

## PENGARUH *POST WELD HEAT TREATMENT (PWHT)* – *TEMPERING* PADA SAMBUNGAN *MEDIUM CARBON STEEL NP-42* DENGAN LAS THERMIT TERHADAP NILAI KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO

\*Korna Ariesta<sup>1</sup>, Gunawan Dwi Haryadi<sup>2</sup>, Yusuf Umardani<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

\*E-mail: kornaariesta@gmail.com

### Abstrak

Material baja *high carbon* merupakan material yang diaplikasikan pada suatu sistem yang memerlukan nilai kekerasan dan ketangguhan yang tinggi. Pada sarana transportasi kereta api, tentunya diperlukan rel baja yang sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan agar kenyamanan serta keselamatan penumpang selalu terjamin. Salah satu faktor yang harus diperhatikan pada rangkaian baja rel kereta api adalah pada sambungan las. Proses pengelasan yang tidak sesuai akan menyebabkan material menjadi getas akibat pemanasan dan pendinginan yang tidak terkontrol. Hal ini dapat menimbulkan retak pada sambungan tersebut yang dapat membahayakan bagi pengguna kereta api. Oleh sebab itu, diperlukan perlakuan proses *Post Weld Heat Treatment (PWHT)* untuk mengembalikan kondisi struktur material tersebut. Dalam penelitian *post weld heat treatment – tempering* ini bertujuan untuk memperbaiki struktur butir akibat adanya tegangan sisa saat pengelasan *thermit*, selain itu untuk meningkatkan nilai kekerasannya. Baja rel yang digunakan adalah baja NP-42 yang merupakan *medium-carbon steel* (0,56%C). 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 sesuai dengan standar yang berlaku.

**Kata kunci:** baja NP-42, medium carbon steel, post welding heat treatment, tempering, thermit

### Abstract

*High carbon steel is a material that is applied to a things that requires high hardness and toughness. In rail transport, needed steel rails with predetermined specifications in order to comfort and safety of passengers is always guaranteed. One factor that must be considered in a series of railroad steel is at the weld joint. Welding processe that do not fit will cause the material to become brittle due to heating and cooling uncontrolled. This can cause cracks in the connection that can be dangerous for rail users. Therefore, the required treatment process post weld heat treatment (PWHT) to restore the material's structure. In a study of post weld heat treatment – tempering aims to improve grain structure due internal stress in thermit welding, the other side increasing value of its hardness. Steel is a steel rail used NP-42 is a medium carbon steel (0,56%C). After tempering, the hardness values obtained relatively down, as a result of reheating is expexted to decrease the brittleness and keeping high hardness of steels.*

**Keywords:** medium carbon steel, post weld heat treatment, steel NP-4, tempering, thermit,

### 1. Pendahuluan

Kereta api merupakan transportasi favorit di Indonesia dalam menunjang aktifitas sehari-hari, oleh sebab itu kenyamanan dan keamanan tentunya menjadi hal yang sangat erat kaitanya bagi para penumpang. Salah satu penunjang kenyamanan dan keamanan tersebut adalah kondisi dari rel, terutama yang sering kita rasakan adalah pada setiap sambungan rel. Salah satu cara penyambungan rel kereta api adalah dengan 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. Setiap proses mekanika yang melibatkan panas sebagai energi, seperti proses pengelasan tentunya akan menimbulkan tegangan sisa, tegangan sisa tersebut nantinya akan dihilangkan dengan proses *post weld heat treatment tempering*. Tegangan sisa yang dihilangkan ini akan dibuktikan dengan adanya hasil keseragaman nilai kekerasan dan struktur mikro dari material tersebut.

Pada penelitian ini yang berjudul “Pengaruh *Post Weld Heat Treatment (PWHT)* - *Tempering* pada Sambungan *Medium Carbon Steel NP-42* dengan Las Thermit terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro” yang dilakukan,

sebelumnya peneliti mengumpulkan literatur-literatur sebagai bahan referensi dan acuan dalam pengambilan judul tersebut. Adapun beberapa sumber yang dijadikan referensi antara lain dari penelitian saudara Muhammad Yasin yang berjudul “Analisa Kelayakan Las Thermite pada R 42”. Penelitian tersebut bertujuan untuk melakukan investigasi kelayakan sambungan las thermite pada R 42 yang dilakukan oleh kontraktor rekanan PT KAI terhadap nilai kekerasan, struktur mikro, dan uji *impact*. PT KAI telah menerbitkan standar nilai kekerasan baja rel 42 sesuai dengan Peraturan Daerah No.10 yaitu sebesar  $\pm 26$  HRC, kemudian menganalisa sifat mampu las dan kepekaan retak baja berdasar komposisi dari material baja rel 42 tersebut.

