

## Pengaruh Proses *Annealing* dan *PWHT* Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Pada Baja S45c

Adi Ganda Putra, Martijanti, Septa Berti Santosa

TeknikMesin- UniversitasJenderalAhcmadYani  
Jl. Trs. Jend. Gatot Subroto PO. Box 807 Bandung 40285  
Email : adigandaputra@yahoo.com

### Abstrak

Baja S45C umumnya digunakan diberbagai industry otomotif untuk bahan baku komponen atau struktur mesin melalui proses pembentukan panas seperti pengerolan dan penempaan. Baja S45C yang digunakan umumnya hasil proses *cold rolling*, untuk mengembalikan kondisi baja *cold rolling* ke kondisi normal, maka dilakukan proses *annealing*. Bila dilakukan proses pengelasan, logam sekitar lasan akan mengalami siklus *thermal* yang relatif cepat sehingga dapat menyebabkan terjadinya perubahan sifat mekanik dan struktur mikro. Proses *Post Weld Heat Treatment (PWHT)* dilakukan agar hasil pengelasan memiliki sifat dan struktur mikro yang seragam. Proses pengelasan dilakukan pada sampel baja S45C kondisinya *rolled* dengan *anneal*. Baja S45C *as rolled* memiliki nilai kekerasan rata-rata 241,9 HVN dengan fasa yang muncul seimbang antara *ferrite* dengan *pearlite*. Setelah melalui proses *anneal* nilai rata-rata kekerasan turun menjadi 205,7 HVN, hal ini sesuai dengan struktur fasa *ferrite* yang menjadi lebih besar. Setelah melalui proses pengelasan nilai kekerasan akan meningkat sebanding dengan perubahan fasa *pearlite* dan *ferrite* yang terjadi. Kekerasan dan struktur mikro akan lebih stabil setelah diberi perlakuan *PWHT*. Untuk pengujian tarik, data yang diperoleh kurang bagus karena ada cacat lasan yang terjadi, dimana penetrasi saat pengelasan tidak baik (*incomplete penetration*).

**Keywords** : Baja S45C, *as rolled*, *anneal*, *pearlite*, *PWHT*

### Pendahuluan

Baja *JIS G 4051 grade S45C* umumnya digunakan oleh berbagai industry otomotif untuk bahan baku pembuat komponen atau struktur mesin seperti *connecting rods* (batang torak), *piston pins* (pena torak), *axles* (poros gandar), *shaft* (poros transmisi), *crankshafts* (poros engkol), *rails* (rel kereta api), *boilers* (bejana pembangkit uap) yang dibuat melalui proses pembentukan panas (pengerolan, penempaan). Pada umumnya tipe baja karbon ini mempunyai komposisi kimia dengan kandungan unsur paduan utama antara lain : 0.44%C, 0.57-0.69%Mn, 0.013-0.037%P, 0.033-0.038%S, 0.16-0.20%Si. Sedangkan kandungan unsur lain dalam jumlah yang relative sangat kecil dapat untuk memperbaiki sifat mekanis diantaranya seperti : Cr, Ni, Cu, Al, dan As.<sup>[7]</sup>

Pada baja yang telah melalui proses *cold rolling*, bila sebelumnya struktur butir baja adalah seragam ke segala arah (*equiaxed*) maka struktur butir baja hasil pengerolan adalah pipih dengan dimensi terpanjang searah dengan pengerolan, butiran-butiran yang terdeformasi yang berbentuk pipih ini mengandung

dislokasi dalam kerapatan yang tinggi. Untuk mengembalikan kondisi baja *cold rolling* ke kondisi normal, maka dilakukan proses *annealing*.

Pada proses pengelasan, logam sekitar lasan akan mengalami siklus *thermal* yang relatif cepat sehingga dapat menyebabkan terjadinya perubahan sifat mekanik dan struktur mikro. Proses *Post Weld Heat Treatment (PWHT)* dilakukan agar hasil pengelasan memiliki sifat dan struktur mikro yang seragam.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh *annealing* dan *PWHT* hasil proses pengelasan SMAW pada baja S45C terhadap sifat mekanik (distribusi kekerasan, *tensile strength*), analisa struktur mikro pada logam induk, *heat affected zone (HAZ)*, dan logam lasan.

