

---

## **PENGARUH SIFAT MEKANIK HASIL WELD OVERLAY CLADDING BAJA KARBON 0.35% C DENGAN ELEKTRODA E 309-16 DAN E 316-16**

---

*Yusril Irwan*

*Jurusan Teknik Mesin  
Institut teknologi nasional*

### **ABSTRAK**

*Baja karbon sedang adalah baja yang memiliki unsur karbon antara 0,25 %C hingga 0,55 %C. Baja ini memiliki kelemahan mendasar, yaitu rentan terhadap korosi. Beberapa cara untuk menghambat laju korosi pada baja salah satunya adalah dengan melapisi permukaan menggunakan proses weld overlay cladding (WOC). Proses ini menggunakan las busur listrik, yaitu las busur listrik elektroda terbungkus (SMAW). Pemilihan elektroda pada proses WOC sangat menentukan hasil pelapisan yang disesuaikan dengan sifat-sifat yang dimiliki oleh material dasar dan mengacu pada standar yang telah ditetapkan. Hasil dari proses pengelasan biasanya akan mempengaruhi sifat mekanik dari logam dasar. Makalah ini akan melihat pengaruh sifat-sifat mekanik hasil Proses WOC dengan menggunakan elektroda baja tahan karat E 309-16 dengan E 316-16. Pengujian yang dilakukan adalah uji keras, uji tarik, uji impak, uji bending, serta analisis struktur mikro. Dari hasil proses WOC yang dilakukan terjadi peningkatan kekuatan dan kekerasan tetapi terjadi penurunan ketangguhan dari baja. Penggunaan Elektroda E 309-16 lebih tepat untuk proses WOC untuk baja karbon sedang.*

*Kata Kunci : Weld Overlay Cladding, Elektroda, Sifat Mekanik*

### **ABSTRACT**

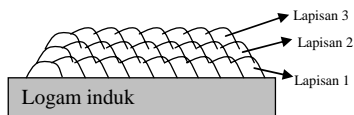
*Medium carbon steel is steel with carbonic properties between 0.25%C and 0.55%C. This type of carbon has basic weakness, which is corrosive vulnerability. One technique to overcome the weakness is by shielding the surface using weld overlay cladding process. This process uses Arc Welding, the Arc Welding electrode-covered. The choice of electrode in the WOC process determines the shielding result, which is adjusted with the characteristics owned by the basic material and in accordance with the standard. Generally, the result of welding process influences mechanical properties of the basic metal. This paper analyzes the influence of mechanical properties as the result of WOC process using stainless steel electrodes E 309-16 and E 316-16. The tests include hardness test, Tensile test, impact test, bending test, and microstructure analysis. The WOC test shows the increase of strength and hardness, but also the decrease of steel Toughness. The use of electrode 309-16 is more appropriate to WOC process for medium carbon steel.*

*Keywords : Weld Overlay Cladding, Electrode, mechanical properties*

## PENDAHULUAN

Penggunaan baja pada saat ini tidak tergantikan sebagai bahan konstruksi di industri manufaktur, hal ini dikarenakan baja memiliki keunggulan sifat mekanis yang baik dibandingkan dengan material teknik jenis lain. Selain itu, sifat mekanis yang dimiliki baja dapat divariasikan sesuai dengan kebutuhan dan penggunaannya, namun baja memiliki suatu kekurangan yaitu korosi.

Salah satu cara untuk menghambat laju korosi pada baja karbon adalah melakukan proses *Cladding* atau penambahan lapisan pada permukaan baja (Sriwidharto, 2004). Proses *cladding* terdiri dari bermacam-macam jenis, tergantung dari proses pengerjaannya. Proses tersebut antara lain *Roll Cladding* (pelapisan permukaan dengan cara rolling), *Cladding by Explosion Welding (EXW)*, *Furnace Braze-cladding in Vacuum*, *Press-braze Cladding*, *Furnace Braze Cladding with Flux or Atmospheres*, dan *Weld Overlay Cladding (WOC)*. Dari sekian banyak proses *cladding*, yang paling banyak digunakan adalah proses *Weld Overlay Cladding*. Proses *WOC* merupakan proses pelapisan permukaan suatu material seperti gambar 1 dengan proses pengelasan. Proses pengelasan yang digunakan secara manual seperti *GMAW*, *SAW*, *SMAW* dalam penelitian ini metoda yang digunakan yaitu metode pengelasan *SMAW* (Elektroda Terbungkus) (Welding Handbooks Sec. 5. 1985)



Gambar 1 Weld Overlay Cladding (Welding Handbooks Sec. 5. 1985).