Penelitian dari saudara Muhammad Yasin diatas, selanjutnya dikembangkan lebih lanjut oleh saudara Suci dengan penelitian yang berjudul “Pengaruh *Normalizing* Sambungan Las Rel 42 dengan Las Thermite pada Mutu Sambungan”. Penelitian tersebut dilakukan dengan tujuan mengetahui mutu sambungan las thermit pada rel 42 setelah mendapat perlakuan *Normalizing* dengan variasi temperatur  $800^{\circ}\text{C}$ ,  $850^{\circ}\text{C}$ , dan  $900^{\circ}\text{C}$ . *Normalizing* tersebut merupakan bagian dari proses *Post Welding Heat Treatment (PWHT)*. Dalam proses *Normalizing* tersebut diikuti proses pendinginan yang lambat pada temperatur ruang, sehingga nantinya akan terbentuk struktur material yang bersifat ferrit-pearlit. Setelah dilakukan uji kekerasan dan foto struktur mikro, diketahui telah terjadi penyeragaman struktur mikro pada daerah *base*, *Haz*, dan las dengan nilai kekerasan yang semakin menurun seiring tingginya temperatur perlakuan *Normalizing*. Hanya saja, secara umum nilai kekerasan yang dihasilkan menjadi lebih rendah pada daerah *base*, *Haz*, dan Las yaitu dari yang sebelum perlakuan sebesar  $\pm 26$  HRC (Standard PT KAI) turun menjadi  $\pm 20$  HRC setelah perlakuan *Normalizing*.

Dari uraian referensi diatas, maka dikembangkan penelitian berkelanjutan dengan judul “Pengaruh *Post Weld Heat Treatment (PWHT) - Tempering* pada Sambungan *Medium Carbon Steel* NP-42 dengan Las Thermit terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro” yang bertujuan untuk mendapatkan keseragaman struktur mikro pada daerah *base*, *Haz*, dan Las sehingga meminimalisir adanya tegangan sisa akibat proses las thermit diantara ketiga daerah tersebut. Selain itu untuk mendapatkan nilai kekerasan material yang tinggi sesuai dengan standar tertinggi dari PT KAI yaitu  $\pm 39$  HRC untuk *premium class*.

## 2. Bahan dan Metode Penelitian

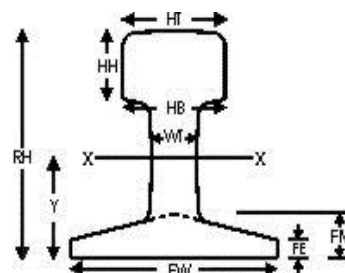
Material yang digunakan yaitu *medium carbon steel* yang umum digunakan oleh industri kereta api adalah baja NP-42. Setiap baja rel mempunyai tiga bagian yaitu kepala rel (*rail head*), leher (*rail web*), dan kaki (*rail foot*). Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2 berikut:



Gambar 1. Rel baja NP-42

Keterangan :

HT – Tinggi total	= 138 mm
BW – Lebar dasar	= 110 mm
HW – Lebar Kepala	= 68,5 mm
W – Leher	= 13,5 mm
HD – Tinggi Kepala	= 47,625 mm
FD – Fishing	= 96,8375 mm
BD – Tinggi Dasar	= 28,575 mm