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah :

- Sampel yang diteliti adalah baja S45C.
- Baja S45C dilakukan proses pengelasan menggunakan metoda SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)
- Elektroda yang digunakan pada proses pengelasan adalah RB-26 (KOBÉ) / E6013 (AWS A 5.1).
- Arus yang digunakan pada proses pengelasan 110 A.

- Sampel yang dilas (diteliti) adalah sampel S45C hasil *Roll (as received)* dengan sampel S45C hasil *annealing*.
- Pengujian yang dilakukan adalah :
  - Pengamatan perubahan struktur mikro sebelum dan sesudah perlakuan panas
  - Pengamatan pola perubahan distribusi kekerasan sebelum dan sesudah perlakuan panas
  - Pengamatan pola kekuatan setelah PWHT
- Sampel berbentuk plat tebal 14 mm, dengan kampuh berbentuk X (Double V)

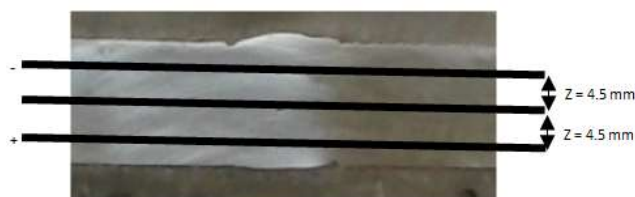
### Metode Penelitian

Sampel baja S45C dimensi 14 mm x 100 mm x 200 mm sebanyak 2 buah. Satu sampel di proses *heat treatment* dengan proses *annealing* pada suhu 850 °C. Kemudian sampel *as received/as rolled* dilas dengan sampel hasil *annealing* menggunakan metoda SMAW bentuk kampuh X. Setelah dilas, spesimen dipotong sesuai dengan keperluan pengujian. Dimensi 105 mm x 14 mm x 14 mm dibuat 2 sample, satu sampel *as welded* untuk pengujian kekerasan dan analisa struktur mikro, serta sample kedua untuk pengujian hasil PWHT adalah analisa struktur mikro dan uji keras.

Spesimen dipotong dengan dimensi 14 mm x 20 mm x 200 mm sebanyak empat spesimen untuk pengujian kekuatan tarik. Dua sampel untuk pengujian *as welded* uji tarik dan dua sampel untuk pengujian tarik hasil PWHT. Spesimen uji tarik menggunakan standar ASTM E8.

### Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan metoda Vickers Microhardness dilakukan 3 kali pengujian pada tiap spesimen. Pengujian pertama diambil 4,5 mm dari tengah-tengah lebar sampel ( $Z = -4,5$  mm). Pengujian kedua dilakukan tepat di tengah-tengah lebar sampel ( $Z = 0$  mm). Pengujian ketiga dilakukan 4,5 mm dari tengah-tengah lebar sampel ( $Z = 4,5$  mm). Gambar 1. memperlihatkan posisi garis pengujian kekerasan yang dilakukan.



Gambar 1. Posisi garis pengujian kekerasan

### Analisa Struktur Mikro

#### *As received* dan *Annealing*

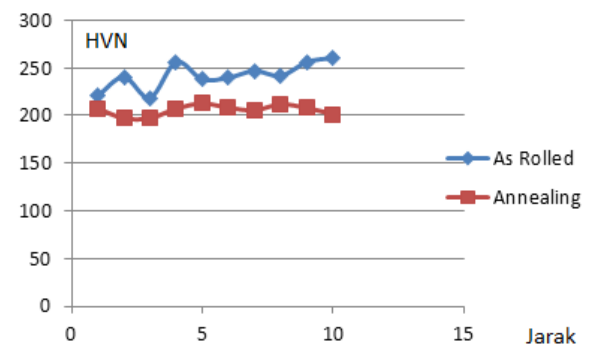
Tujuan metalografi (analisa struktur mikro) adalah melihat perubahan fasa yang terjadi akibat perlakuan panas yang diberikan. Selain kualitas mikroskop yang digunakan, kualitas pengampelasan, *polishing* sampai pengetsaan berperan dalam pengambilan gambar struktur mikro. Dalam penelitian ini, penyajian gambar stuktur mikro memakai *scale bar* 20 μm dengan perbesaran 1000 kali. Semua sampel pada penelitian ini menggunakan etsa Nital 3%.

