

PENGARUH PROSES *HEAT TREATMENT TEMPERING* TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN NILAI KEKERASAN PADA SAMBUNGAN LAS *THERMITE* BAJA UIC-54

*Ian Wiharja¹, Gunawan Dwi Haryadi², Yusuf Umardani², Agus Tri Hardjuno³

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

³Staff UPT Lab. Terpadu Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: ianwiharja33@gmail.com

Abstrak

Metode penyambungan menggunakan las *thermite* adalah metode penyambungan yang selalu digunakan, khususnya pada instalasi kereta api. Akan tetapi proses pengelasan yang tidak sesuai akan menjadikan material menjadi getas akibat pemanasan dan pendinginan yang tidak terkontrol. Hal tersebut dapat menimbulkan material mengalami keretakan pada sambungan las dan hal tersebut dapat membahayakan bagi penggunaannya. Oleh karena itu diperlukan proses *post weld heat treatment* (PWHT) yang bertujuan untuk mengembalikan struktur material tersebut. Dengan dilakukannya *post weld heat treatment – tempering* ini bertujuan untuk memperbaiki struktur butiran akibat adanya tegangan sisa setelah terjadinya pengelasan *thermite*. Material yang digunakan dalam penelitian ini sendiri adalah baja UIC-54 yang merupakan *high carbon steel* (0.82%C). PWHT-Tempering dilakukan pada baja UIC-54 dengan variasi temperatur pemanasan 425°C, 475°C, 525°C, dan 575°C, dengan waktu penahanan 60 menit yang dilanjutkan dengan pendinginan ruangan. Setelah dilakukan proses *tempering*, didapat nilai kekerasan yang relatif turun, sebagai akibat pemanasan ulang yang diharapkan mampu menurunkan kegetasannya tetapi masih memiliki nilai kekerasan yang tinggi dengan standar yang berlaku.

Kata Kunci: *post weld heat treatment tempering, pengelasan thermite, baja UIC-54, high carbon steel*

Abstract

Connection method using thermite welding is a connection method that is always used, especially in railway installations. But the welding process is not appropriate to make the material becomes brittle due to heating and cooling are not controlled. This can cause the material to fracture in welded joints and it can be dangerous for users. Therefore, the required process post weld heat treatment (PWHT) to restore the material's structure. The effect post weld heat treatment - tempering aims to improve the grain structure due to the presence of residual stress after the thermite welding. The material used in this research itself is steel UIC-54 is a high carbon steel (0.82% C) PWHT Tempering process performed on the steel variations UIC-54 with warming temperatures 425°C, 475°C, 525°C, and 575°C, with a detention time of 60 minutes continued with cooling the room. After tempering, the hardness values obtained relatively down, as a result of reheating is expected to decrease the brittleness and keeping high hardness of steels.

Keywords: *Lasthermite, annealing PWHT, hardness Vikers, steel NP-42, and microstructure.*

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan dan pengembangan teknologi di bidang konstruksi yang semakin maju dan pesat, tidak dapat dipisahkan dari proses penyambungan logam, atau yang sering disebut dengan pengelasan. Hal ini merupakan peranan penting dalam rekayasa dan reparasi atau perbaikan logam. Pertumbuhan pembangunan konstruksi logam pada masa sekarang ini banyak melibatkan unsur pengelasan, khususnya bidang rancang bangun karena sambungan las merupakan salah satu pembuatan sambungan yang secara teknis memerlukan ketrampilan yang tinggi bagi pengelasnya, agar diperoleh sambungan dengan kualitas baik. Ruang lingkup penggunaan teknik pengelasan dalam konstruksi sangat luas meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, sarana transportasi, rel, pipa saluran dan lain sebagainya [1].

Salah satu penerapan metode pengelasan saat ini adalah pengelasan *Thermite* yang merupakan pengembangan dari proses pengelasan yang umum dilakukan. Penerapannya terutama dalam bidang yang besar seperti *rail crane*, rel kereta api, gear yang besar, atau patahan pada komponen-komponen peralatan yang ukurannya besar, ataupun perbaikan instalasi rel kereta api.

Hasil pengelasan dari kedua sisi bahan baja menghasilkan tiga daerah utama yaitu daerah logam dasar (*base metal*), daerah terpengaruh panas (*Heat Affected Zone - HAZ*), dan daerah logam las (*weld metal*). Dalam proses

pengelasan *thermite*, bagian sambungan yang di las menerima panas pengelasan setempat dan selama proses berjalan suhunya terus berubah sehingga distribusi menjadi tidak merata. Karena panas tersebut, maka pada bagian terjadi pengembangan *thermal*, sedangkan bagian yang dingin tidak berubah sehingga terbentuk penghalang pengembangan yang menyebabkan terjadinya peregangan. Akibat peregangan ini akan timbul tegangan tetap yang disebut tegangan sisa[2].

