis Data

Metode analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah deskriptif kuantitatif dan deskriptif kualitatif. Analisis data dilakukan dengan cara menelaah data yang diperoleh dari eksperimen, dimana hasilnya berupa data kuantitatif. Data yang dianalisis adalah data hasil pengujian *metallography*, uji kekerasan *Rockwell* dan uji *impact*. Langkah selanjutnya adalah mendiskripsikan data yang diperoleh dalam bentuk kalimat yang mudah dibaca, dipahami dan diinterpretasikan, sehingga pada intinya adalah sebagai upaya memberi jawaban atas permasalahan yang akan diteliti.

HASIL DAN PEMBAHASAN

- Hasil Uji *Metallography* Struktur Mikro



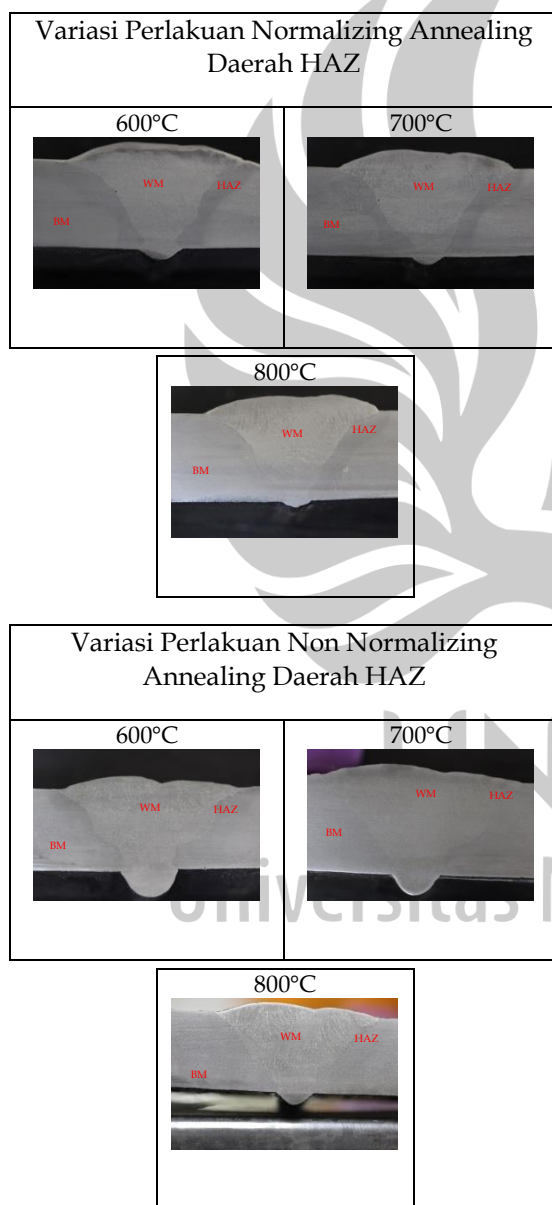
Gambar 5. Hasil Foto Mikro'

Pengamatan struktur mikro dilakukan terhadap spesimen menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran 400X.. Perbandingan jumlah fasa dihitung prosentasenya dengan menggunakan *software ImageJ*. Pada variasi perlakuan *Normalizing Annealing temperature* 600°C fasa yang muncul adalah *ferite* dan *pearlite* dengan prosentase *ferite* 31,49 % dan *pearlite* 68,50 %. Pada *temperature* 700°C fasa *ferite* prosentasenya meningkat menjadi 41,66 % sedangkan fasa *pearlite* menurun prosentasenya menjadi 58,33 %, pada *temperature* 800°C fasa *ferite* menurun dengan prosentase 39,29 % Sedangkan fasa *pearlite* kembali naik prosentasenya menjadi 60,71 %. Variasi perlakuan *Normalizing Annealing* juga mempengaruhi bentuk struktur dari fasa *ferite* dan *pearlite*, Pada *temperature* 600 °C fasa *ferite* dan *pearlite* memiliki struktur yang kecil dan terjadi persebaran yang merata sedangkan pada *temperature* 700°C dan 800°C struktur dari fasa *ferite* menjadi lebih besar, hal ini disebabkan karena fasa *ferite* menjadi *austenit* ketika pemanasan mencapai *temperature* kritis sehingga pada pendinginan yang lambat akan menyebabkan karbon pada fasa *pearlite* berkurang, sehingga menyebabkan fasa yang tadinya *pearlite* berubah menjadi *ferite*.