### Pengujian Tarik

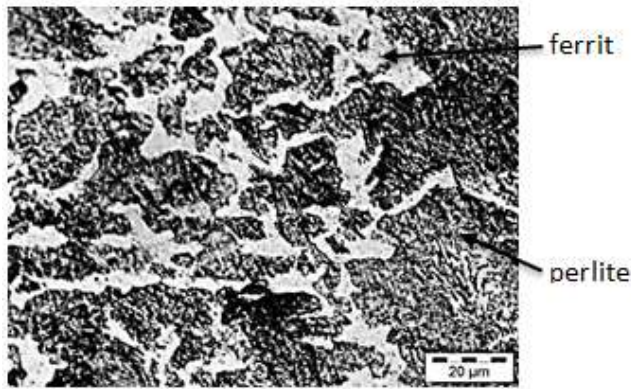
Uji tarik dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan dari sampel yang diteliti. Nilai kekuatan yang diperoleh berupa *ultimate tensile strength* (UTS) dan *yield strength* (YS). Hasil uji tarik ini juga akan memberikan gambaran daerah terlemah pada spesimen yang diuji. Pengujian ini dilakukan pada empat spesimen. Dua spesimen mengalami perlakuan PWHT dan dua spesimen lagi bersifat sebagai *as welded*.

### Hasil dan Pembahasan

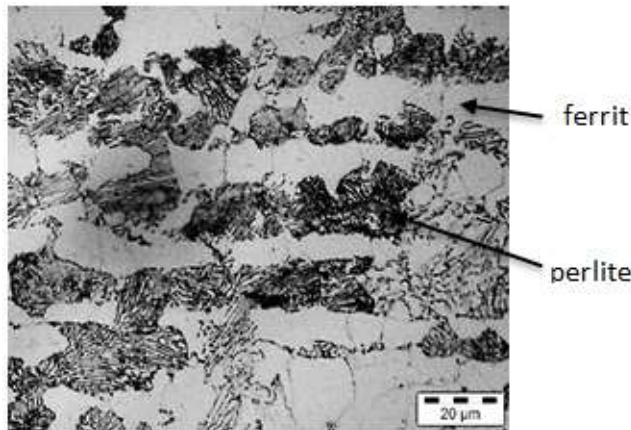
Gambar 2 memperlihatkan grafik nilai kekerasan material S45C sebelum di las, terlihat bahwa baja hasil *annealing* lebih lunak. Rata-rata nilai kekerasan pada S45C *as received* adalah 241 HVN, sedangkan setelah melalui proses *Annealing*, turun menjadi 205 HVN. Gambar 3 memperlihatkan struktur mikro baja sebelum dilas, Gambar 4. Memperlihatkan struktur butiran *ferrite* (warna terang) membesar akibat proses *annealing*, hal ini berpengaruh terhadap penurunan kekerasan. Hasil uji kekerasannya *as received/as rolled* lebih tinggi dari hasil *annealing*, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Grafik distribusi nilai kekerasan baja S45C *as rolled* dan hasil *annealing*



Gambar 3. Struktur mikro baja S45C as received



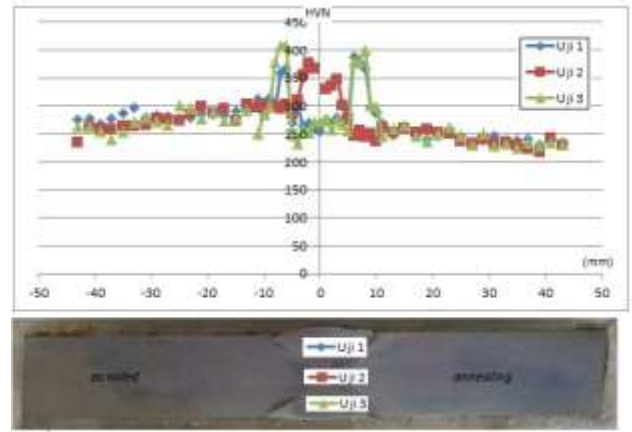
Gambar 4. Struktur mikro baja S45C annealing