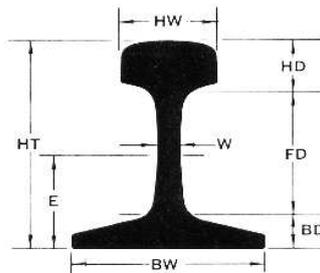
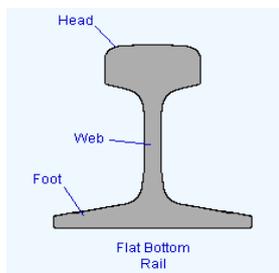
Untuk mengembalikan kepada sifat yang diinginkan maka dilakukan proses *Post weld heat treatment* (PWHT). *Post weld heat treatment* (PWHT) itu sendiri adalah proses pemanasan dan pendinginan pada logam untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu yang diperlukan, misalnya kekuatan (*strength*), kelunakkan (*softness*) dan untuk memperhalus ukuran butir[3].

Penelitian kali ini material yang digunakan adalah baja UIC-54, material akan diuji sifat kekerasannya pada bagian logam induk (*base metal*), daerah terpengaruh panas atau HAZ (*head affected zone*) dan daerah logam las (*weld metal*) dengan menggunakan metode *micro vickers* dan analisa dari struktur mikro sebelum dan sesudah proses *tempering*. Tujuan dari penelitian ini sendiri adalah untuk mengetahui nilai kekerasan dan struktur mikro pada material sebelum dan sesudah proses *tempering* dengan variasi temperatur antara 425°C, 475°C, 525°C, 575°C.

2. BAHAN DAN PERALATAN PENGUJIAN

2.1 Material Pengujian (Baja UIC-54)

Material yang digunakan adalah baja UIC-54 termasuk dalam *high carbon steel* yang umum digunakan oleh industri kereta api untuk jalur rel. Baja UIC-54 itu sendiri adalah baja yang memiliki berat 54 kg untuk tiap 1 meternya. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada **Gambar 1** Berikut ini:



dimana :	
HT – Tinggi total	= 159 mm
BW – Lebar dasar	= 140 mm
HW – Lebar Kepala	= 70 mm
W – Leher	= 16 mm
HD – Tinggi Kepala	= 47,5 mm
FD – Fishing	= 97 mm
BD – Tinggi Dasar	= 28,5 mm
E – Bolt Hole Elevation	= 73 mm

Gambar 1. Dimensi Baja UIC-54[4]

Baja UIC-54 termasuk dalam *high carbon steel* karena mengandung mempunyai kadar karbon antara 0,70%-1,3%[5], bersifat lebih kuat dan lebih keras dibandingkan baja karbon rendah dan dapat dikeraskan. Untuk hasil uji komposisi baja UIC-54 diketahui kandungan Fe hingga 97,73%, dengan carbon 0,82538 %. Oleh sebab itu UIC-54 merupakan *high carbon steel*[6].

2.2 Pengelasan *Thermite*

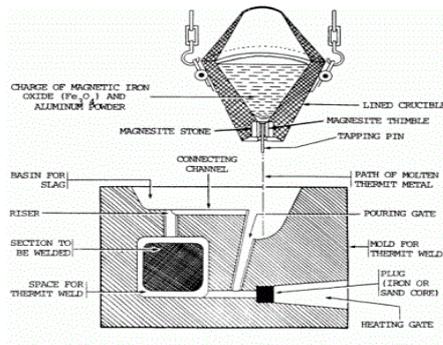
Pengelasan *thermite* adalah reaksi eksotermik antara aluminium dan besi oksida yang menghasilkan baja lebur yang kemudian dituangkan ke dalam suatu cetakan yang akan dilas[7]. Pertama-tama pada saat pengelasan *thermite*, bubuk *thermite* yang terdiri dari aluminium dan besi oksida dimasukkan ke dalam tempat pembakaran yang berbentuk kerucut terbalik. Kemudian diatas bubuk *thermite* dimasukkan barium peroksida atau bubuk mangan sebagai pembakar atau penyalak api untuk proses reaksi *thermite*. Dan untuk menyalakannya bisa menggunakan besi yang dipanaskan sampai memerah atau kayu bakar atau bisa juga menggunakan las gas, seperti ditunjukkan pada **Gambar 2**. Komponen yang akan di las *thermite* harus dipanaskan terlebih dahulu[8]. Baja yang mulai mencair akan mengalir ke dalam cetakan yang menyambungkan dua buah rel yang diberi celah antara 22 – 25 mm[9].

Reaksinya seperti berikut:



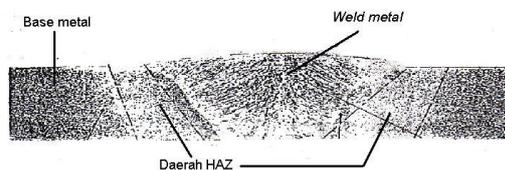
Produk yang dihasilkan ini adalah aluminium oksida, membebaskan unsur besi (berupa besi cair), dan membebaskan sejumlah besar panas. Reaktan yang biasa digunakan adalah berupa bubuk dan dicampur dengan bahan untuk menyimpan bahan yang padatan dan mencegah pemisahan[10]. Proses pengelasan *thermite* mempunyai banyak keunggulan dibandingkan dengan proses pengelasan yang lain, karena pengelasan *thermite* dapat digunakan pada:

- Hubungan antara dua profil rel yang berlainan, baik tipe maupun ukurannya.
- Segala jenis kualitas baja rel, termasuk rel dengan pengerasan pada bagian kepalanya dan di atas bantalan maupun diantara dua bantalan[11].