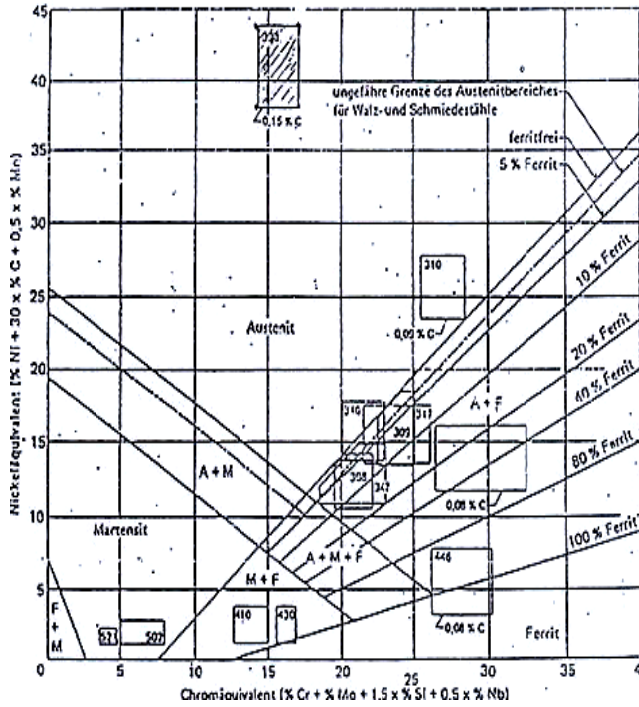
Pada proses *WOC* untuk ketahanan korosi, elektroda yang digunakan adalah elektroda yang tidak mudah terkorosi, yaitu elektroda *Stainless Steel*. Elektroda pelapis memiliki tiga karakter penting dalam pengerjaannya, karakteristik tersebut adalah; dilusi, ketebalan deposit dan kecepatan deposisi (*ASME Sec. IX-QW 214*, 1985). Pemilihan elektroda dalam proses *WOC* harus mampu membatasi dilusi. Peningkatan dilusi

terjadi ketika peningkatan deposisi rata-rata, untuk baja karbon rendah, deposit dan dilusi dari karbon logam pengisi harus dipertahankan dalam kondisi *low level* untuk menjaga ketangguhan dari hasil proses. Bahan pelapis proses *WOC* pada baja untuk ketahanan korosi umumnya menggunakan jenis material seperti *austenitic stainless steel*, *nickel* dan bahan nikel dasar (nikel-chromium-iron, nikel-copper alloys) (Surahman, T, 2004). Hasil dari proses *WOC* dengan metoda *SMAW* dapat mengubah sifat mekanik dari material induk, akibat pengaruh temperatur pengelasan, perubahan komposisi kimia dan pengaruh sifat mekanik dari elektroda pelapis ke material dasar. Pencapaian proses *deposition* pada proses *WOC* yang sempurna terhadap ketahanan korosi baja karbon membutuhkan ketelitian yang tinggi tentang metalurgi bahan dasar baja dan bahan pelapis (elektroda). Diagram Schaeffler dapat digunakan untuk memilih dan menentukan elektroda dalam pengelasan logam yang berbeda pada proses *WOC* (gambar2). Diagram Schaeffler ini juga mengilustrasikan struktur dari berbagai deposit las pada baja karbon dan persentase jumlah dilusi maksimum untuk setiap elektroda (Sriwidharto, 2004).

Data-data pada tabel 1 menunjukkan hubungan antara jenis elektroda dan dilusi pada karakteristik deposit. Proses pengelasan, prosedur pengelasan, dan pemilihan *filler metal* harus disesuaikan dengan persentase paduan baja untuk mencapai proses pelapisan based metal yang sempurna. Kesuksesan proses *WOC* tergantung pada jumlah paduan yang dilibatkan dalam proses, elektroda yang digunakan sebagai pelapis memiliki kriteria yang berbeda-beda (Sriwidharto, 2004). Kandungan bahan elektroda yang tidak memiliki cacat sangat bergantung pada jumlah karbon, *manganese*, atau *columbium* dengan silikon, *phospor*, dan sulfur yang rendah. Pada pelapisan dengan elektroda baja tahan karat harus memperhitungkan perbedaan koefisien muai, difusi karbon dari logam induk menuju *weld metal* dan pembentukan fasa sigma hal ini akan meningkatkan tegangan sisa dan menurunkan ketangguhan (Surahman, T. 2004). Koefisien muai panas *austenitic stainless steel* lebih tinggi satu setengah kali dari baja karbon oleh karena itu setiap waktu pada pelapisan dipanaskan dan

