

STUDI KEKUATAN LAS RESISTANSI LISTRIK PADA PIPA BAJA API 5L – B DAN API 5L – X60

Koos Sardjono, Rusli Munandar
Jurusan Mesin, Universitas Muhammadiyah Jakarta

Abstrak. Mutu sambungan las biasanya diukur dari komposisi kimia dari logam, kekuatan dan keuletan serta struktur mikro yang terbentuk pada sambungan las untuk melakukan pengelasan yang berkualitas tinggi dengan menggunakan metode Pengelasan Kampuh Kontinyu (Continuous Seam Welding), dan untuk mengetahui sejauh mana kekuatan dari pipa baja API 5L–B (10"x9.30 mm) dan API 5L–X60 (20"x12.70 mm) maka dilakukan pengujian yang meliputi : pengujian radiografi, pengujian tarik, pengujian impact, pengujian kekerasan metode Vickers dan pengujian Metallografi dengan membandingkan kekuatan pada daerah HAZ dan Base Metal serta Weld Metal.

Berdasarkan pengujian secara keseluruhan, menunjukkan bahwa data hasil pengujian sesuai standar. Untuk pengujian Radiografi menunjukkan bahwa tidak terdapatnya cacat pada benda uji. Pada pengujian tarik API 5L – X60 menunjukkan bahwa angka kekuatan tarik dan kekerasan cukup tinggi dibandingkan dengan API 5L – B dan juga kuat tarik pada daerah Weld lebih tinggi dari pada daerah Transe ini dikarenakan Post Weld Heat – Treatment (perlakuan panas setelah pengelasan). Dalam pengujian Impact temperatur transisi semakin menurun sejalan dengan meningkatnya kalor yang terserap. Untuk pengujian kekerasan API 5L – X60 lebih keras dibandingkan dengan API 5L – B, daerah Base Metal adalah daerah yang paling keras, karena pada daerah Base Metal tidak terkena perlakuan panas.

Kata kunci: pipa baja API 5L-B,HAZ, base metal, weld metal

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Salah satu proses terpenting dalam industri logam dan permesinan adalah proses penyambungan logam, luasnya penggunaan teknologi las seperti pada pipa baja, menurut mutu pengelasan yang baik.

Dalam sambungan las, sering dijumpai timbulnya gejala retak dan patah getas. Patah getas umumnya terjadi sewaktu temperature lingkungan turun dengan drastis. Kemampuan atau bahan dalam hal ini sambungan las untuk menahan beban statis maupun dinamis sampai pada batas saat akan terjadi patah getas disebut sebagai ketangguhan sambungan las.

Kebanyakan dari juru las, untuk mempersingkat waktu pengerjaan memberikan harga masukan panas tinggi. Hal ini diikuti dengan terjadinya siklus thermal yang cepat pada logam disekitar lasan. Dimana hal ini akan berpengaruh terhadap ukuran butir, sturktur mikro, deformasi dan tegangan thermal yang akhirnya akan berpengaruh terhadap ketangguhan sambungan las.

LANDASAN TEORI

Las Resistansi Listrik (Electric Resistance Welding)

Dalam bab ini hanya dibahas mengenai las resistansi listrik karena pengelasan yang digunakan untuk pembuatan pipa pada BPI menggunakan Electric Resistance Welding (ERW). Proses pengelasan las resistansi listrik yaitu dengan menggunakan arus yang cukup besar dialirkan melalui logam sehingga menimbulkan panas pada sambungan, dan dibawah pengaruh tekanan dan pengaturan hambatan listrik sehingga terbentuklah sambungan las. Transformator yang terdapat dalam mesin las merubah tegangan arus bolak-balik dari 110 - 220 V menjadi 4 - 12 V dan arusnya menjadi cukup besar sehingga menghasilkan panas yang diperlukan. Bila arus mengalir dalam logam, panas timbul didaerah dengan tahanan listrik yang terbesar, yaitu pada batas permukaan kedua logam atau lembaran dan terjadilah sambungan las. Besar arus yang diperlukan didaerah sambungan bekisar antara 50-60 MVA/m² dengan tenggang waktu sekitar 12 m/menit, tekanan yang diperlukan berkisar antara 30 - 50 MPa.