Gambar 2. Pengelasan Thermite[7]

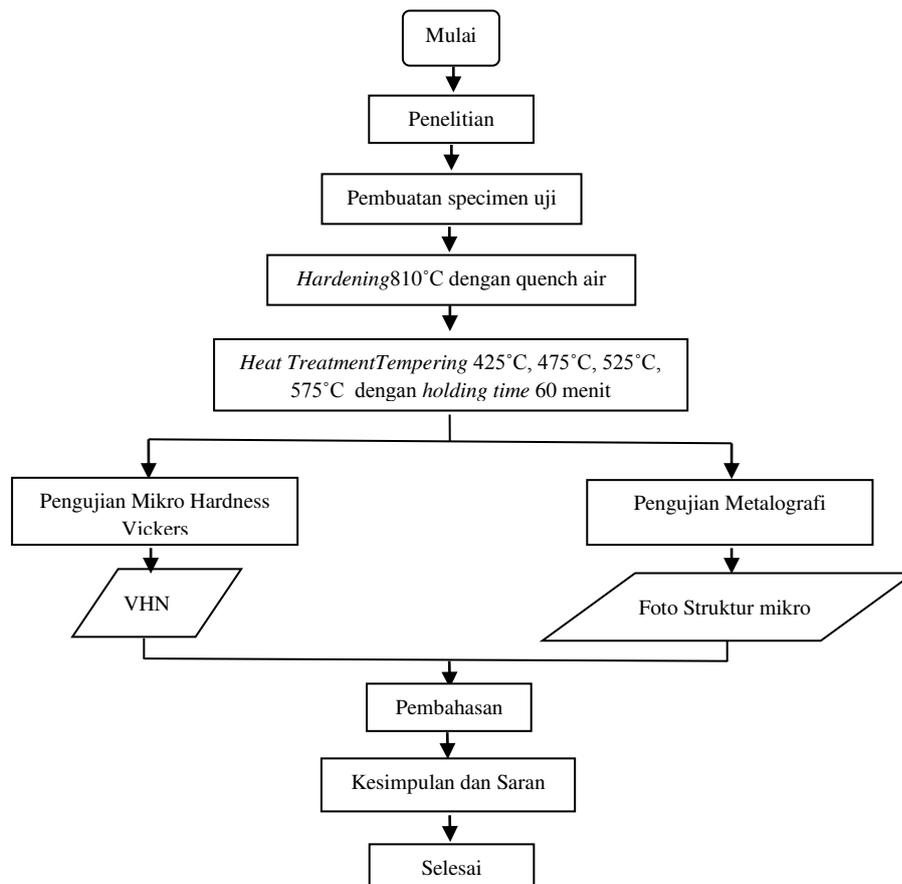
Setelah proses pengelasan thermit, material baja UIC-54 akan terbagi menjadi tiga daerah, seperti ditunjukkan pada Gambar 3 yaitu : daerah logam induk (*base metal*), *Heat Affected Zone* (HAZ), dan daerah logam las (*weld metal*). Ketiga daerah ini memiliki sifat karakteristik yang berbeda, yang tentunya berpengaruh terhadap performa mekanik dari material tersebut.



Gambar 3. Pembagian Daerah Lasan[12]

2.3 Diagram Alir Penelitian

Beberapa tahapan penelitian pada baja UIC-54 hasil pengelasan *thermite* dapat dilihat pada Gambar 4 sebagai berikut:



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian.

2.4 Post Weld Heat Treatment

Dalam setiap pengelasan akan didapat pemanasan yang tidak merata antara logam las, logam dasar, dan daerah HAZ. Untuk itu perlu dilakukan perlakuan panas kembali pasca pengelasan untuk mengatur kembali struktur dari material. *post weld heat treatment* (PWHT) itu sendiri adalah proses pemanasan dan pendinginan pada logam untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu yang diperlukan, misalnya kekuatan (*strength*), kelunakkan (*softness*) dan untuk memperhalus ukuran butir[3].

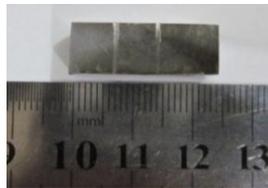
Secara umum, proses perlakuan panas dibagi menjadi tiga tahap, yaitu:

- Memanaskan logam / paduannya sampai suhu tertentu dengan kecepatan tertentu, (*heating-temperature*).
- Mempertahankan pada temperatur pemanasan tersebut dalam waktu / tempo tertentu, (*holding time*).
- Mendinginkan dengan media pendingin dan laju tertentu [13].

Dalam prakteknya terdapat banyak macam proses perlakuan panas yang dilakukan terhadap berbagai jenis logam / paduannya. Secara garis besar macam proses perlakuan panas dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu perlakuan panas dekat keseimbangan (*near-equilibrium*) dan perlakuan panas tidak seimbang (*non-equilibrium*)[14].