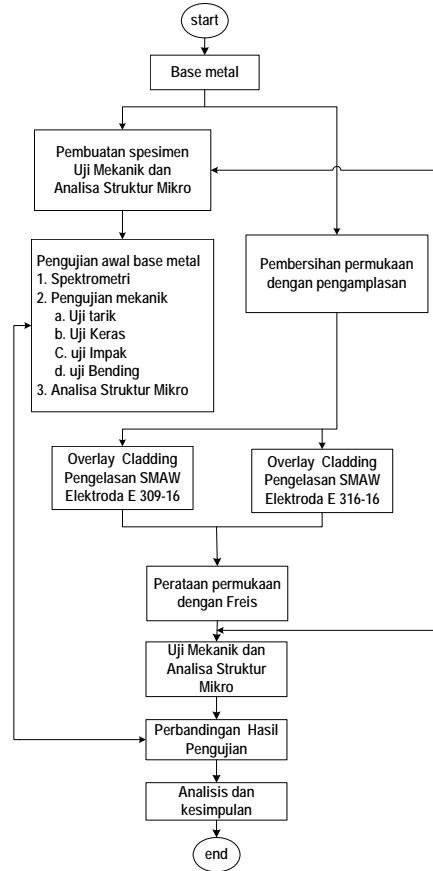
dinginkan. Perbedaan paduan antara pelapis dengan bahan dasar menyebabkan difusi dari

dalam penelitian dapat dilihat pada gambar 3 sebagai arah atau pedoman dari pengerjaan dan pengujian.



Gambar 2 Diagram Schaeffler (Sriwidharto, 2004).

Unsur Cr dan Mo dari elektroda dapat meningkatkan terbentuknya fasa intermetalik seperti fasa sigma, chi dan karbida. Persentase yang besar dari fasa sigma akan mengurai ketahanan terhadap korosi dan keuletan



Gambar 3 Diagram Alir Proses Pengujian.

Tabel 1 Persentase dilusi untuk komposisi (%Sriwidharto, 2004

Elektroda	Austenite Boundary (%)	Austenite & Martensite (%)	Ferrite (%)
E 308	13	20	5-10
E 316	39	47	11-12
E 309	10	40	8-10
E 310	-	59	0
E 309 Mo	15	50	5-10

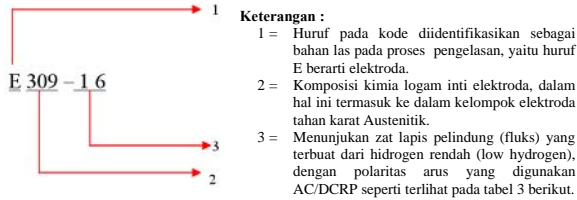
### METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini melihat perubahan sifat mekanik (kekerasan, kekuatan tarik, kekuatan lentur, ketangguhan) baja karbon sebelum dan sesudah proses WOC yang terjadi. Langkah-langkah yang dilakukan

Untuk mengetahui kondisi awal dari logam induk dilakukan pengujian spektrometri dan pengujian mekanik untuk mengetahui kekuatan tarik, kekerasan, ketangguhan dan analisis struktur mikro. Sebelum pengelasan permukaan baja di bersihkan dengan pengamplasan untuk menghilangkan kerak dan lemak serta untuk meratakan permukaan, karena proses WOC harus memperhatikan kemulusan dari permukaan logam induk yang akan dilapis. Logam induk yang akan dilapisi berbentuk pelat dengan ketebalan 10 mm, panjang 420 mm dan lebar 30 mm,

Proses WOC yang dilakukan pada baja karbon (0.35%C) menggunakan elektroda baja tahan karat E-309-16 dan E 316-16, merk *Lincoln Electric*. Penggunaan elektroda ini karena % dilusi ferrit yang rendah (<12%)

(gambar 2). Dilusi ferit yang tinggi akan meningkatkan kegetasan dari hasil WOC. Pengertian atau sistem penamaan dari elektroda *Stainless Steel* menurut Welding Handbooks Sec. 5. 1985. standar AWS adalah sebagai berikut :



Elektroda stainless steel E 309-16 dan E 316-16 merupakan jenis elektroda yang memiliki jenis fluks dengan hidrogen yang rendah (tabel 2), oleh karena itu pada penggunaannya elektroda ini harus dipanaskan pada temperatur 200°C hingga 300°C selama dua jam dan temperatur elektroda pada wal pengelasan harus dipertahankan pada temperatur  $\pm 80^\circ\text{C}$ . Hal ini bertujuan untuk menjaga agar elektroda pada saat pemakaiannya dalam keadaan kering. Pemanasan pada elektroda ini disesuaikan dengan ketentuan yang terdapat pada ASME Section II yang dimaksudkan untuk menghindari kelembaban pada fluk dari elektroda. Kelembaban pada elektroda sangat mempengaruhi hasil lasan atau pelapisan karena akan terdapat porositas atau cacat las.