### Pengaruh Lasan Terhadap Distribusi Kekerasan

Pada saat proses pengelasan terjadi siklus panas yang dapat mempengaruhi perubahan nilai kekerasan. Pada daerah yang diteliti distribusi kekerasannya yaitu pada jarak 43 mm dari pusat lasan. Tabel 1. menunjukkan nilai kekerasan rata-rata di daerah lasan. Hasil pengelesan menyebabkan terjadi peningkatan kekerasanan. Nilai kekerasan naik sekitar 40 HVN, kecuali pada daerah HAZ nilai kekerasan yang naik relatif tinggi yaitu sekitar 120-160 HVN. Kekerasan rata-rata hasil lasan sebesar 308,2 HVN. Gambar 5. memperlihatkan distribusi kekerasan baja S45C hasil lasan.

Tabel 1. Nilai rata-rata uji keras setelah di las

Daerah Uji Keras	Nilai rata-rata kekerasan (HVN)
As received S45C (base metal)	281.2
HAZ pada as received	377.5
Weld Metal	266.9
HAZ pada Annealing	367.7
Annealing S45C (base metal)	247.8



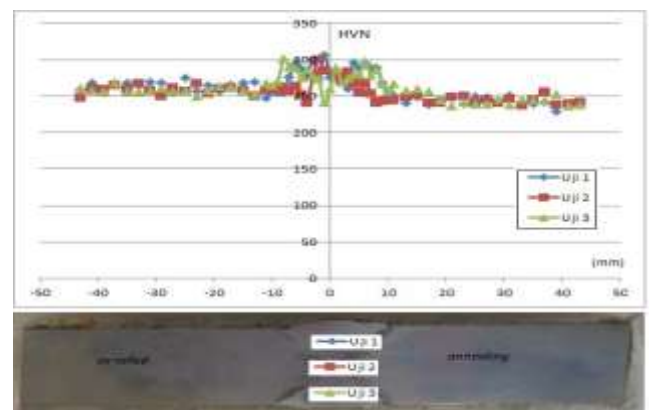
Gambar 5. Grafik distribusi nilai kekerasan baja S45C hasil pengelasan (as welded)

### Pengaruh Temperatur PWHT Terhadap Distribusi Kekerasan

Perlakuan panas yang dilakukan setelah pengelasan dapat menyebabkan menurunkan tegangan sisa, meningkatkan keuletan dan meningkatkan ketahanan terhadap patah getas. Dalam proses pengelasan, bagian yang dilas menerima panas pengelasan setempat dan selama proses berjalan suhunya berubah sehingga distribusi suhu tidak merata.

Tabel 2. Nilai rata-rata uji keras setelah di PWHT

Daerah Uji Keras	Nilai rata-rata kekerasan (HVN)
As received S45C (base metal)	260
HAZ pada as received	289.3
Weld Metal	278,6
HAZ pada Annealing	286.1
Annealing S45C (base metal)	246.7



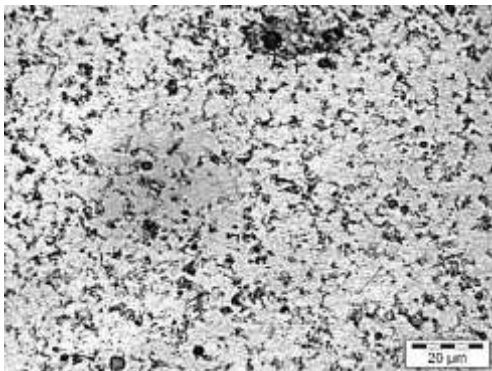
Gambar 6. Grafik distribusi nilai kekerasan baja S45C hasil PWHT