2.5 Proses Heat Treatment Tempering

Dalam proses *heat treatment tempering* ini dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fisik Teknik Mesin Universitas Diponegoro, alat yang digunakan adalah *Furnace Chamber* HOFFMAN TYPE KL. Persiapan yaitu dengan melakukan reparasi pemotongan specimen yang hasilnya dapat dilihat pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Specimen baja UIC-54

Adapun langkah – langkah persiapan dalam melakukan proses *heat treatment tempering* adalah sebagai berikut :

a. Proses *Hardening*

Pada proses *hardening* untuk baja UIC-54 dilakukan dengan cara memasukkan spesimen kedalam dapur pemanas (*furnace chamber*) dan dipanaskan hingga temperatur 810°C dengan penahanan (*holding time*) 60 menit, hal ini dimaksudkan agar pemanasan merata terhadap seluruh lapisan spesimen.

b. Proses *Quenching*

Setelah proses *hardening* selesai dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan proses pendinginan dengan cara mengeluarkan spesimen dari dalam dapur pemanas (*furnace chamber*) kemudian didinginkan dengan media yang akan digunakan, dalam penelitian ini media yang digunakan adalah air, dikarenakan air merupakan media yang paling populer digunakan dalam media pendinginan karena biayanya yang rendah, ketersediaan yang melimpah dan penanganan yang mudah. Tidak menyebabkan polusi terkait dengan penggunaan air dan dapat dengan mudah dibuang.

c. Proses *Tempering*

Dalam proses ini baja yang telah dipanaskan hingga temperatur 810°C yang dilanjutkan dengan pendinginan cepat (*quenching*) dengan media air, kemudian dipanaskan kembali dengan cara memasukkan kembali spesimen kedalam dapur pemanas (*furnace chamber*) dengan variasi temperatur antara 425°C, 475°C, 525°C, 575°C dengan penahanan (*holding time*) 60 menit. Hal ini dimaksudkan agar pemanasan merata terhadap seluruh lapisan spesimen, dengan pendinginan ruangan.

2.6 Pengujian Kekerasan *Micro Vickers*

Pengujian kekerasan mikro dan distribusi kekerasan menggunakan mikro Vickers dengan standar ASTM E 384. Tujuan pengujian kekerasan mikro *Vickers* ini adalah untuk menguji struktur mikro dan kekerasan permukaan yang dapat dicapai.

Metode ini mirip dengan metode Brinell, tetapi penetrator yang digunakan berupa intan berbentuk piramida dengan dasar bujur sangkar dan sudut puncak 136°, sudut ini dipilih karena nilai tersebut mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara diameter lekukan dan diameter bola penumbuk pada kekerasan *brinell*. Karena bentuk penumbuknya piramid, maka pada pengujiannya sering dinamakan uji kekerasan piramida intan[15]. Kedua diagonal diukur pada kaca pembesar kemudian diukur rata-ratanya. Persamaan yang digunakan adalah:

$$DHP = \frac{2P \sin(\theta/2)}{L^2} = \frac{1.854P}{L^2} \dots\dots\dots (2)$$

dimana :

DHP = Angka kekerasan piramida intan (HV)

L = Panjang diagonal rata-rata (mm)

P = Beban yang ditetapkan (gf)

Pengujian kekerasan dilakukan di laboratorium Bahan Teknik Program Diploma Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada, Metode yang digunakan dalam pengujian ini menggunakan metode Mikro Vikers. Seperti ditunjukkan **Gambar 6**.



Gambar 6. Alat uji kekerasan vikers.

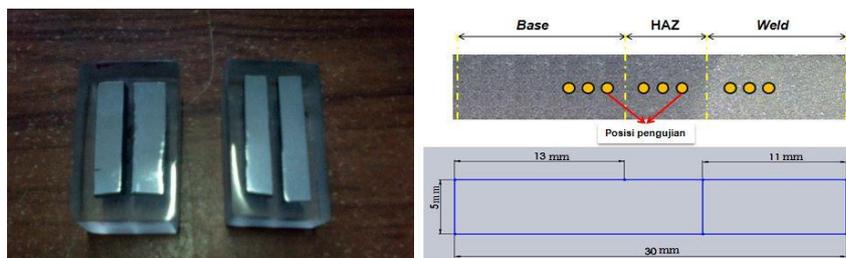
Adapun langkah – langkah persiapan dalam melakukan pengujian kekerasan adalah sebagai berikut:

- a. Pematongan
 Tujuan pematongan specimen adalah untuk mendapatkan bidang permukaan logam daerah induk sehingga bisa membedakan nilai kekerasan.
- b. Mounting
 Tujuan dari mounting karena kecilnya specimen potongan uji, sehingga butuh bantalan tambahan untuk mendapatkan luas penampang yang lebih lebar. Dengan menggunakan resin dan campuran pengerasnya.
- c. Penggerindaan
 Tujuan dari grinding ini untuk menghilangkan kerusakan – kerusakan yang ditimbulkan pada proses pematongan dan proses heat treatment sebelumnya. Pada tahap ini benda uji yang telah dicetak mounting dihaluskan dengan amplas sampai dapat permukaan yang halus dan rata. Amplas yang digunakan adalah grid 150, 400, 500, 800 dan terakhir dengan ukuran 1500.
- d. Pemolesan (*Polishing*)
 Proses ini bertujuan untuk mendapatkan permukaan yang bebas dari goresan yang dapat menghalangi pengujian dan untuk mendapatkan permukaan yang mengkilat seperti cermin.
- e. Uji kekerasan Mikro Vikers menggunakan standar ASTM E 384, dengan pembebanan 200 gf. Hasil pengujian berupa angka kekerasan vikers (VHN).