Las resistansi listrik ini pada dasarnya merupakan proses penyambungan lembaran tipis. Biasanya hanya cocok untuk jenis sambungan las. Pada proses ini sambungan mengalami tekanan selama proses pemanasan yang diatur dengan cermat dan prosesnya sendiri berlangsung secara cepat. Hampir semua logam dapat dilas dengan las resistansi listrik, meskipun ada beberapa logam seperti timah putih, seng dan timbel agak sulit dilas. Pada pengelasan resistansi listrik ada tiga faktor yang perlu diperhatikan :

- Besarnya arus yang dipergunakan untuk pengelasan.
- Besarnya tahanan arus yang digunakan dalam pengelasan.
- Waktu yang digunakan dalam pengelasan.

Sehingga besarnya energi panas yang dihasilkan dapat dihitung dengan rumus:

$$REI = \frac{\eta_{th} x U x I}{V_s} \left(\frac{J}{m} \right)$$

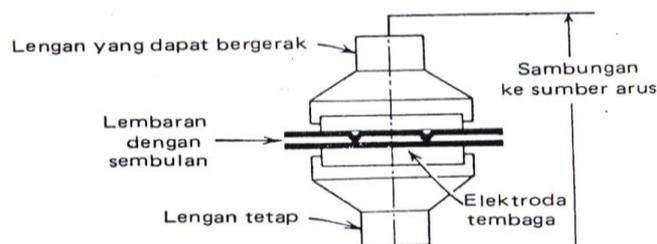
Untuk mendapatkan hasil yang baik ketiga variable diatas, perlu diperhatikan dan ditentukan dengan cermat. Dan ketiga besaran sangat tergantung pada tebal bahan, elektroda dan tekanan yang digunakan. Waktu pengaliran arus sangat menentukan, perlu adanya tenggang waktu antara sambungan las yang akan dibentuk. Arus mulai mengalir dan diatur oleh pengatur waktu dan dibiarkan beberapa lama sampai las terbentuk dan arus dihentikan tetapi tekanan tetap ada sampai sambungan las menjadi dingin, dengan demikian tidak terjadi busur antara elektroda dan sambungan. Tekanan pada sambungan dapat dari manusia, mekanik, pneumatik, per atau hidrolis serta penekanan harus dikendalikan dengan arus pengelasan.

Proses Pengelasan Resistansi Listrik meliputi : Las Titik (Spot Welding)

Las titik merupakan cara las resistansi listrik dimana dua atau lebih lembaran logam dijepit diantara elektroda dan logam. Kemudian siklus las mulai pada saat elektroda bersinggungan dengan logam dibawah pengaruh tekanan sebelum arus dialirkan, waktu yang singkat disebut waktu tekan, kemudian dialirkan arus bertegangan rendah diantara elektroda, logam yang saling bersinggungan menjadi panas dan suhu naik sampai mencapai suhu pengelasan. Segera setelah suhu pengelasan dicapai tekanan antara elektroda memaksa logam menjadi satu dan terbentuklah sambungan las.

Pengelasan Proyeksi

Las proyeksi adalah pengelasan yang dibuat pada titik tertentu dalam benda kerja dibawah tekanan, lembaran yang akan dilas dipres dahulu dalam bentuk mesin pres sehingga terjadi proyeksi, atau sembulan dari dalam logam. Sembulan mempunyai diameter permukaan yang sama dengan tebal lembaran dan tersembul sebanyak kurang lebih 60% dari tebal lembaran. Sembulan tadi terdapat pada titik-titik dimana akan diadakan sambungan las. Hal yang sangat menentukan ialah distribusi arus dan tekanan yang tepat. Hasil pengelasannya biasanya lebih baik dari las titik, umur elektroda lebih panjang karena disisi lasnya digunakan permukaan yang rata dan pemeliharaan elektroda lebih mudah.