**Tabel 2** Kode zat pelindung (fluks) dan polaritas arus elektroda. (Welding Handbooks Sec. 5. 1985. AWS .A 5.4)

Coating	CURRENT
14 - Iron powder, titania	AC/DCSP
15 - Low hydrogen potasium	DCRP
16 - Low hydrogen sodium	AC/DCRP
18 - Low hydrogen potasium , iron powder	AC/DCRP
24 - Iron powder, titania	AC/DCSP

Komposisi kimia yang terdapat pada elektroda *stainless steel* dapat dilihat pada tabel 3.

**Tabel 3.** Komposisi kimia yang terdapat pada elektroda (AWS A 5.4)

% Alloy	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	S	P	Cu
E 309-16	0,06	23	13	0,09	0,8	0,51	0,01	0,02	0,12
E 316-16	0,04	18,9	11	2,2	0,8	0,37	0,01	0,02	0,19

Sifat mekanik pada elektroda dapat dilihat dari tabel 4 dibawah ini.

**Tabel 4.** Sifat mekanik elektroda (AWS .A 5.4)

Jenis Elektroda	Yield Strength (Mpa)	Tensile Strength (Mpa)	Elongation (%)	Ferrite Number (%)
E 309-16	434-469	586-613	35-48	8-10
E 316-16	427-448	558-593	45-61	11-12

Prosedur untuk pengoperasian (arus yang digunakan) berdasarkan diameter dari elektroda E 309-16 dan E 316-16 dapat dilihat pada tabel 5

**Tabel 5** Prosedur pengoperasian elektroda E 309-16 dan E 316-16 (AWS .A 5.4)

Diameter (mm)	2,4	3,2	4	4,8
DC+/AC (Ampere)	30-60	55-120	80-140	115-190

Prosedur pengerjaan Proses WOC mengacu pada standar yang telah ditetapkan oleh ASME Sect. IX-QW 214. Pola lapisan yang digunakan yaitu pola melingkar yang dimulai dari pusat hingga menyebar dan menutupi semua permukaan baja dengan parameter pengelasan pada tabel 6

**Tabel 6.** Parameter-parameter pengelasan. (ASME Sect. IX-QW 214)

Mesin las	TP-450
Jumlah layer	tiga layer (lapis)
Tebal material sebelum dilapisi	10 mm
Tebal material setelah dilapisi	12 mm
Kecepatan pengelasan	22 cm/min per layer
Jumlah layer	tiga layer
Arus listrik yang digunakan	DC (120 A)
Voltase yang digunakan	23 volt.

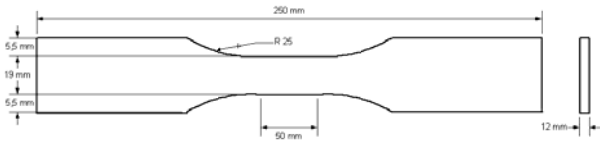
Tahap akhir dari proses WOC yaitu dengan melakukan *finishing* dengan menggunakan mesin freis sehingga didapat permukaan lapisan yang rata.

### Pembuatan Spesimen Uji

Untuk setiap jenis pengujian, baja karbon yang telah dilapisi ini dibagi dan dibentuk sesuai dengan dimensi pengujian yang sesuai dengan standar acuan.

### Uji Tarik

Mesin uji tarik yang digunakan adalah *Amsler* dengan beban maksimum 50 ton. Berdasarkan ASTM E-18 dimensi dari batang uji yang dapat dilihat pada gambar 4 :



Gambar 4 Dimensi spesimen uji tarik.

Pada pengujian tarik spesimen hasil *WOC* tidak di fres untuk penghalusan permukaan dengan tujuan melihat kekuatan tarik *original* hasil pelapisan seperti halnya pada spesimen uji bending.

### Uji Keras dan Analisa Struktru Mikro

Metode uji keras yang digunakan adalah metode *Vickers* (ASTM E 92,1915) dengan mesin yang di gunakan mikro Vicker *Mitutoyo Hardness Testing Machine MVK-HI*. Berdasarkan ASTM E.92, syarat-syarat yang harus dipenuhi untuk metode *Vickers* adalah sebagai berikut :

- Indentor yang digunakan adalah piramida intan .
- Beban yang diberikan 1 kg
- Lama indentasi 30 menit.