2.7 Pengujian Metalografi

Pengamatan ini bertujuan untuk mengetahui fasa-fasa apa saja yang terdapat dalam material. Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan *stereo microscope*. Mikroskop optik, atau yang sering disebut juga sebagai "mikroskop cahaya" adalah salah satu jenis mikroskop yang menggunakan cahaya dan sebuah sistem lensa untuk memperbesar gambar spesimen yang kecil. Mikroskop optik dasar sangat sederhana, meskipun ada banyak desain lain yang kompleks yang bertujuan untuk meningkatkan resolusi dan kontras dari specimen. Seperti ditunjukkan **Gambar 8**.

Adapun bentuk specimen yang akan siap di uji struktur mikro. Specimen tersebut ditunjukkan pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Specimen Pengujian Baja UIC-54 Setelah di *Mounting*.



Gambar 8. *Optical Microscope*

Prosedur Pengujian Metalografi untuk pengamatan struktur mikro dapat dilakukan dengan langkah – langkah pengujian sebagai berikut :

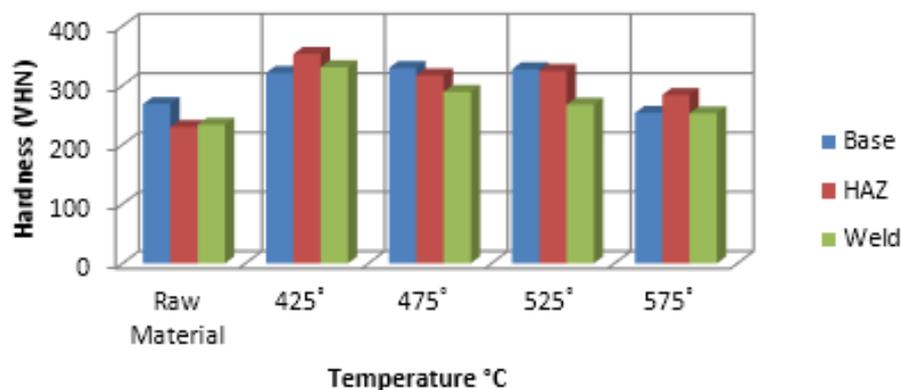
- a. Spesimen yang telah dipotong kemudia di beri *mounting* sehingga diperoleh benda uji, benda uji diberi kode untuk mempermudah proses pengamatan.
- b. Permukaan specimen yang akan diamati harus bersih, kering, dan telah mengalami proses pemolesan (*polishing*) dengan menggunakan amplas sampai tahapan amplas 2000, kemudian autosol untuk mendapatkan specimen yang rata, bebas dari kotoran, tidak berminyak dan mengkilap sehingga dapat meningkatkan kualitas hasil pemotretan yang baik.
- c. Melakukan etsa dengan menggunakan natal pada permukaan benda uji untuk membersihkan sisa – sisa *polisher* pada saat pemolesan. Selain itu juga untuk memunculkan batas butiran permukaan benda uji yang akan diamati, setelah dilakukan etsa, permukaan benda uji dibersihkan dengan aquades, kemudian mengeringkannya dengan *hairdryer*.
- d. Melakukan pengamatan terhadap permukaan nugget yang telah direparasi dengan menggunakan mikroskop.
- e. Pemotretan dilakukan dengan menggunakan perbesaran yang 500x
- f. Hasil pemotretan berupa foto mikrografi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Uji Kekerasan Mikro Vickers Baja UIC-54

Pengujian Vickers (VHN) merupakan cara yang paling cocok untuk pengujian bahan yang keras. Cara Vickers jugabanyak digunakan karena dengan teliti mampu mengetahui kekerasannya. Pada pengujian ini, identasi dilakukan pada 3 titik dengan beban 200 gr dan menggunakan standar ASTM E 384. Pengujian dilakukan di tiga bagian yaitu bagian *base*, *HAZ*, dan *weld*.

Perbandingan kekerasan pada non-perlakuan dan sesudah mengalami perlakuan panas (*tempering*) pada temperatur 425°C, 475°C, 525°C, 575°C dengan waktu penahanan pada masing – masing temperatur selama 60 menit. Hasil uji kekerasan tersebut dapat dilihat pada **Gambar 9** berikut ini:



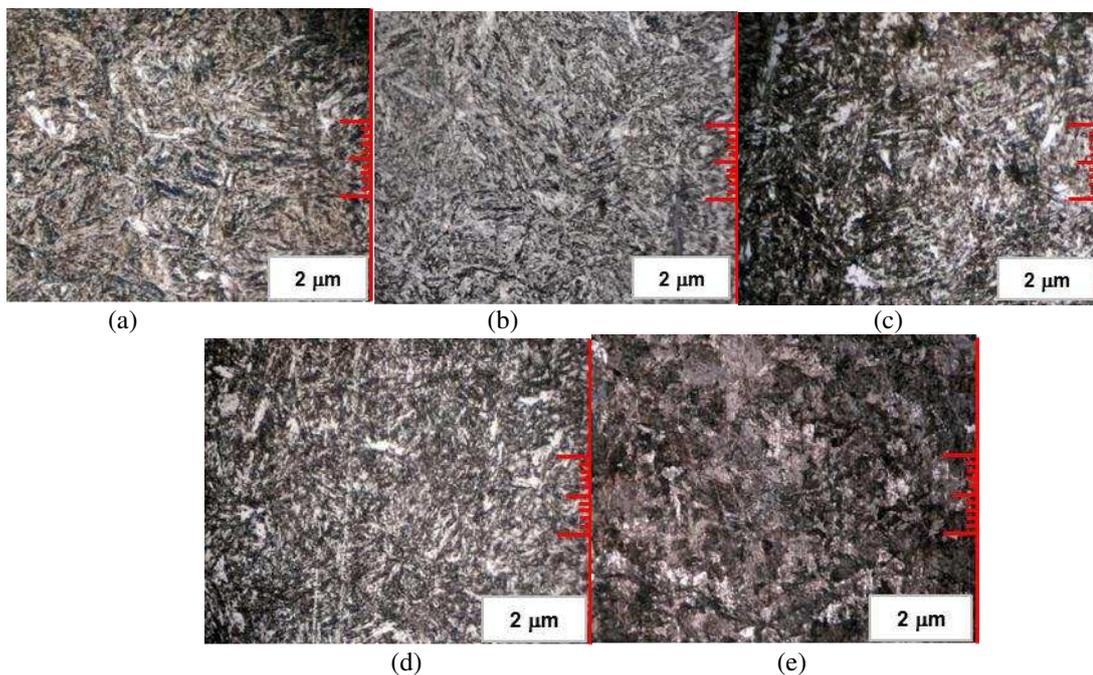
Gambar 9. Perbandingan Grafik Tingkat Kekerasan Baja UIC-54 Tanpa Perlakuan (*Raw*) dan Perlakuan *Heat Treatment Tempering*.

Dari **Gambar 9** diatas menunjukkan nilai – nilai kekerasan pada tiap daerah *base*, *HAZ*, dan *weld*. Untuk material tanpa perlakuan menunjukkan baja UIC-54 yang belum mengalami proses *tempering*. Terjadi perbedaan nilai kekerasan setelah mendapat perlakuan *tempering*. Nilai kekerasan tersebut dapat dibuktikan dengan adanya perubahan fasa struktur mikro yang terjadi. Dengan membandingkan antara nilai kekerasan dengan perubahan struktur mikro maka akan diperoleh penjelasan mengenai peranan masing-masing struktur mikro terhadap tingkat kekerasan material tersebut.

Dari grafik diatas untuk nilai kekerasan tertinggi terdapat pada temperatur 425°C dengan nilai kekerasan pada daerah *base metal* 320.9 VHN, untuk daerah HAZ memiliki nilai kekerasan 353.1 VHN dan pada daerah *weld metal* memiliki nilai kekerasan 330.6 VHN. hal ini dikarenakan pada temperatur 425°C kandungan *tempered* martensid lebih merata dibandingkan pada temperatur lain. Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa semakin tinggi temperatur *tempering* maka nilai kekerasan semakin rendah. Hal itu dapat dilihat pada temperatur 575°C, dari temperatur tersebut nilai kekerasan pada daerah *base metal* adalah 253.6 VHN, sedangkan daerah HAZ memiliki nilai kekerasan 283.7 VHN dan pada daerah *weld metal* memiliki nilai kekerasan 252.7 VHN, hal tersebut dikarenakan terjadinya perubahan struktur mikro dimana *tempered* martensid bertransformasi menjadi pearlit dan ferrit, akibatnya terjadi penurunan kekerasan dan ketangguhan sehingga nilai kekerasannya turun.