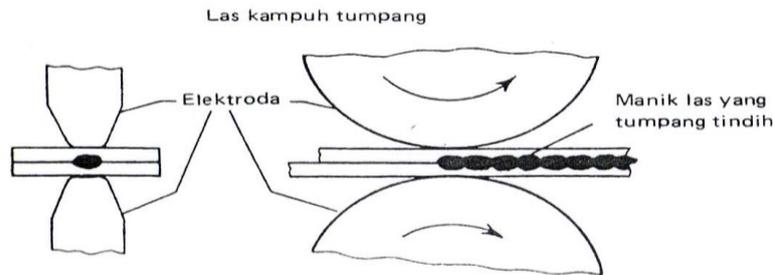
Gambar Pengelasan proyeksi

Pengelasan Kampuh (Seam Welding)

Las kampuh adalah proses las yang menghasilkan sambungan las yang kontinyu pada dua lembaran logam. Sambungan terjadi oleh panas yang di timbulkan tahanan. Arus mengalir melalui lembaran logam yang ditekan antara dua buah elektroda bulat. Metode ini merupakan pengelasan titik yang kontinyu. Pengelasan kampuh berkecepatan tinggi digunakan arus bertindak sebagai interuptor.

Panas yang dihasilkan pada permukaan kontak elektroda adalah minimal karena disini digunakan elektroda paduan tembaga dan panas berdesipasi dengan cepat karena elektroda dan daerah las dialiri air. Jumlah panas yang terjadi pada permukaan batas karena tahanan kontak dapat ditingkatkan dengan menurunkan tekanan elektroda variable lain, yang berpengaruh adalah waktu pengelasan. Bila kecepatan pengelasan bertambah maka panas yang dihasilkan akan berkurang.

Las kampuh digunakan dalam pembuatan wadah logam, knalpot kendaraan dan spatbor, lemari es dan tangki bahan bakar. Keuntungan metode pengelasan ini adalah disain yang rapi, penghematan bahan, sambungan yang rapat, sambungan yang rapat dan biaya yang murah.

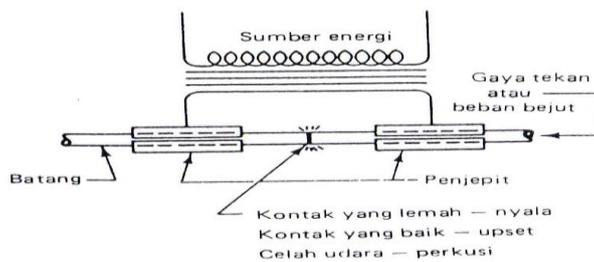


Gambar Las kampuh tumpang

Las Tumpul

Las tumpul adalah pengelasan dengan dua potong logam berukuran penampang sama saling menekan dan panas timbul pada permukaan kontak karena terdapat Resistansi Listrik. Tekanan tetap ada sementara terjadi pemanasan, namun panas tersebut tidak mampu mencairkan logam sehingga terjadi sambungan yang menonjol, akan tetapi cacat ini dapat dihilangkan dengan pengerolan susulan atau gerinda, ataupun pahat. Bila dua potong logam yang berlainan dilas, tahanan logam yang menonjol dari pemegang harus sebanding dengan tahanan jenis masing-masing logam tadi. Hal yang sama berlaku bila digunakan dengan penampang yang berbeda.

Pada pengerjaannya sesungguhnya benda kerja dijepit atau ditekan dalam mesin dan kemudian dialirkan arus sehingga terjadi pemanasan, laju pemanasan tergantung pada tekanan, jenis bahan dan keadaan permukaan karena tahanan kontak berbanding terbalik dengan tekanan. Tekanan mula biasanya rendah kemudian ditingkatkan sehingga sambungan las dapat berbentuk.