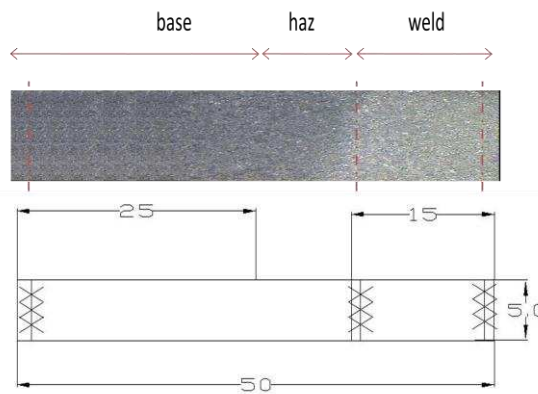
Gambar 2. Dimensi Baja NP-42

Untuk hasil uji komposisi Baja NP42 diketahui kandungan Fe hingga 97.73%, dengan carbon 0.56%. Oleh sebab itu NP42 merupakan medium carbon steels, dimana medium carbon steel untuk klasifikasi baja dengan kandungan carbon 0.2% - 0.5% C.

Dalam penelitian ini yang diuji adalah pada bagian kepala rel. Spesimen yang dipersiapkan memiliki dimensi  $p \times l \times t$  yaitu (50x0,5x0,5) mm. Spesimen yang dipersiapkan berjumlah 4 batang yang nantinya akan mendapat perlakuan PWHT-tempering dengan temperatur 425°C, 475°C, 525°C, dan 575°C. Spesimen-spesimen tersebut memiliki tiga daerah utama, yaitu *base*, *HAZ* (*Head Affected Zone*), dan daerah las. Ketiga daerah tersebut akan diuji dengan uji kekerasan dan foto struktur mikro. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4 berikut ini :