Spesimen uji keras dengan metode *Vickers* ini memerlukan persiapan khusus untuk permukaan, sebelum digunakan untuk uji keras, spesimen ini sekaligus dapat digunakan sebagai spesimen Analisis Struktur Mikro (ASM). Bentuk spesimen uji seperti pada gambar 5 dan parameter pengujian ASM terdapat pada tabel 7

Gambar 5 Spesimen Uji keras dan struktur

Tabel 7 Parameter Analisis Struktur Mikro.

Standar acuan	ASTM E 3-95
Mikroskop yang digunakan	Olympus (Optical Inverted Metallurgy Microscope Epihat Time)
Perbesaran total	1000 kali perbesaran
Etsa untuk base metal (baja)	2 % natal (dengan komposisi 2 ml Hcl + 100 ml air)
Etsa untuk elektroda stainless steel	Picric Acid (Ethanol + Hcl)

### Uji Impak

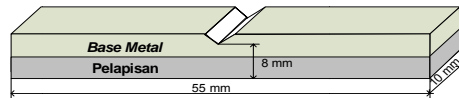
Metode uji impact yang digunakan adalah metode *Charpy* (ASTM E 23,1915) persyaratan yang harus dipenuhi dalam metode *Charpy* ini adalah:

- Kecepatan ayunan bandul min 4,5 s.d 7 m/s
- Temperatur pengujian 26°C.
- Standar spesimen yang akan diuji (gambar 6) adalah luas penampang di bawah takikan
- Batang uji berukuran 10 mm x 10 mm, serta memiliki *Takikan* berbentuk V dengan kedalaman 3 mm dan sudut 45<sup>0</sup>.

Takikan terdapat pada logam induk karena harga impact yang diinginkan adalah harga impact pada hasil pelapisan.



Gambar 6.a Spesimen uji Impact (ASTM E23)



Gambar 6.b. Dimensi Spesimen Uji Impak

### Uji Bending

Uji bending dilakukan untuk melihat kemampuan lapisan material untuk ditekuk atau dilengkungkan, dari uji bending ini dapat dilihat ada atau tidaknya *slack* (bukaan permukaan) akibat pelengkungan spesimen. Pembuatan spesimen uji ini dengan melakukan pemotongan pada bagian logam induk dan pelapis sehingga membentuk sebuah batang uji. Batang uji bending ini, dimensi dan ukuran disesuaikan dengan standar pengujian ASME Sect IX dapat dilihat pada Tabel 8 dan gambar 7.

Tabel 8 Parameter pembuatan spesimen uji Bending.

Standar acuan	ASME Sec. IX
Panjang spesimen	150 mm
Lebar spesimen	8 mm
Tebal spesimen	15 mm
Jumlah Spesimen	4 buah



Gambar 7 Spesimen uji Bending.

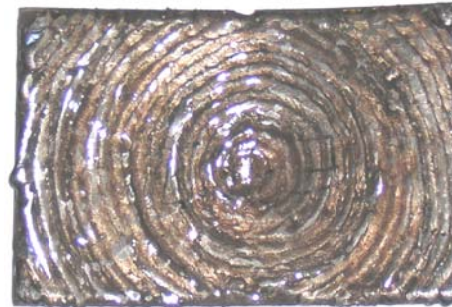
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Baja Karbon yang digunakan sebagai logam induk dari hasil spektrometri memiliki komposisi kimia seperti pada tabel 9. Kandungan karbon dari baja adalah 0.35, baja ini tergolong kepada baja karbon sedang.

Tabel 9 Komposisi Kimia Baja Karbon

Komposisi kimia	C	Mn	P	S	Si	Cu
(%)	0.35	0	0.04	0.05	0.4	0.2

Metode pelapisan yang digunakan pada proses WOC dengan jenis pengelasan SMAW menggunakan pola melingkar yang dimulai dari pusat hingga menyebar dan menutupi semua permukaan baja seperti pada gambar 8. Pola yang dilakukan sama pada setiap elektroda yang digunakan.



Gambar 8 pola pelapisan base metal

Fenomena yang terjadi pada pelapisan pelat baja karbon sedang ini adalah baja mengalami *Distorsi* membentuk lengkungan seperti gambar 9. Hal ini dikarenakan masukan panas (*heat input*) yang tinggi sewaktu proses pelapisan dan ketebalan dari logam induk yang cukup tinggi. Fenomena seperti ini akan terjadi apabila kedua sisi atau kedua ujung material yang akan dilapisi tidak dijepit. Seandainya kedua ujung material dijepit, maka material dasar dapat mengalami *crack* karena aliran tegangan akan mengarah ke tengah daerah lapisan dan memiliki tegangan sisa yang tinggi. Tegangan sisa dapat dihilangkan dengan melakukan proses pemanasan ulang  $\pm 150^{\circ}\text{C}$  (*PWHT*).