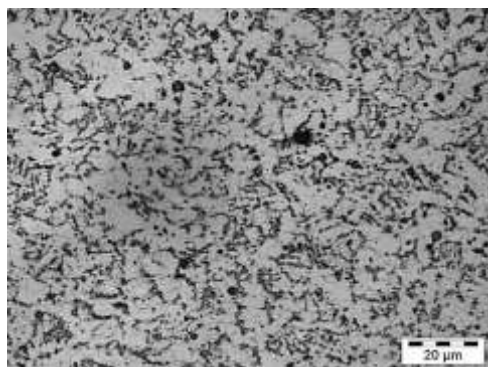
Proses perlakuan panas setelah pengelasan dapat menurunkan distribusi angka kekerasan. Temperatur *PWHT* yang diberikan pada baja S45C dilakukan pada temperatur 610°C dengan waktu penahanan 60 menit. Hal ini bertujuan untuk mengetahui perubahan kekerasan yang terjadi pada saat dilakukan perubahan temperatur dalam *PWHT*. Penurunan kekerasan rata-rata di daerah *Heat Affected Zone (HAZ)* sebesar 84,5 HVN seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Kekerasan rata-rata daerah lasan setelah di *PWHT* sebesar 272,1 HVN

### Struktur Mikro Daerah Lasan

Gambar 7 memperlihatkan struktur mikro daerah logam las pada sampel *as welded*, terlihat bahwa daerah ini didominasi oleh warna terang yang menunjukkan fasa *ferrite*. Selain fasa *ferrite*, pada daerah ini juga terdapat fasa *pearlite* (warna gelap). Setelah diberikan *PWHT* hingga temperatur 610°C, teridentifikasi terjadi pertumbuhan butir fasa *ferrite* yang ukuran butirnya membesar, seperti diperlihatkan pada Gambar 8.



Gambar 7. Struktur Mikro daerah Lasan *as welded*



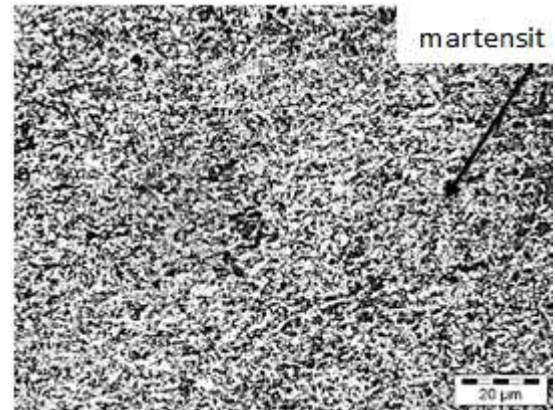
Gambar 8. Struktur Mikro daerah Lasan *PWHT*

### Struktur Mikro HAZ area S45C *as rolled*

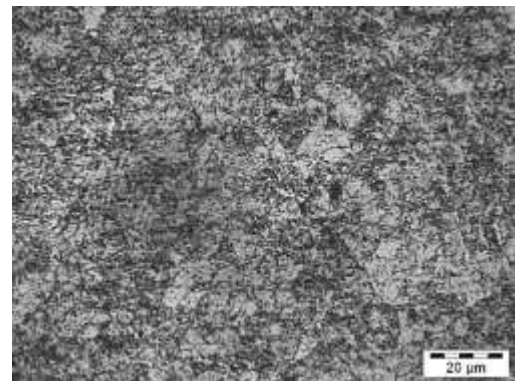
HAZ merupakan daerah perpaduan antara logam las (elektroda) dengan logam dasar. Gambar

9 memperlihatkan struktur mikro daerah HAZ pada sampel baja S45C *as rolled/as received*, teridentifikasi merupakan fasa *martensit*.

Setelah diberikan *PWHT* hingga temperatur 610°C, terjadi perubahan fasa. Pada temperatur ini terjadi transformasi fasa *martensit* menjadi *ferrite* dan *pearlite*. Selain itu juga terjadi perubahan ukuran butir akibat *PWHT* seperti diperlihatkan pada Gambar 10.