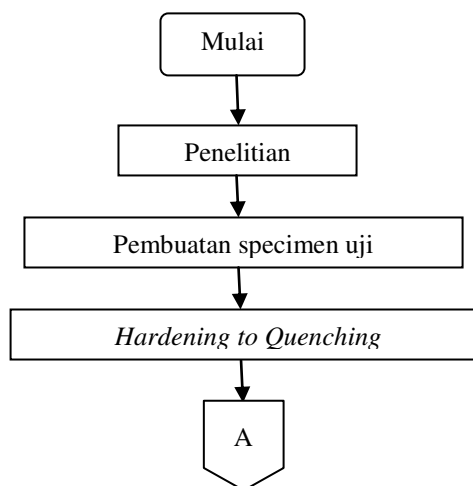


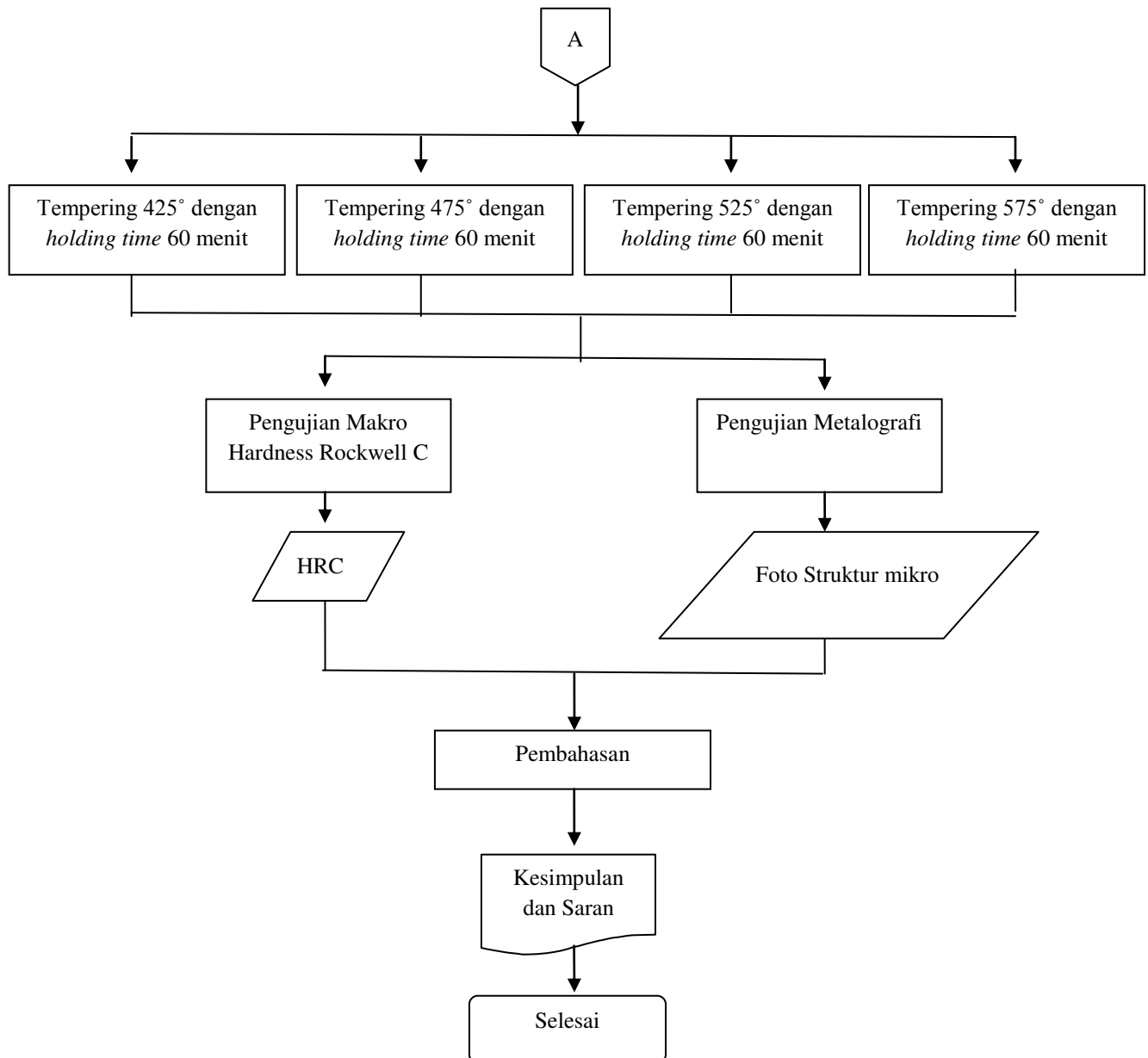
**Gambar 3.** Spesimen NP-42



**Gambar 4.** Daerah pengujian kekerasan dan struktur mikro

Adapun untuk lebih jelasnya metode penelitian yang dilakukan, dapat dilihat pada Gambar 5 pada diagram alir penelitian berikut :





Gambar 5. Diagram alir penelitian

### 3. Hasil dan Pembahasan

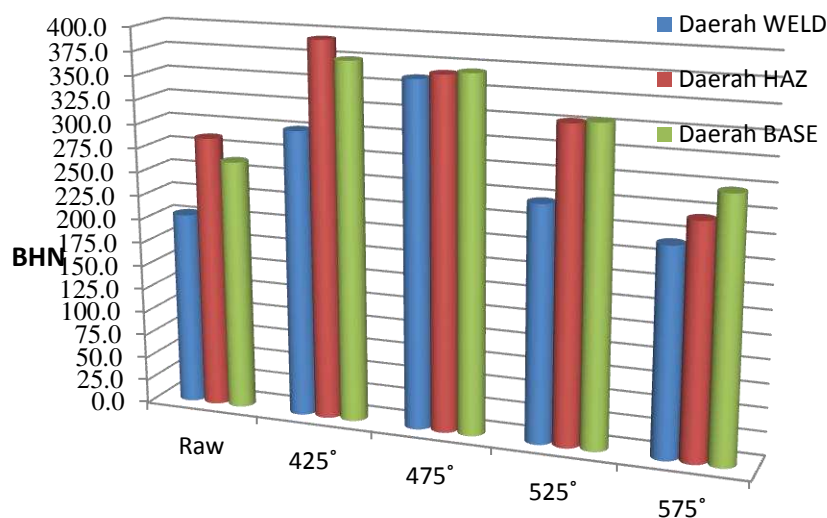
*Post weld heat treatment – tempering* dilakukan untuk mendapatkan keseragaman nilai kekerasan dan struktur butir. Untuk mengetahui keseragaman struktur butir tersebut, maka dilakukan 1) *pengujian kekerasan* dan 2) *pengujian metalografi*. Pengujian kekerasan yang digunakan adalah pengujian Rockwell.