Gambar 9 Fenomena Lengkungan

Tahapan terakhir dari proses WOC yaitu melakukan *finishing* dengan menggunakan mesin freis untuk meratakan permukaan lapisan. Perataan permukaan juga bermanfaat untuk menghilangkan tegangan sisa dan konsentrasi tegangan pada permukaan lapisan sewaktu dilakukan pengujian sifat mekanik.



## Uji Tarik

Pengujian kekuatan logam induk sebelum proses *WOC* di gunakan 3 buah spesimen uji, hasil pengujian seperti pada tabel 10

**Tabel 10 Hasil Uji tarik Spesimen awal**

Spesimen awal	( $\sigma_u$ ) ( kgf/mm <sup>2</sup> )	( $\sigma_y$ ) ( kgf/mm <sup>2</sup> )	Reganga (%)
I	46,80	44,70	23,50
II	48,50	46,50	22,70
III	48,70	46,80	22,90
Rata-rata	47,93	46,00	23,03

## Spesimen Hasil WOC

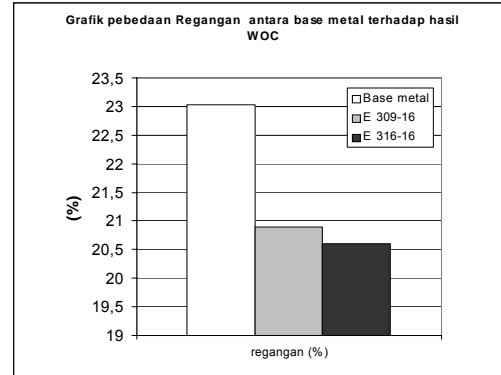
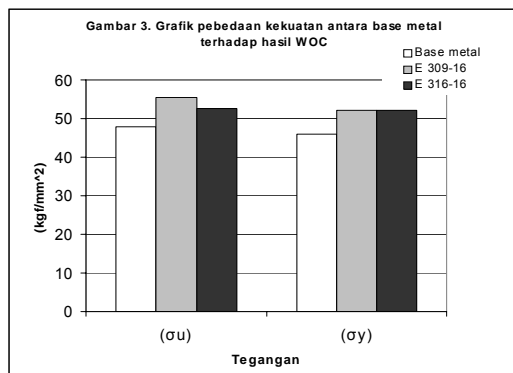
Pengujian dilakukan masing-masing 3 spesimen untuk masing-masing elektroda, pertambahan tebal lapisan rata-rata 2 mm. Hasil Pengujian dapat dilihat pada tabel 11.

**Tabel 11 hasil uji tarik untuk E 309-16- E 316-16**

Spesimen E 309-16	( $\sigma_u$ ) ( kgf/mm <sup>2</sup> )	( $\sigma_y$ ) ( kgf/mm <sup>2</sup> )	Regangan (%)
I	56.33	52.71	21.14
II	54.23	50.91	20.73
III	56.03	53.09	21.12
Rata-rata	55.53	52.23	20.90

Spesimen E 316-16	( $\sigma_u$ ) ( kgf/mm <sup>2</sup> )	( $\sigma_y$ ) ( kgf/mm <sup>2</sup> )	Regangan (%)
I	53.23	49.83	20.83
II	52.12	49.01	20.11
III	52.80	49.01	21.03
Rata-rata	52.71	49.42	20.60

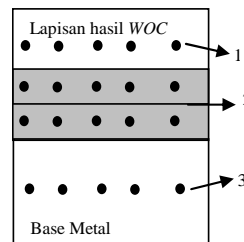
Dari gambar 10 dapat dilihat bahwa kekuatan hasil *WOC* lebih tinggi dibanding logam induk sebelum dilapis , karena penambahan unsur Cr dan Mo yang tinggi melalui elektroda yang digunakan. Cr merupakan unsur yang meningkatkan kekuatan, disamping itu fluk dari elektroda juga mengandung unsur senyawa-senyawa logam yang dapat meningkatkan kekuatan seperti oksida titan.



Gambar 11. Grafik Perubahan regangan logam induk terhadap hasil *WOC*.