Sedangkan pada variasi perlakuan *Non Normalizing Annealing* pada *temperature* 600°C fasa yang muncul adalah *ferite* dan *pearlite* dengan prosentase *ferite* 34,67 % dan fasa *pearlite* 65,21 %. Pada *temperature* 700°C prosentase *ferite* menurun menjadi 30,91 % dan jumlah fasa *Pearlite* bertambah menjadi 69,08 %. Sedangkan pada *temperature* 800°C prosentase fasa *ferite* mengalami peningkatan menjadi 47,06 % dan fasa *pearlite* mengalami penurunan menjadi 52,93 %.

Pengaruh *temperature annealing* yang semakin tinggi dengan proses pendinginan lambat yang menyebabkan *prosentase* dari fasa *ferite* dan *paerlite* di setiap *temperature* berbeda beda prosentasenya. Variasi perlakuan *Non Normalizing Annealing* juga berpengaruh pada struktur fasa *ferite* dan *pearlite*, pada *temperature* 600°C fasa *ferite* dan *pearlite* memiliki struktur yang kecil dan terjadi pensebaran yang merata sedangkan pada *temperature* 700°C dan 800°C struktur dari fasa *ferite* menjadi lebih besar, hal ini disebabkan karena fasa *ferite* menjadi austenit ketika pemanasan mencapai *temperature* kritis sehingga pada pendinginan yang lambat akan menyebabkan karbon pada fasa *pearlite* berkurang, sehingga menyebabkan fasa yang tadinya *pearlite* berubah menjadi *ferite*.

- Hasil Uji Metallography Struktur Makro

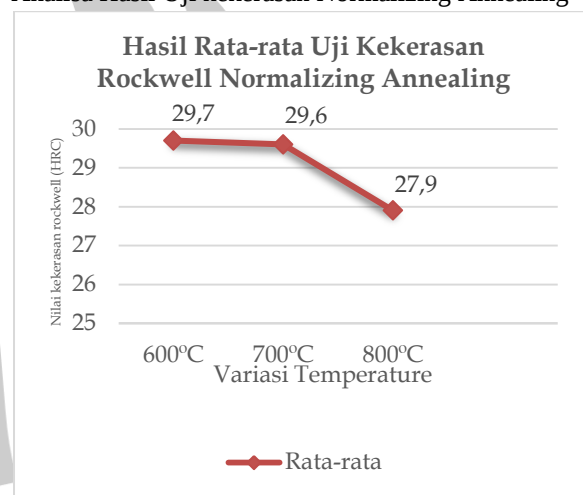


Gambar 6. Hasil Foto Makro

Foto Struktur makro dapat menunjukkan kondisi melintang sambungan las, menunjukkan perbedaan *weld metal*, HAZ, dan *base metal* pada hasil pengelasan. Selain melihat perbedaan struktur, foto makro dapat digunakan untuk melihat ada tidaknya cacat pengelasan secara random. Cacat las yang biasa terjadi pada proses pengelasan GMAW adalah *incomplete fusion*, *incomplete penetration* dan *porosity*. Selain itu foto makro juga bisa digunakan untuk melihat perbedaan daerah HAZ setelah dilakukan proses perlakuan panas.

Pada hasil foto makro *Normalizing annealing* dan *Non normalizing annealing* terlihat tidak terdapat cacat pengelasan pada daerah *weld metal* begitu juga antara *weld metal* dengan daerah HAZ dan *base metal*. Hasil foto makro ini menandakan bahwa hasil pengelasan yang sangat bagus dan sesuai standart.

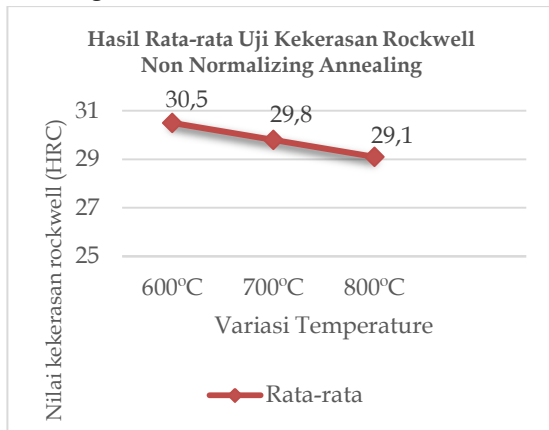
- Analisa Hasil Uji kekerasan Normalizing Annealing