Pengujian Rockwell digunakan karena lebih cocok dengan penampang material yang tidak terlalu luas. Pengujian Rockwell ini dilakukan di laboratorium S-1 Metalurgi Fisik Universitas Diponegoro Semarang. Pada pengujian ini, identasi dilakukan pada 3 titik dengan beban 150 N dan menggunakan standar ASTM E 92. Pengujian dilakukan di tiga bagian rel yaitu bagian *base*, *HAZ*, dan las. Perbandingan kekerasan pada non perlakuan dan sesudah mengalami perlakuan panas (*tempering*) nantinya akan terlihat setelah mengalami *PWHT-tempering* pada suhu 425°C, 475°C, 525°C, 575°C dengan waktu penahanan pada masing – masing suhu selama 60 menit. Material yang mengalami perlakuan *PWHT-tempering* seharusnya memiliki nilai kekerasan yang tinggi dan merata pada seluruh permukaannya. Harga kekerasan yang tinggi tersebut akibat proses *quenching*, yaitu pendinginan cepat dengan medium air sehingga terbentuk struktur fasa martensit. Hasil uji kekerasan tersebut dapat dilihat pada Tabel 1 berikut :

**Tabel 1.** Nilai Kekerasan Rockwell yang sudah dikonversi ke Brinell (HBN) Baja NP-42 tanpa perlakuan berbanding dengan perlakuan Tempering 425°C, 475°C, 525°C, 575°C :

No.	Temperatur	WELD	HAZ	BASE
1.	Tanpa perlakuan	203,3	286	263,3
2.	425°C	300,7	393,7	374,7
3.	475°C	360,7	366,7	369,7
4.	525°C	247,3	327,7	330,3
5.	575°C	217,7	244	272,7

Tabel 1 diatas dapat diperjelas dengan Gambar 6 berikut ini :

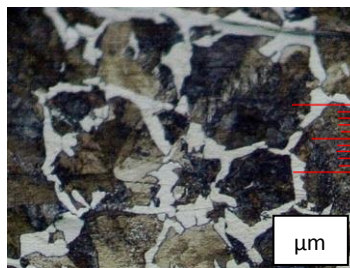


**Gambar 6.** Grafik Nilai Kekerasan

Pada Gambar 6 terlihat perbedaan nilai kekerasan antara daerah *base*, *haz*, dan *weld*. Pada dasarnya berdasarkan grafik nilai kekerasan setiap daerah akan membentuk kurva parabola, dimana akan didapat nilai dengan angka kekerasan yang tertinggi, kemudian bertahap mengalami penurunan. Untuk melihat keseragaman setelah perlakuan *PWHT – Tempering*, maka perlakuan yang paling sesuai adalah berdasarkan rentan temperature 475°C, dimana nilai kekerasannya tinggi dengan deviasi nilai kekerasan antara tiap daerah tidak terpaut jauh.

Pengujian metalografi digunakan untuk mencocokkan antara nilai kekerasan yang diperoleh dengan fasa struktur mikro yang terbentuk. Nilai kekerasan untuk fasa ferrit tentunya akan berbeda dengan nilai kekerasan untuk fasa martensit ataupun bainit. Oleh sebab itu, foto struktur mikro dapat digunakan sebagai acuan pembandingan hasil dari pengujian kekerasan.

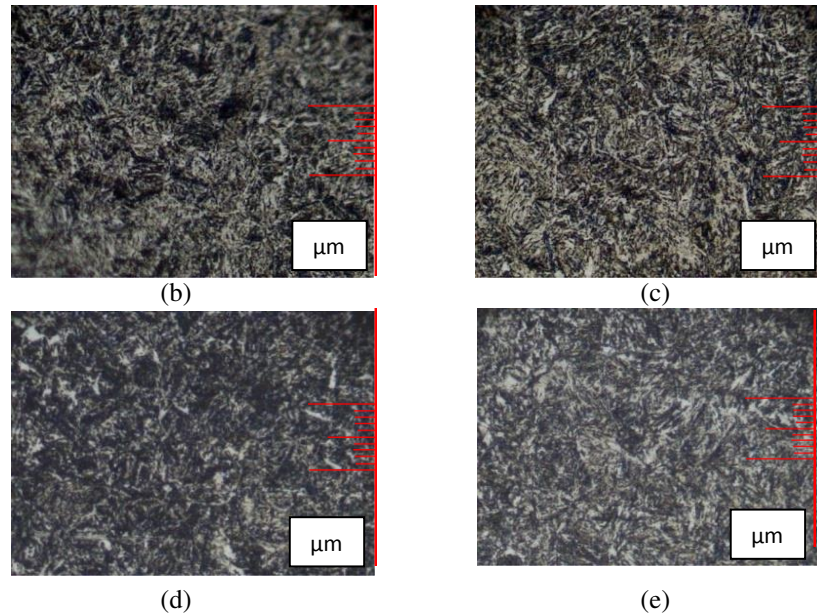
Hasil dari pengujian foto struktur mikro dapat dilihat pada Gambar 7 untuk daerah *base*, Gambar 8 untuk daerah HAZ, dan Gambar 9 untuk daerah las berikut ini :