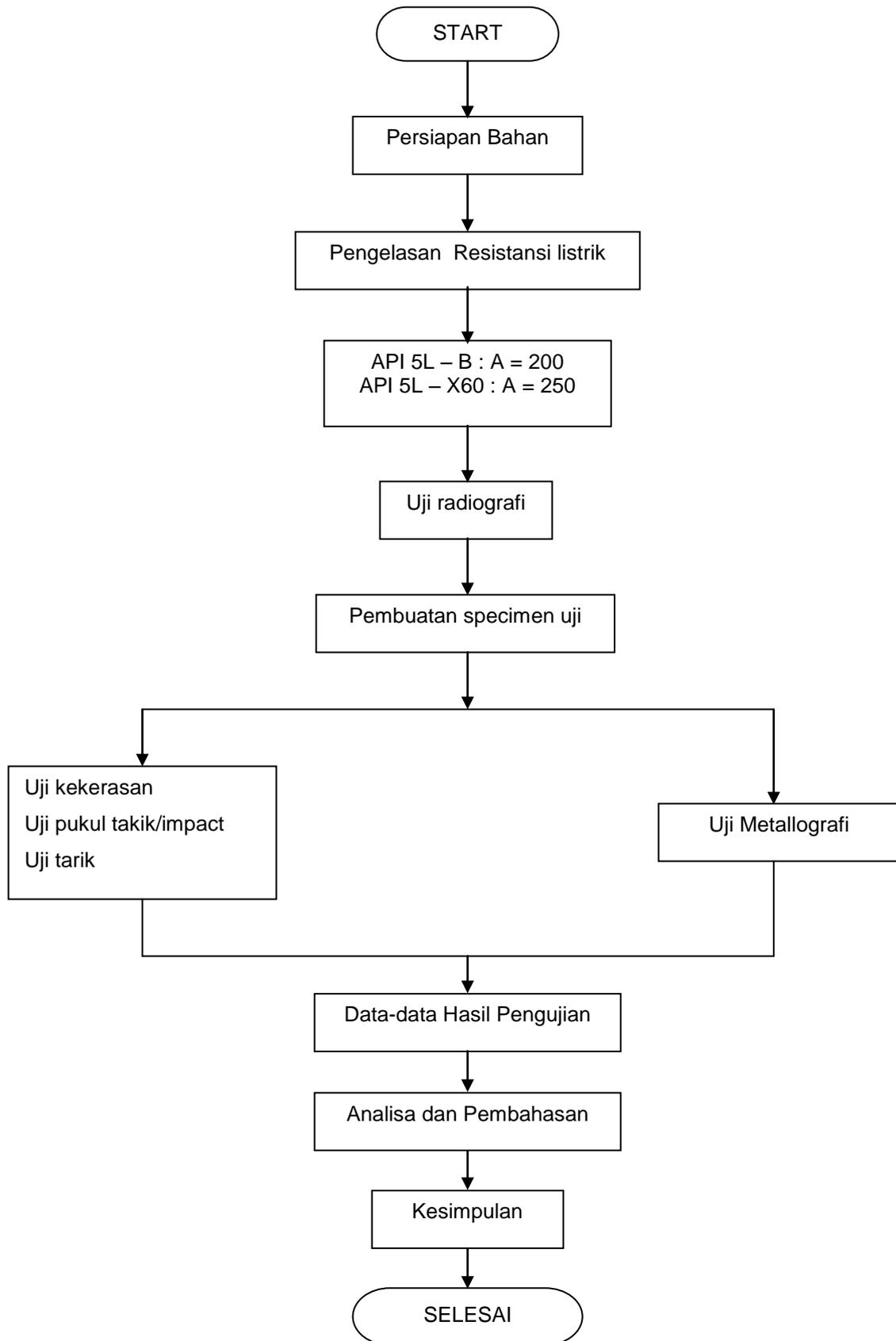


Gambar Sketsa pengelasan tumpul

Pengelasan Kampuh Kontinyu (Continuous Seam Welding)

Proses ini biasanya digunakan pada produk yang panjang dan sejenis. Cara kerjanya yaitu lembaran logam ditekan dengan tekanan yang telah ditentukan sehingga membentuk sudut 40 – 70. puncak bentuk V yang terbuka meninggalkan kontak, sesuai arah gerakan. Aliran frekwensi tinggi menyusuri daerah yang terlakolisasi pada sisi V satu dan lalu balik lagi pada sisi yang lainnya yang menyebabkan efek kulit dan "proximiki". Tahanan logam terhadap aliran arus memanasi daerah tepi saja tidak sampai melebur kedalam. Kecepatan pengelasan dan tingkat power disesuaikan sehingga dua tepi yang dilas selalu pada temperatur welding ketika ditemukan. Pada saat tersebut, tekanan rol menekan tepi panas dan menset tepi-tepi tersebut sehingga menghasilkan daerah pengelasan. Logam panas yang terdiri dari impurities dari permukaan lembaran ditekan keluar dari sambungan dan terbentuklah sambungan las yang kontinyu.