## Uji Keras

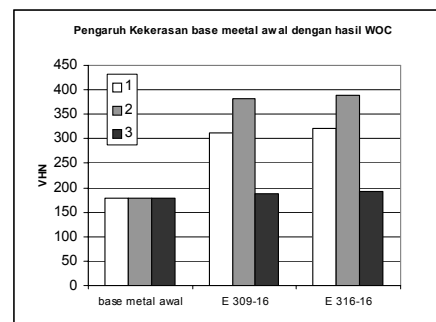
Uji keras dilakukan untuk mengetahui harga kekerasan awal dan setelah proses *WOC*. Kekerasan awal logam induk sebelum di lapis di uji dengan 5 kali pengujian. Hasil rata-rata kekerasan logam induk adalah 178VHN. Pengujian kekerasan hasil *WOC* dilakukan pada daerah lapisan (1), *dilusi* (2) dan logam induk (3) seperti pada gambar 12 dan hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.



**Tabel 12. kekerasan rata-rata**

Elektroda	Rata-rata kekerasan Tiap-tiap posisi (VHN)		
	1	2	3
E 309-16	313	382	188
E 316-16	320	390	193

Gambar 12. Posisi uji keras



Gambar 13. Grafik Perubahan harga kekerasan logam induk terhadap hasil *WOC*.

Pengujian kekerasan dari dua elektroda yang digunakan, kekerasan tertinggi terdapat pada posisi 2. Posisi 2 merupakan daerah dilusi yang memiliki sifat superior karena pada daerah tersebut penambahan unsur-unsur dari logam pengisi yang dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan dari sambungan. Sedangkan pada posisi 1 dan 3 kekerasan meningkat dibandingkan logam induk karena pada daerah tersebut memungkinkan terjadinya difusi karbon dari logam induk untuk membentuk karbida atau fasa-fasa intermetalik yang bersifat keras. Dari hasil struktur mikro (gambar 16,17) memperlihatkan butir perlit dan ferit yang halus, dimana semakin halus butir kekerasan akan meningkat.

### Uji Impak

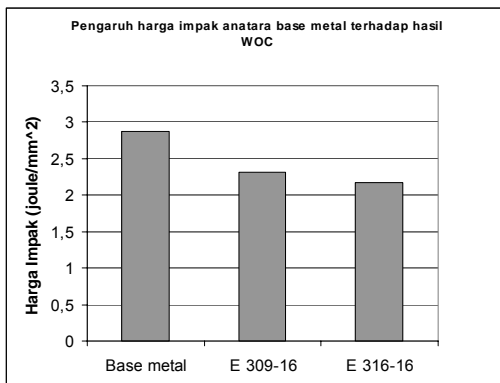
Ketangguhan lapisan dapat diketahui dengan pengujian impak (*Charpy Test*), yaitu dengan pemberian beban secara tiba-tiba. Berdasarkan ASTM E23 1915, Vol 15, pt II, Harga impak yang diperoleh adalah energi impak yang dihasilkan persatuan luas penampang dibawah takikan.

$$\text{Harga Impak (HI)} = \frac{\text{Energi Impak}}{\text{Luas penampang dibawah takikan}}$$

Pengujian dilakukan dengan tiga spesimen, hasil Pengujian rata-rata dapat dilihat pada tabel 13

**Tabel 13 Hasil uji impak**

Spesimen	A (mm <sup>2</sup> )	Energi (Joule)	HI (joule/mm <sup>2</sup> )
Base Metal	80	214,72	2,87
E 309-16	80	185.03	2.31
E 316-16	80	174.32	2.17



Gambar 14. Grafik Perubahan harga impak logam induk terhadap hasil WOC.

Keuletan dan ketangguhan dari hasil WOC turun dibandingkan dari logam induk (gambar 11 dan 14), pada pengelasan dengan elektroda baja tahan karat yang mengandung Cr dan Mo yang tinggi dimana unsur tersebut merupakan unsur pembentuk fasa ferit dan memungkinkan juga untuk terbentuknya fasa-fasa intermetalik seperti karbida dan fasa sigma yang dapat menurunkan ketangguhan dan bersifat getas. Fasa intermetalik tersebut juga meningkatkan kekerasan dari hasil pelapisan hal ini dapat dilihat pada gambar 13.

### Uji Bending

Berdasarkan standar ASME Sec. IX, metode uji *bending* yang sesuai dengan proses *weld overlay cladding* adalah metode *side band*. Hal ini disebabkan bagian yang akan dianalisis adalah bagian antara lapisan elektroda dengan *base metal*.