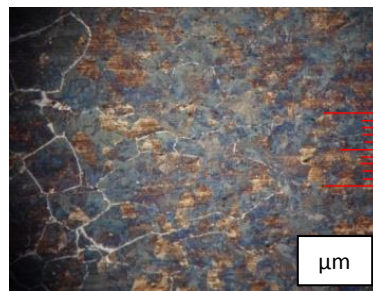
(a)

**Gambar 7.** Struktur Mikro Baja NP-42 perbesaran 200x pada bagian *Base* (a) Material tanpa perlakuan, (b) *Tempering* 425°C, (c) *Tempering* 475°C, (d) *Tempering* 525°C, (e) *Tempering* 575°C

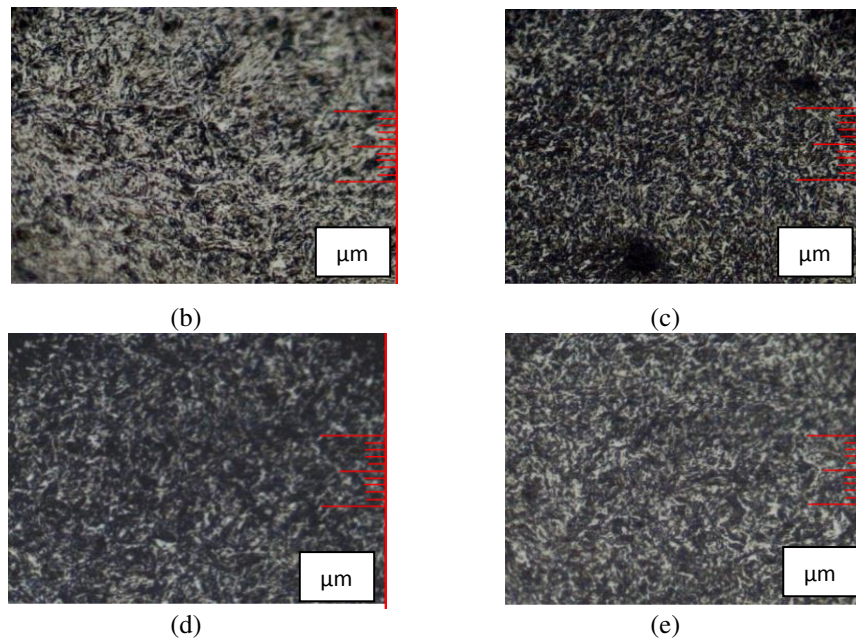




**Gambar 7.** Struktur Mikro Baja NP-42 perbesaran 200x pada bagian *Base* (a) Material tanpa perlakuan, (b) *Tempering* 425°C, (c) *Tempering* 475°C, (d) *Tempering* 525°C, (e) *Tempering* 525°C