Gambar 7. Diagram Rata-rata Nilai Kekerasan

Dari diagram grafik pada gambar 7 pada pengujian kekerasan daerah HAZ *Normalizing Annealing* pada *temperature annealing* 600°C nilai kekerasan 29,7 HRC hal ini disebabkan karena pada hasil pengujian struktur mikro terlihat pada gambar 5A struktur fasa *pearlite* yang kecil dan pensebaran struktur *pearlite* yang merata fenomena ini yang menyebabkan nilai kekerasan menjadi tinggi. Ketika *temperature annealing* naik menuju 700°C nilai kekerasan menurun menjadi 29,6 HRC hal ini disebabkan karena pada hasil pengujian struktur mikro terlihat pada gambar 5B fasa *pearlite* semakin besar dan tidak merata fenomena ini yang menyebabkan nilai kekerasan menurun. Sedangkan pada *temperature* 800°C nilai kekerasan menjadi sangat rendah dengan rata-rata 28,4 HRC hal ini disebabkan karena pada hasil pengujian struktur mikro terlihat pada gambar 5C fasa *pearlite* menjadi sangat besar dan tidak merata fenomena ini yang menyebabkan nilai kekerasan pada *temperature* 800°C memiliki nilai yang paling rendah dibandingkan nilai kekerasan pada *temperature* 800°C dan 700°C.

- Analisa Hasil Uji kekerasan Non Normalizing Annealing

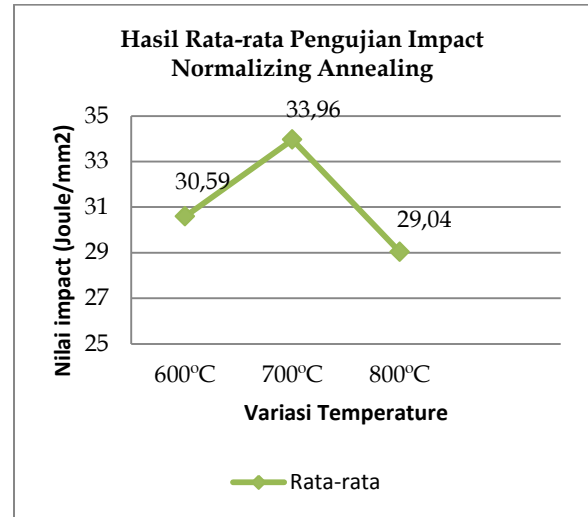


Gambar 8. Diagram Rata-rata Nilai Kekerasan

Dari diagram grafik pada gambar 8 pada pengujian kekerasan daerah HAZ *Non normalizing annealing* cenderung memiliki nilai kekerasan yang tinggi dibandingkan dengan nilai kekerasan *normalizing annealing*, pada *temperature annealing* 600°C nilai kekerasan menjadi 30,5 HRC hal ini disebabkan karena pada hasil pengujian struktur mikro terlihat pada gambar 5D struktur fasa *pearlite* yang kecil dan persebaran struktur *pearlite* yang merata fenomena ini yang menyebabkan nilai kekerasan menjadi tinggi. Pada *temperature annealing* 700°C nilai kekerasan menurun menjadi 29,8 HRC hal ini disebabkan karena pada hasil pengujian struktur mikro terlihat pada gambar 5E struktur *pearlite* menjadi lebih besar fenomena ini yang menyebabkan nilai kekerasan menurun. Sedangkan pada *temperature annealing* 800°C nilai kekerasan menurun menjadi 29,1 HRC hal ini disebabkan karena pada hasil pengujian struktur mikro terlihat pada gambar 5F struktur *ferite* menjadi dominan sedangkan struktur *pearlite* muncul diantara batas butir ferit fenomena ini yang menyebabkan nilai kekerasan menurun.

Secara keseluruhan rata-rata nilai kekerasan tertinggi yaitu pada *temperature annealing* 600°C *Non normalizing annealing* dengan nilai kekerasan 30,5 HRC yang disebabkan karena struktur fasa *pearlite* yang kecil dan persebaran struktur *pearlite* yang merata fenomena ini yang menyebabkan nilai kekerasan menjadi tinggi hal ini relevan dengan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh (Miftakhudin, 2012) yang menyatakan bahwa proses *annealing* dapat menghomogenkan struktur mikro dan menurunkan nilai kekerasan akibat pengaruh proses pengelasan, sedangkan nilai kekerasan terendah yaitu pada *temperature annealing* 800°C *Normalizing annealing* dengan nilai kekerasan 27,9 HRC yang disebabkan karena fasa *pearlite* menjadi sangat besar dan tidak merata.