METODOLOGI PENELITIAN



ANALISA DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Harga Masukan Panas

Besarnya masukan panas (head input), didapat dari rumus dibawah ini :

$$REI = \frac{\eta \times U \times I}{V_s}$$

Dari data-data hasil pengelasan akan didapat harga-harga masukan panas pada benda uji API 5L – B dan API 5L – X60, maka hasil yang didapat sebagai berikut :

- Masukan panas untuk API 5L – B

$$REI = \frac{\eta \times U \times I}{V_s} = \frac{0,75 \times 336 \times 200}{0,2} = 252.000 \text{ Joule / m}$$

- Masukan panas untuk API 5L – X60

$$REI = \frac{\eta \times U \times I}{V_s} = \frac{0,75 \times 360 \times 250}{0,2} = 337.500 \text{ Joule / m}$$

Tabel Besar Masukkan Panas

No	Benda uji	Masukan Panas Nyata (Joule/m)
1	API 5L – B (10" x 9.30 mm)	252.000
2	API 5L – X60 (20" x 12.70 mm)	337.500

Analisa Uji Radiografi

Dalam film hasil uji radiografi, dapat diketahui tidak terdapatnya cacat pada benda uji API 5L–B (10"x9.30 mm) maupun API 5L–X60 (20"x12.70 mm).

Perhitungan Hasil Uji Tarik untuk API 5L - B

- Yield Strength (Transe) didapat berdasarkan perhitungan berikut ini, untuk benda pertama diperoleh :

$$\sigma_Y = \frac{F_Y}{A_o} = \frac{125,513 \text{ kN}}{348,62 \text{ mm}^2} = 360,03 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

- Tensile strength (Transe) didapat berdasarkan perhitungan berikut ini untuk benda pertama diperoleh :

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A_o} = \frac{166,689 \text{ kN}}{348,62 \text{ mm}^2} = 478,14 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

- Elongasi adalah rasio antara pertambahan panjang setelah patah dengan panjang awal. Untuk benda pertama diperoleh:

$$\varepsilon_f = \frac{L_f - L_o}{L_o} \times 100\% = \frac{71.501 - 50.80}{50.80} \times 100\% = 40,75\%$$

Perhitungan Hasil Uji Tarik untuk API 5L – X60

- Yield Strength (Transe) didapat berdasarkan perhitungan berikut ini, untuk benda pertama diperoleh :

$$\sigma_Y = \frac{F_Y}{A_o} = \frac{264,752 \text{ kN}}{487,43 \text{ mm}^2} = 543,16 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

- Tensile strength (Transe) didapat berdasarkan perhitungan berikut ini untuk benda pertama diperoleh :

$$\sigma_U = \frac{F_U}{A_o} = \frac{296,128 \text{ kN}}{487,43 \text{ mm}^2} = 607,53 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

- Elongasi adalah rasio antara pertambahan panjang setelah patah dengan panjang awal. Untuk benda pertama diperoleh:

$$\varepsilon_f = \frac{L_f - L_o}{L_o} \times 100\% = \frac{69.499 - 50.80}{50.80} \times 100\% = 36,81\%$$

Selanjutnya hasil perhitungan pengujian tarik pada benda uji API 5L – B dan API 5L – X60 diterangkan pada tabel 5.1 dan 5.2

Tabel Data Hasil Uji Tarik API 5L – B
Pada Daerah Transversal

Benda Uji	T (mm)	W (mm)	AO (mm ²)	FY kN	FU kN	σY N/mm ²	σU N/mm ²	ε (%)
1	9.15	38.10	348.62	125.513	166.689	360.03	478.14	40.75
2	9.15	38.10	348.62	107.863	175.523	309.40	503.48	39.57
3	9.16	38.10	349.00	111.784	160.812	320.30	460.78	37.60