**Tabel 14. Spesifikasi uji Bending**

Standar acuan	ASME Sec. IX
Mesin uji	Tokyo Testing Material
Metode yang dipakai	Side Band
Jumlah spesimen uji	4 buah
Panjang spesimen uji	150 mm
Lebar spesimen uji	9,5 mm
Tebal spesimen uji	16,1 mm
Diameter duri pelengkung	2 x tebal spesimen uji = 32,4 mm

Sudut minimal tekukan batang uji adalah 90°, sudut batas kritis adalah 140° dan sudut maksimal tekukan adalah 180°. Jika pada sudut 140° tidak terjadi *crack* atau tidak terjadi *slack* (permukaan yang terbuka) < 70 mm maka lapisan *weld overlay cladding* dapat dianggap baik. Hasil Pengujian

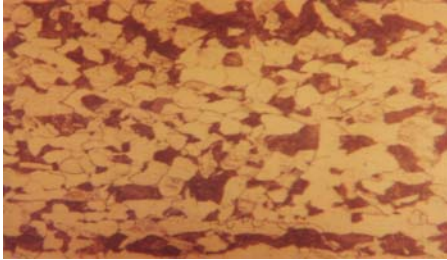
penekukan untuk ke 4 batang uji tiap elektroda dengan sudut penekukan 140°, tidak terdapat cacat, retakan ataupun *crack*, sehingga boleh dinyatakan hasil pelapisan dianggap baik.

### Analisis Struktur Mikro

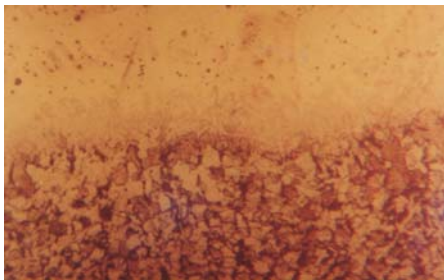
Hasil struktur mikro logam induk memiliki fasa ferit yang lebih dominan dari fasa perlit seperti pada gambar 15. Struktur mikro hasil pelapisan kedua jenis elektroda pada daerah lapisan di dominan oleh fasa ferit dengan butir yang



sangat halus sedangkan pada daerah *fusion line* memiliki fasa denrit dan fasa ferit sedangkan perlit pada daerah base metal yang lebih halus seperti pada gambar 16 dan 17



Gambar 16 Struktur Mikro hasil lapisan E 309-16



Gambar 17 Struktur Mikro hasil lapisan E 309-16

## KESIMPULAN

Terdapat kenaikan kekuatan dan kekerasan hasil proses WOC yang cukup tinggi dibanding sebelum proses sebesar 15.85% untuk elektroda E 309-16 dan 10 % untuk E 316-16.

Kenaikan harga kekerasan lebih tinggi dari logam induk untuk E 309-16 pada posisi lapisan sekitar 75.8%, posisi dilusi 114.6% dan 5.61% pada posisi logam induk. Untuk E 316-16 kenaikan harga kekerasan pada posisi

lapisan 79.7 %, posisi dilusi 119,10% dan 8.4% untuk posisi logam induk.

Ketangguhan dan keuletan dari hasil proses WOC mengalami penurunan di banding ketangguhan logam induk sebesar 19.5% untuk elektroda E 309-16 dan 24.9% untuk E 316-16.

Dari hasil uji penekukan untuk melihat kemampuan lapisan untuk ditebuk, penggunaan kedua elektroda sudah tepat karena tidak terjadi *slack* (bukaan permukaan) pada penekukan 140° dan tidak terjadi retakan pada permukaan penekukan. Pada standar ASME menyatakan hasil pelapisan dapat dianggap gagal apabila hasil penekukan terdapat retakan minimal 3.2 mm.

Dibanding dari kedua elektroda yang digunakan paling tepat untuk proses WOC pada baja karbon sedang adalah elektroda E 309-16, karena dari hasil penelitian ini hasil pelapisan dengan elektroda E 309-16 memiliki sifat mekanik yang lebih tinggi dibanding elektroda E 316-16.

## DAFTAR PUSTAKA

- Surahman, T. 2004. *Ilmu Bahan dan Metalurgi Las*. B4T Bandung
- Sriwidharto.2001. *Teknologi Las*. Pradnya Paramita Jakarta
- Wiryosumanto,H.1981.*Teknologi Pengelasan Logam*. Pradnya Paramita, Jakarta
- Sriwidharto. 2004. *Karat dan Pencegahannya*. Pradnya Paramita, Jakarta
- Welding Handbooks Sec. 5. 1985. *Weld Overlay Cladding*. AWS.New York
- Deutch Industrie Normen (DIN) 171.55 dan 325.25.
- American Standard Testing of Material (ASTM) 1915, Vol 15, pt II.
- (ASME Sec. IX-QW 214) *American Society Mechanical of Engineering Section IX*.
- Surdia, Tata dan Saito, Shinroku. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Plack, Van, 1999. *Ilmu dan Teknologi Bahan*. Erlangga, Jakarta.