- Analisa Hasil Uji impact Normalizing Annealing



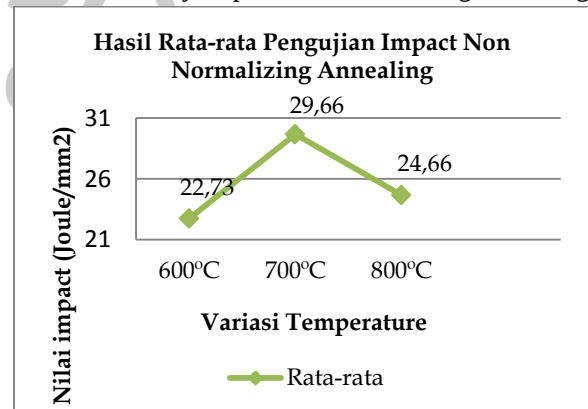
Gambar 9. Diagram Pengujian Impact

Dari diagram grafik pada gambar 9 pada hasil pengujian impact daerah HAZ *Normalizing annealing* pada *temperature annealing* 600°C nilai impact yang dihasilkan adalah sebesar 30,59 J/mm² hal ini disebabkan karena pada hasil pengujian struktur mikro terlihat pada gambar 5A fasa *ferite* yang memiliki struktur kecil dan mengelilingi struktur *pearlite*.

Pada *temperature annealing* 700°C nilai impact yang dihasilkan meningkat dengan nilai sebesar 33,96 J/mm² hal ini disebabkan karena pada hasil pengujian struktur mikro terlihat pada gambar 5B fasa *ferite* menjadi lebih besar fenomena ini yang menyebabkan nilai impact menjadi lebih besar dibandingkan dengan hasil foto mikro pada gambar 5A.

Sedangkan pada *temperature annealing* 800°C nilai impact menjadi lebih kecil dibandingkan pada *temperature annealing* 600°C dan 700°C menjadi 29,04 J/mm² hal ini terjadi karena pada hasil pengujian mikro terlihat pada gambar 5C muncul fasa *pearlite* yang besar fenomena ini yang menyebabkan nilai impact pada *temperature annealing* 800°C kembali menurun.

- Analisa Hasil Uji impact Non Normalizing Annealing



Gambar 10. Diagram Pengujian Impact

Dari diagram grafik pada gambar 10 pada hasil pengujian impact daerah HAZ *Non Normalizing annealing* pada

temperature annealing 600°C nilai *impact* yang dihasilkan adalah sebesar 22,73 J/mm² hal ini disebabkan karena pada hasil pengujian struktur mikro terlihat pada gambar 5D fasa *ferite* yang memiliki struktur kecil dan terjadi persebaran yang merata fenomena ini yang menyebabkan nilai *impact* menjadi rendah.

Pada *temperature* 700°C nilai *impact* yang dihasilkan meningkat dengan nilai sebesar 29,66 J/mm² hal ini disebabkan karena pada hasil pengujian struktur mikro terlihat pada gambar 5E fasa *ferite* menjadi lebih besar fenomena ini yang menyebabkan nilai *impact* menjadi lebih tinggi.

Sedangkan pada *temperature annealing* 800°C nilai *impact* kembali menurun menjadi 24,66 J/mm² hal ini disebabkan karena pada hasil pengujian struktur mikro terlihat pada gambar 5F fasa *pearlite* yang muncul diantara batas butir fasa *ferite* yang menjadi lebih kecil dibandingkan pada gambar 5E fenomena ini yang menyebabkan nilai *impact* kembali menjadi menurun.

Secara keseluruhan rata-rata nilai *impact* tertinggi terdapat pada daerah HAZ *normalizing annealing* pada *temperature* 700°C yaitu sebesar 33,96 J/mm² yang disebabkan karena struktur *ferite* menjadi lebih besar hal ini relevan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Yuli dan Rindang (Metalurgi ITS) yang menyatakan ukuran struktur *ferite* yang besar akan membuat sifat keuletan baja menjadi semakin baik bila dibandingkan dengan baja yang mempunyai ukuran struktur *ferite* yang kecil, sedangkan rata-rata nilai *impact* yang paling rendah terdapat pada daerah HAZ *non normalizing annealing* pada *temperature* 600°C yaitu sebesar 22,73 J/mm² yang disebabkan karena struktur *ferite* yang kecil.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dari pengujian dan analisis data dari pengaruh *Annealing* terhadap sifat mekanis daerah HAZ pengelasan GMAW baja SM490 *Normalizing* dan tanpa *Normalizing* pada bogie kereta api di PT.INKA Maadiun, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Pada hasil pengujian struktur mikro daerah HAZ *normalizing annealing* dan *non normalizing annealing* semakin tinggi *temperature annealing* menyebabkan struktur fasa *ferite* dan *pearlite* yang semakin besar, semakin tinggi *temperature annealing* juga menyebabkan prosentase fasa *ferite* dan *pearlite* yang berbeda-beda. Pada hasil pengujian struktur makro daerah HAZ *normalizing annealing* dan *non normalizing annealing* tidak terdapat cacat pengelasan pada daerah *weld metal* begitu juga antara *weld metal* dan daerah HAZ.
- Pada hasil pengujian kekerasan *Rockwell* daerah HAZ nilai kekerasan tertinggi pada *temperature* 600°C *Non*

normalizing annealing dengan nilai kekerasan 30,5 HRC sedangkan nilai kekerasan terendah pada *temperature* 800°C *Normalizing annealing* dengan nilai kekerasan 27,9 HRC.