Pada Daerah Weld

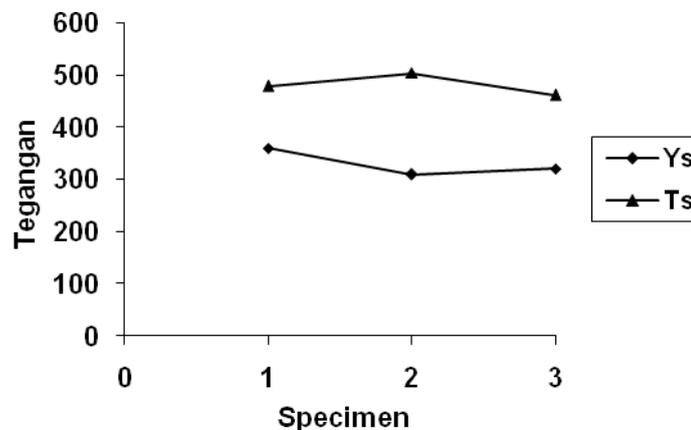
Benda Uji	T (mm)	W (mm)	AO (mm ²)	FY kN	FU kN	σY N/mm ²	σU N/mm ²	ε (%)
1	9.13	38.10	347.85	-	171.597	-	493.31	-
2	9.17	38.10	349.38	-	175.521	-	502.38	-
3	9.16	38.20	349.91	-	171.599	-	490.41	-

Tabel Data Hasil Uji Tarik API 5L – X60
Pada Daerah Transversal

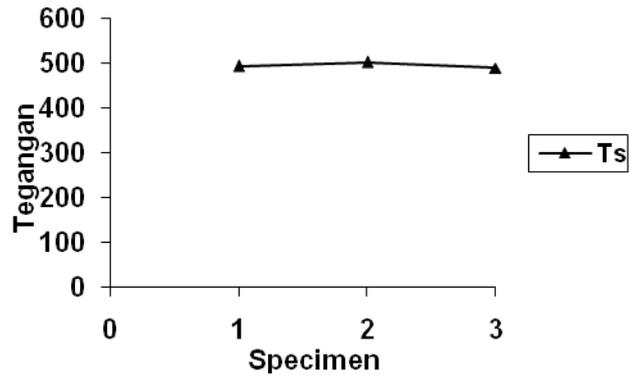
Benda Uji	T (mm)	W (mm)	AO (mm ²)	FY kN	FU kN	σY N/mm ²	σU N/mm ²	ε (%)
1	12.76	38.20	487.43	264.752	296.128	543.16	607.53	36.81
2	12.81	38.10	488.06	231.408	297.111	474.14	608.76	32.48
3	12.72	38.20	485.90	226.507	301.029	466.16	619.53	33.27

Pada Daerah Weld

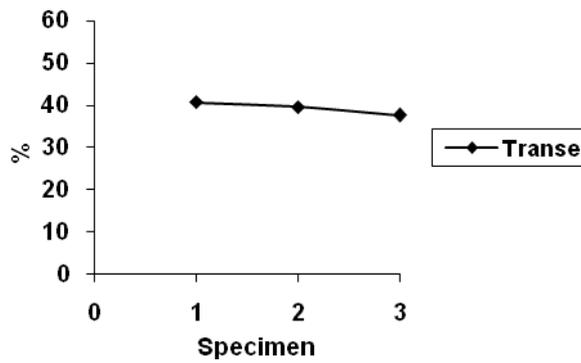
Benda Uji	T (mm)	W (mm)	AO (mm ²)	FY kN	FU kN	σY N/mm ²	σU N/mm ²	ε (%)
1	12.77	38.10	486.54	-	278.480	-	572.37	-
2	12.82	38.10	488.44	-	283.383	-	580.18	-
3	12.71	38.20	485.52	-	300.541	-	619.01	-



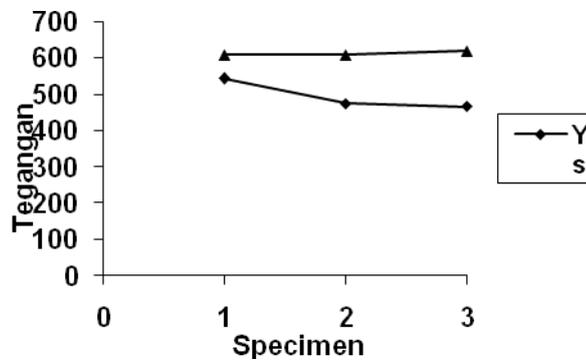
Grafik Ys – Ts API 5L – B (Transe)