Gambar 9. Struktur Mikro daerah HAZ *as welded*

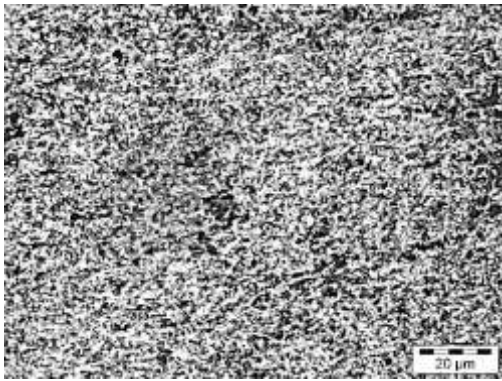


Gambar 10. Struktur Mikro daerah HAZ *PWHT*

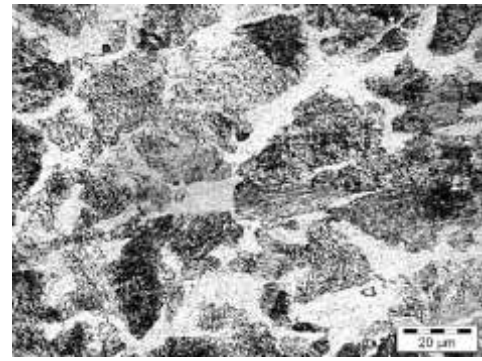
### Struktur Mikro HAZ area S45C *annealing*

Gambar 11 memperlihatkan struktur mikro daerah HAZ pada sampel baja S45C *annealing* hasil proses pengelasan. Fasa yang terbentuk adalah *martensit*.

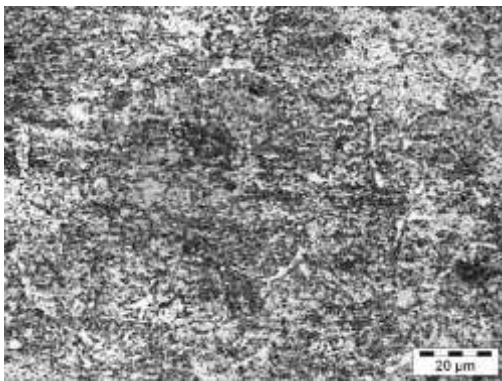
Setelah diberikan *PWHT* hingga temperatur 610°C, terjadi transformasi fasa dari *martensit* menjadi *ferrite* dan *pearlite*, seperti ditunjukkan pada Gambar 12.



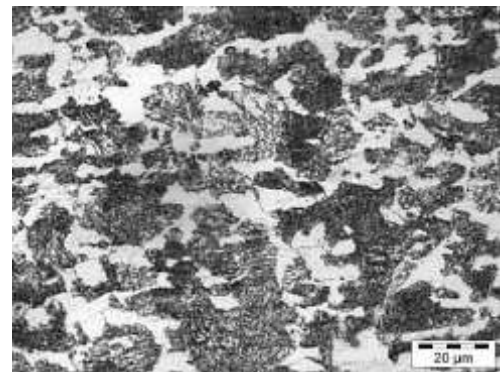
**Gambar 11.** Struktur Mikro daerah HAZ area *annealing as welded*



**Gambar 13.** Struktur Mikro daerah *base metal* area *as rolled as welded*



**Gambar 12.** Struktur Mikro daerah HAZ area *annealing PWHT*



**Gambar 14.** Struktur Mikro daerah *base metal* area *as rolled PWHT*

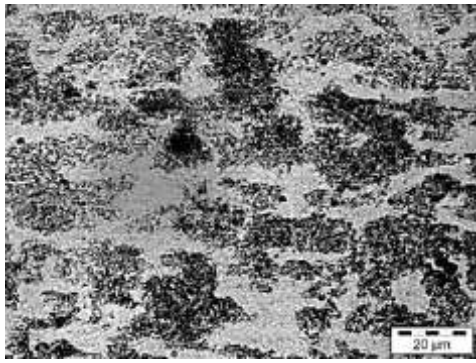
#### **Struktur Mikro Base Metal area *as rolled***