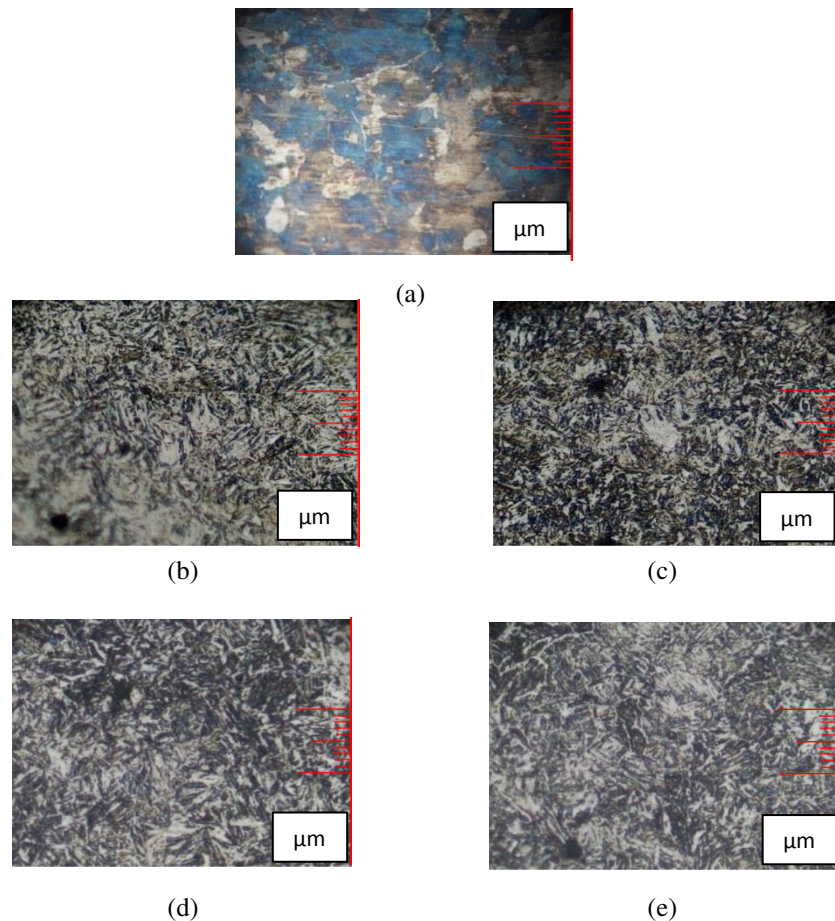


(a)



**Gambar 8.** Struktur Mikro Baja NP-42 perbesaran 200x pada bagian *HAZ* (a) Material tanpa perlakuan, (b) *Tempering* 425°C, (c) *Tempering* 475°C, (d) *Tempering* 525°C, (e) *Tempering* 525°C.

Daerah *HAZ* (*Heat Affected Zone*) pada gambar 8 diatas adalah daerah yang terpengaruh panas. Daerah *HAZ* merupakan daerah yang paling getas. Hal itu terbukti dari pengujian kekerasan pada material tanpa perlakuan dimana hasil nilai kekerasan pada daerah *HAZ* paling tinggi. Pada daerah ini dimungkinkan terjadinya patah pada material karena distribusi gaya yang diterima rel tidak merata dari daerah *base*, *HAZ*, dan las. Oleh sebab itu, salah satu tujuan dari *PWHT-tempering* adalah menyeragamkan harga kekerasan antara daerah *base*, *HAZ*, dan las.



**Gambar 9.** Struktur Mikro Baja NP-42 perbesaran 200x pada bagian las (a) Material tanpa perlakuan, (b) *Tempering* 425°C, (c) *Tempering* 475°C, (d) *Tempering* 525°C, (e) *Tempering* 525°C.

Pada Gambar 7, 8, dan 9 menunjukkan hasil dari foto struktur mikro pada setiap daerah dengan temperature 425°C, 475°C, 525°C, 575°C. Secara umum struktur fasa yang terbentuk adalah martensit. Martensit terbentuk pada saat dilakukan pendinginan cepat (air) dari fasa austenite >727°C menjadi suhu kamar martensit,  $M_0 \leq 200^\circ\text{C}$ . Martensit murni berbentuk seperti garis-garis jarum yang acak, Tempered martensit berupa garis-garis jarum yang sudah mengalami proses *variation aging* sehingga berubah ukuran dalam mikro menjadi lebih lebar. Semakin tinggi nilai temperatur *variation aging*, maka fasa martensit akan bertahap berubah menjadi fasa tempered-martensit (350°C-500°C) dan fasa ferrit-cementite (500°C-680°C). Pada hasil foto struktur mikro, foto dengan temperature  $\geq 500^\circ\text{C}$  tentunya memiliki nilai kekerasan yang cenderung rendah dibanding dengan foto dengan temperature  $\leq 500^\circ\text{C}$ , hal ini bila dibandingkan dengan Gambar 7 akan berbanding lurus, karena fasa tempered-martensit memiliki karakteristik yang lebih keras daripada struktur fasa ferrit-cementit. Fasa ferrit-cementit berbentuk garis-garis lebar hampir menyerupai butiran-butiran yang menggumpal, butiran-butiran tersebut dapat juga berupa pearlit, serta campuran cementit. Oleh sebab itu semakin tinggi *temperature aging* yang diberikan, maka nilai kekerasan cenderung semakin menurun karena terjadi perubahan struktur mikro kembali.