- Pada hasil pengujian *impact* daerah HAZ didapatkan nilai *impact* tertinggi pada *temperature* 700°C *Normalizing annealing* dengan nilai *impact* 33,96 J/mm² sedangkan nilai *impact* terendah pada *temperature* 600°C *Non normalizing annealing* dengan nilai *impact* 22,73 J/mm².

Saran

Berdasarkan hasil penelitian maka diberikan saran sebagai berikut:

- Selain pengujian struktur makro, Perlu dilakukan pengujian *non destructive test* (NDT) misalnya uji radiografi untuk memastikan ada atau tidaknya cacat pada hasil pengelasan.
- Sangat penting untuk melakukan kalibrasi dan melakukan verifikasi terhadap instrumen yang akan digunakan dalam melakukan pengujian mekanik seperti pengujian kekerasan dan pengujian *impact*.
- Proses pemotongan spesimen harus dilakukan dengan ukuran dan bentuk yang sepresisi mungkin, agar pada saat dilakukan pengujian didapatkan hasil yang bagus.
- Hasil penelitian yang menyatakan nilai ketangguhan tertinggi pada daerah HAZ *Normalizing annealing* pada *temperature* 700°C dengan nilai *impact* 33,96 J/mm² bisa sebagai rekomendasi proses manufaktur pada bogie kereta api Banglades di PT.INKA Madiun.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdi, 2016. Pengaruh kuat arus las MIG (Metal Inert Gas) terhadap kekuatan tarik dan kekuatan *impact* sambungan V baja tahan karat AISI 304. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Boby, Yuli, 2014. Pengaruh Variasi *Holding time* Pada Perlakuan Panas *Quench annealing* Terhadap Sifat Mekanik Dan Mikro Struktur Pada Baja Manggan AISI 3401. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Karl, Erik Thelning, Steel And its Heat Treatment Second edition, Head of Research and Development Smedjebacken-Boxholm Satl AB. Sweden.
- Musaikan, 1997. *Diklat Kuliah Teknik Las*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.
- Muzaki Khasib, 2016. Pengaruh PWHT (*Post Weld Heat Treatment*) Hasil las MIG (*Metal Inert Gas*) Terhadap kekuatan tarik dan kekuatan *Impact* pada bahan *Stainless Steel* 304. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Rica, 2016. Pengaruh *pre heat* pada sambungan *buut joint* marial SS400 terhadap nilai *tensile strength*, uji *metallography* dan *hardness test*

- dengan pengelasan GMAW di PT.INKA Madiun.
Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Sugiyono, 2012. *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&B*, Bandung: Alfabeta.
- Suherman Wahid, 1999. *Diklat Kuiah Ilmu Logam I*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.
- Suherman Wahid, 1999. *Diklat Kuiah Ilmu Logam II*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.
- Sukmadinata, 2012. *Metode Penelitian Pendidikan*, Cetakan Kedelapan, Bandung: Remaja Rosdakarya.
- Sulistijono, 2000. *Diklat Kuliah Bahan Coran Dan Peleburan*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.
- Surdia Tata, Shinroku Saito, 2000. *Pengetahuan Bahan Teknik Cetakan Kelima*, Jakarta : Pradnya Paramita.
- Wiryosumarto, Okumura, 2000. *Teknologi Pengelasan Logam Cetakan ke Delapan*, Jakarta: Pradnya Paramita.
- Diperkuat Serbuk Besi*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Surya, Yudy. 2013. *Kekuatan Tarik dan Porositas Silinder Al-Mg-Si Hasil Die Casting Dengan Variasi Tekanan*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Umardani, Yusuf. 2015. *Pemanfaatan Abu Vulkanik Gunung Kelud Sebagai Bahan Aditif Dalam Pembuatan Cetakan Pengecoran Logam*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Wijaya, Tofa. 2017. *Pengaruh Variasi Temperatur Tuang Terhadap Ketangguhan Impak dan Struktur Mikro pada Pengecoran Aluminium*. Surakarta: Universitas Surakarta.