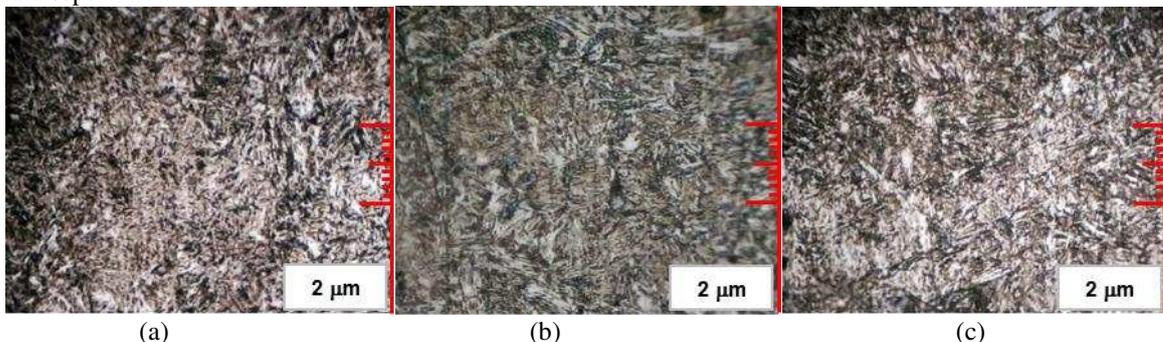
3.2 Uji Metalografi Baja UIC-54

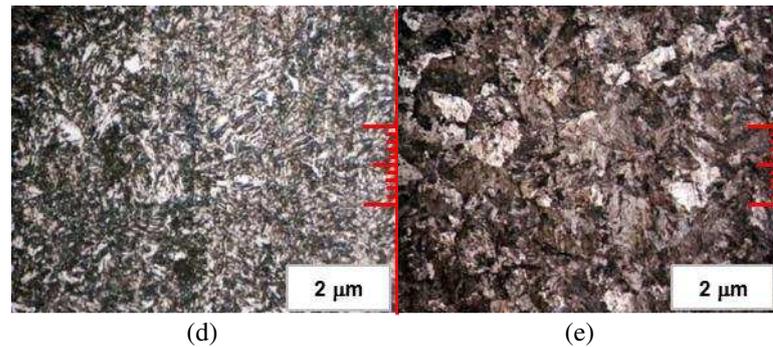
Pengujian metalografi digunakan untuk mencocokkan antara nilai kekerasan yang diperoleh dengan fasa struktur mikro yang terbentuk. Oleh sebab itu, foto struktur mikro dapat digunakan sebagai acuan pembandingan hasil dari pengujian kekerasan. Hasil dari pengujian foto struktur mikro dapat dilihat pada **Gambar 10** untuk daerah *base*, **Gambar 11** untuk daerah HAZ, dan **Gambar 12** untuk daerah *weld* berikut ini:



Gambar 10. Struktur Mikro Baja UIC-54 perbesaran 500x pada *Base Metal* (a) *Tempering* 425°C, (b) *Tempering* 475°C, (c) *Tempering* 525°C, (d) *Tempering* 575°C, (e) *Raw Material*

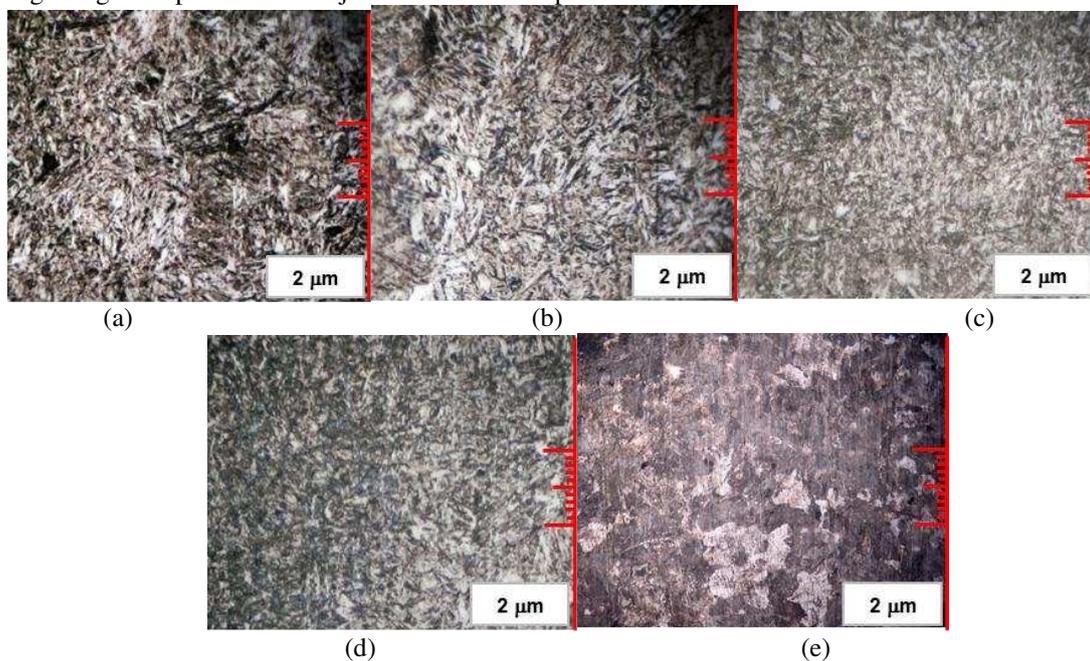
Pada **Gambar 10** diatas terlihat bahwa sebelum proses *heat treatment* struktur yang terlihat hanya ferrit dan pearlit dengan sruktur pearlit lebih medominasi dibandingkan struktur ferrit. Dimana daerah yang terang adalah ferrit dan utuk daerah yang gelap adalah peralit. Setelah dilakukan proses *heat treatment tempering* struktur yang terbentuk adalah *tempered* martensid, dimana *tempered* martensid adalah struktur yang terbentuk setelah mengalami *quenching* dengan media air, kemudian mendapat perlakuan temper. Dari gambar diatas *tempered* martensid berbentuk seperti jarum atau seperti lidi.





Gambar 11. Struktur Mikro Baja UIC-54 perbesaran 500x pada daerah HAZ (a) *Tempering* 425°C, (b) *Tempering* 475°C, (c) *Tempering* 525°C, (d) *Tempering* 575°C, (e) Raw Material.

Dari **Gambar 11** diatas pada daerah HAZ non-perlakuan struktur ferrit dan pearlit lebih terlihat jelas dibandingkan dengan pada daerah base non-perlakuan. Sedangkan pada daerah yang terkena perlakuan *heat treatment tempering*, semakin tinggi temperatur temperingnya maka transformasi dari *tempered-martensit* menjadi ferrit-pearlit akan semakin terlihat. Hal itu dapat dilihat pada daerah HAZ yang terlihat bahwa struktur *tempered-martensit* cenderung mengalami perubahan menjadi butiran-butiran pearlit..