Daerah *base metal* merupakan daerah yang jauh dan tidak terpengaruh proses pengelasan. Daerah ini memiliki kekerasan yang lebih rendah dan memiliki fasa *ferrite* dan *perlite* kasar dibandingkan dua daerah lainnya (*HAZ* dan *weld metal*) karena terbentuknya fasa *martensite* dan *perlite* halus. Pada daerah *base metal* yang diteliti terdapat perubahan fasa yang terjadi karena adanya panas yang terserap dari pengaruh lasan, sebagai bukti fasa *ferrite* dan *pearlite* pada *base metal* terlihat membesar, seperti diperlihatkan pada Gambar 13. Hal ini juga berpengaruh terhadap terjadinya penurunan kekerasan sebesar 20 HVN,.

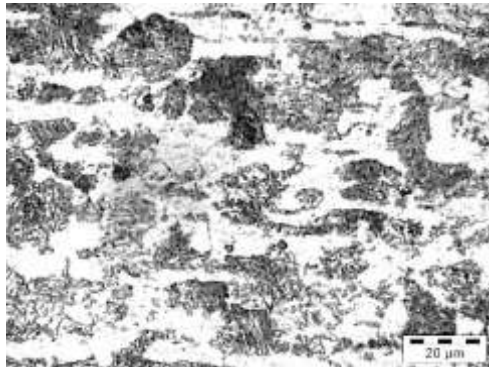
*PWHT* akan menyebabkan struktur fasa *ferrite* dan *pearlite* di daerah *base metal* *as rolled* terdistribusi merata (homogen) seperti diperlihatkan pada Gambar 14.

#### **Struktur Mikro Base Metal area annealing**

Sama halnya dengan area *as rolled* area *annealing* pun mengalami perubahan fasa *pearlite* yang kelihatan lebih besar dibandingkan sebelum dilas seperti diperlihatkan pada Gambar 15. Setelah melalui *PWHT* terlihat area *pearlite* dan *ferrite* lebih halus (mengecil) seperti diperlihatkan pada Gambar 16. Dari analisa struktur mikro pada tiga daerah lasan yaitu *base metal*, *HAZ* dan *weld metal* (logam las) mengalami siklus thermal yang menyebabkan perubahan struktur mikro sehingga mengakibatkan perubahan sifat mekanik baja S45C. Keberadaan fasa *martensit* dan *peralite* menyebabkan nilai kekerasan logam semakin tinggi. Sedangkan fasa *ferrite* bersifat *ductile* dengan nilai kekerasan yang lebih rendah.



**Gambar 15.** Struktur Mikro daerah *base metal area annealing as welded*



**Gambar 16.** Struktur Mikro daerah *base metal area annealing PWHT*

### Pengaruh Temperatur *PWHT* Terhadap Kekuatan Tarik

Uji tarik dilakukan pada 4 sampel, 2 sampel untuk hasil lasan (*as welded*) dan 2 sampel hasil *PWHT*. Hasil dari 4 kali pengujian, ditemukan patahan di daerah yang sama yaitu daerah lasan (Gambar 18), hal ini terjadi karena ditemukan cacat lasan pada daerah pengelasan. Gambar 19 memperlihatkan cacat yang terjadi karena kurang *penetrasi* ketika melakukan pengelasan (*incomplete penetration*). Idealnya patahan yang terjadi pada daerah base metal yang memiliki kekerasan lebih rendah dari daerah lasan.

**Tabel 3.** Hasil Uji Tarik

No.	Kondisi	Elongation (%)	YS (Mpa)	UTS (MPa)
1	<i>As welded</i>	8	342,71	485,19
2	<i>As welded</i>	8	353,27	448,87
3	<i>PWHT</i>	8	364,30	473,81
4	<i>PWHT</i>	10	366,48	510,79

Gambar 17 dan 18 memperlihatkan spesimen uji tarik sebelum di uji tarik dan setelah di uji tarik.