#### 4. Kesimpulan

Dari strukturmikrografi, tidak terlihat adanya perbedaan struktur butir yang mencolok, hal ini disebabkan terjadinya penyeragaman struktur butir mikro baja NP-42 setelah mengalami *post weld heat treatment – tempering*, sehingga untuk membedakan daerah kritis adalah dengan melihat nilai kekerasan tertingginya.

Nilai kekerasan material baja NP-42 cenderung mengalami penurunan setelah perlakuan *post weld heat treatment* – *tempering*. Nilai kekerasan tertinggi pada daerah *base metal* yaitu pada suhu 425°C (374,7 HB), kekerasan tertinggi pada daerah *HAZ metal* yaitu pada suhu 425°C (393,7 HB), kekerasan tertinggi pada daerah *weld metal* yaitu pada suhu 475°C (360,7 HB).

Nilai kekerasan mengalami keseragaman pada suhu 475°C antara daerah *base*, *Haz*, dan *weld* yaitu 369,7HB ;366,7HB ;360,7HB. Artinya bahwa pada temperatur tersebut terjadi penyeragaman struktur mikro yang sangat baik.

Struktur mikro baja NP-42 menunjukkan pola struktur martensit berupa jarum-jarum yang melintang secara acak. Martensit terbentuk karena perlakuan quenching dengan medium air. Pendinginan kritis ini menyebabkan material menjadi getas dan keras, oleh sebab itu dilakukan *post weld heat treatment* – *tempering* untuk meningkatkan keuletan dan ketangguhannya.

Struktur mikro menunjukkan daerah terang berupa fasa ferrit, sedangkan daerah gelap merupakan fasa pearlite (ferrit+sementit).

## 5. Daftar Pustaka

- [1] ASM, Metal HandBook.1991. *Heat Treating Volume 4*. Ohio
- [2] ASM, Metal Handbook. 1993. *Welding, Brazing, and Soldering Volume 6*. Ohio
- [3] ASM, Metals Handbook. 2004. *Metallography and Microstructure Volume 9*. Ohio
- [4] ASM, Metal Handbook.1997. *Material Selection and Steels*. Ohio
- [5] Aloraier, A.S., Ibrahim,R.N., Ghojel,J., 2004. *Eliminating Post-Weld Heat Treatment in Repair Welding by Temper Bead Technique: Role Bead Sequence in Metallurgical Changes*. Australia
- [6] Dieter, G.E.,1981. *Mechanical\_Metallurgy*, McGraw – Hill. New York
- [7] Bramfitt,L., Bruce., 1997. *Structure/Property Relationships in Irons and Steels,adapted from ASM Handbook Material Selection and Design*. Ohio
- [8] Purwanto, D., 2011. *Kekuatan Sambungan Las Thermit Rel R 54 Untuk Jalur Lintas Angkutan Batubara*. Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur – BPP Teknologi PUSPIPTK. Tangerang Selatan
- [9] Rosidi,P., Atmaja,S., 2005. *Prasarana Transportasi Komponen dan Desain Rail*. Yogyakarta
- [10] Rajan,T.V., Sharma,C.P., Sharma, A., 1997. *Heat Treatment Principles and Technique*. New Delhi
- [11] Yasin,M.,. 2010. *Analisa Kelayakan Las Thermit pada R 42*. Semarang
- [12] Willey,C., 2007. *Materials Science and Engineering - An Introduction 7th Edition*. United States