Gambar 12. Struktur Mikro Baja UIC-54 perbesaran 500x pada daerah Weld Metal (a) *Tempering* 425°C, (b) *Tempering* 475°C, (c) *Tempering* 525°C, (d) *Tempering* 575°C, (e) Raw Material.

Pada **Gambar 12** diatas pada daerah raw material struktur ferrit lebih mendominasi dibandingkan daerah base dan HAZ. Lalu untuk daerah yang terkena perlakuan *heat treatment tempering* struktur yang terbentuk masih berupa *tempered martensit* tetapi dengan komposisi ferrit yang sangat mendominasi dengan banyaknya daerah putih pada gambar. Dan pada gambar (c) dan (d) terlihat struktur *tempered martensit* sudah berbentuk struktur pearlit dan ferrit yang menyebabkan daerah *weld* memiliki kekerasan yang relatif lebih rendah dibandingkan daerah base dan HAZ.

4. KESIMPULAN

- a. Nilai kekerasan pada material sebelum terkena perlakuan *tempering* pada daerah *base metal* memiliki nilai kekerasan 268.7 VHN, pada daerah HAZ 229.9 VHN dan pada daerah *weld metal* memiliki nilai kekerasan 233.8 VHN. Nilai kekerasan pada daerah yang terkena perlakuan *tempering* pada temperatur 425°C pada daerah *base metal* memiliki nilai kekerasan 320.9 VHN, daerah HAZ 353.1 VHN dan daerah *weld metal* 330.6 VHN. Nilai kekerasan pada temperatur 475°C pada daerah *base metal* 329.3 VHN, daerah HAZ 316.9 VHN dan pada daerah *weld metal* 288.9 VHN. Untuk temperatur 525°C nilai kekerasan pada daerah *base metal* 327.2 VHN, pada daerah HAZ 324.4 VHN dan pada daerah *weld metal* 267.5 VHN. Dan untuk temperatur 575°C nilai kekerasan pada daerah *base metal* 253.6 VHN, pada daerah HAZ 283.7 VHN dan daerah *weld metal* 252.7 VHN.

- b. Setelah dilakukan pengujian struktur mikro, terjadi perubahan ukuran butir yang lebih kecil dan rapat. Dari Struktur foto mikro baja UIC-54struktur yang terbentuk adalah fasa ferrit, pearlit dan *tempered* martensit. Sehingga menunjukkan perubahan struktur material setelah mengalami *tempering* dengan maksud menghilangkan tegangan sisa akibat pengelasan *thermite*.

5. REFERENSI

- [1] Putri, F., 2010, "Analisa Pengaruh Variasi Kuat Arus dan Jarak Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Las Baja Karbon Rendah Dengan Elektroda 6013", jurnal, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang
- [2] ASM Hand Book, "Material Characterization", Volume X, 1996, The Material Information Society
- [3] Ilman, M. N., 2012, "Pengaruh Post Weld Heat Treatment Terhadap Sifat Mekanis dan Korosi Sambungan Las Spiral Saw pada Pipa Baja ASTM A252", Jurnal, Jurusan Teknik Mesin dan Industri UGM, Yogyakarta
- [4] Sri Atmaja P Rosyidi. 2005, *Komponen dan Desain Rel*, Jurusan Teknik Sipil UMY, Yogyakarta
- [5] Gunawan, D. H., 2005, "ROTASI- Volume 8 Nomor 2. Pengaruh Suhu Tempering Terhadap Kekerasan Struktur Mikro dan Kekuatan Tarik pada Baja K-460", Jurnal, Staff Pengajar Jurusan Teknik Mesin UNDIP, Semarang.
- [6] Diar, K., 2009 "Analisa Sifat Mekanis Sambungan rel R54-R42 Hasil Pengelasan Thermite Ditinjau Dari Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro", Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin UNDIP, Semarang
- [7] Lonsdale, C.P. *Metallurgical Engineer, Conrail Technical Service Laboratory*.
- [8] Steele, R. K. *Field Welding Of Rails, Association Of American Railroads*. Chicago: 1985.
- [9] Dwi, P., 2011, "Kekuatan Sambungan Las Thermit Rel R 54 Untuk Jalur Lintas Angkutan Batubara. Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur – BPP Teknologi PUSPIPTEK", Jurnal, Tangerang Selatan.
- [10] O'Brien, R. L., Ed., 1991, "Welding Handbook-volume 2, Eighth Edition", American Welding Society, Miami.
- [11] Adi, N., 1992, "Mengenal Thermit Welding Secara Garis Besar",.
- [12] Carry, H. B., 1989, "Modern Welding Technology", New Jersey, Prentice Hall.
- [13] Karmin, Oktober 2009, "Pengendalian Proses Pengerasan Baja Dengan Metoda Quenching", Tugas Akhir, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang
- [14] Sulaiman, 2010, "Pengaruh Proses Pelengkungan dan Pemanasan Garis Plat Baja Kapal AISI E 2512 Terhadap Nilai Kekerasan dan Laju Korosi", Jurnal, Jurusan teknik Mesin UNDIP, Semarang
- [15] Sumiyanto dan Abdunnaster, 2001, "Pengaruh Proses Hardening dan Tempering Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Pada Baja Karbon Sedang Jenis SNCM 447", Institut Sains dan Teknologi, Jakarta