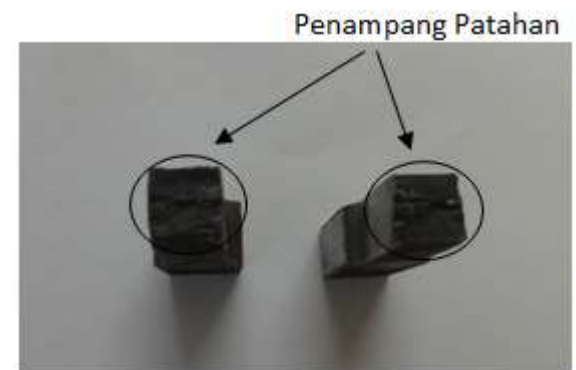
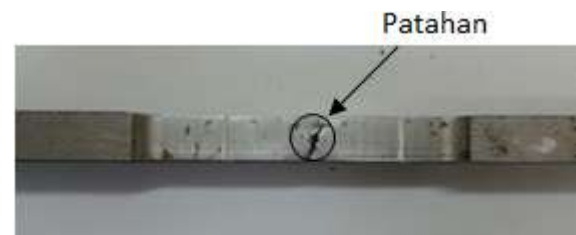


**Gambar 17.** Spesimen sebelum diuji tarik



**Gambar 18.** Spesimen setelah diuji tarik

Gambar 19 memperlihatkan spesimen hasil uji tarik, spesimen putus pada daerah lasan.



**Gambar 19.** Daerah patahan dan penampang patahan hasil uji tarik.

### Kesimpulan

1. Temperatur *annealing* menyebabkan kekerasan menurun, sebanding dengan fasa *ferrite* yang lebih dominan dibandingkan pada kondisi *as rolled*. Nilai kekerasan baja S45C sebelum di *anneal* memiliki nilai rata-rata kekerasan 241 HVN dan setelah di *anneal* turun menjadi 205 HVN.
2. *PWHT* menyebabkan nilai kekerasan menurun. Kekerasan tertinggi berada pada keadaan *as welded area HAZ* sebesar 408,7 HVN. Setelah di

*PWHT* pada jarak (titik uji) yang sama diperoleh kekerasan sebesar 290 HVN.

3. Daerah yang memiliki nilai kekerasan paling tinggi pada sampel adalah daerah HAZ dengan fasa *martensit*. Sedangkan daerah yang memiliki nilai kekerasan paling rendah adalah daerah *base metal* dengan fasa *ferrite* dan *pearlite*.
4. Penurunan kekerasan sebanding dengan perubahan struktur mikro. Daerah yang memiliki ukuran butiran yang lebih kecil memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi. Penyusun struktur mikro utama pada daerah lasan dan *base metal* adalah *ferrite* dan *pearlite*.
5. Nilai ideal UTS pada baja S45C setelah dilas adalah 794 MPa, dan patahan yang terjadi berada pada daerah *base metal*.

### Referensi

1. \_\_\_\_\_, (2004) *Metals Handbook*, Volume 3.01 (*Mechanical Testing\_Elevated and Low Temperature Test\_Metallography*), American Society for Metal, Ohio
2. Basuki, E. A. (2005), *Metallurgi Fisika*, Bandung, Departemen Pertambangan, ITB
3. Basuki, E. A. (2005), *Transformasi Fasa dan Perlakuan Panas Logam*, Bandung, Departemen Pertambangan, ITB
4. Koos Sardjono, K.P., *Pengaruh Hardening pada Baja JIS G 4051 Grade S45C terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro*, Tangerang, B2TKS/BPPT, PUSPITEK.
5. Porter, D.A., & Easterling, K. (2008), *Phase Transformation in Metals and Alloys*, Boca Raton, CRC Press.
6. Reza Pebrian, *Studi Pengaruh Media Quenching dan Temperatur Tempering Terhadap Sifat Mekanik Baja Tahan Aus*, Teknik Metalurgi FTSM ITB, 2012.
7. Sindo Kou, *Welding Metallurgy*, Second Edition, A John Wiley & Sons, Inc., Publication, 2002
8. Wiryosumarto, Harsono, Okumura, Toshie (2000), *Teknologi Pengelasan Logam*, Jakarta, PT. Pradnya Paramita.