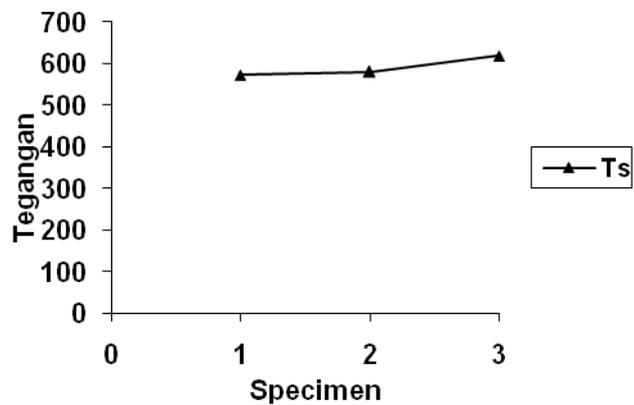
Grafik Ts API 5L – B (Weld)



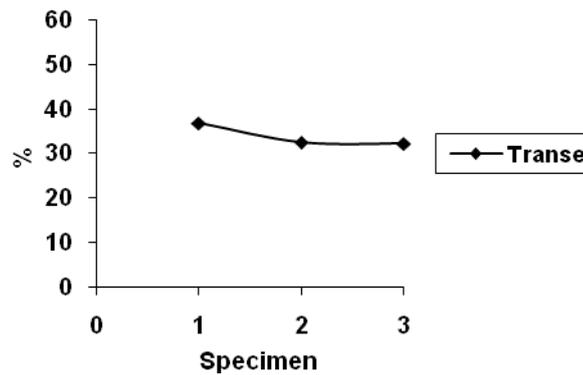
Grafik Elongation API 5L – B



Grafik Ys – Ts API 5L – X60 (Transe)



Grafik Ts API 5L – X60 (Weld)



Grafik Elongation API 5L - X60

Analisa Hasil Pengujian Tarik

Dari hasil rata-rata uji tarik pada daerah API 5L - B dan API 5L - X60:

- Tensile Strength pada Transe $480.8 \frac{N}{mm^2}$ (API 5L - B)
- Tensile Strength pada Weld $495.36 \frac{N}{mm^2}$ (API 5L - B)
- Tensile Strength pada Transe $611.94 \frac{N}{mm^2}$ (API 5L - X60)
- Tensile Strength pada Weld $590.52 \frac{N}{mm^2}$ (API 5L - X60)
- Yield Strength pada Transe $329.91 \frac{N}{mm^2}$ (API 5L - B)
- Yield Strength Pada Transe $494.48 \frac{N}{mm^2}$ (API 5L - X60)
- Yield Strength pada Weld tidak terjadi (API 5L-B & API 5L-X60)
- Elongation pada daerah Transe 39.30 (API 5L - B)
- Elongation pada daerah Transe 34.18 % (API 5L - X60)

Dari data yang diperoleh dari pengujian tarik menunjukkan bahwa Tensile Strength Transe dan Yield Strength pada API 5L - X60 menunjukkan angka kekuatan tarik dan kekerasan yang cukup tinggi dibandingkan angka pengujian untuk API 5L - B, dikarenakan proses pengelasan yang baik sehingga pada daerah HAZ tidak mengalami putus, ini terjadi karena pada daerah HAZ kekuatannya meningkat. Sedangkan untuk pengukuran elongation daerah Transe pada API 5L - X60 lebih kecil daripada elongation daerah Transe pada API 5L - B.

Pembahasan Data-Data Hasil Uji Impact/Pukul Takik Charpy

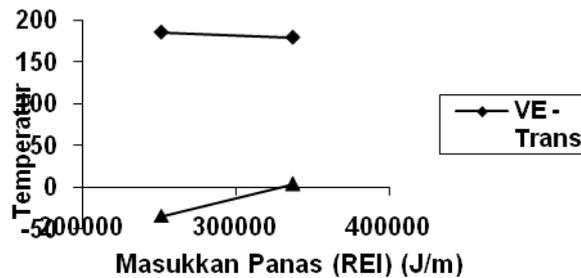
Dari data yang didapat, maka akan dibuat grafik hubungan antara energi yang diserap dengan temperature uji, sehingga akan didapat energi terserap transisi pada temperature transisi ulet-getas dari masing-masing benda uji.

Kemudian kedua garis tersebut dihubungkan secara tegak lurus sehingga akan didapat nilai energi terserap transisi (VE - Trans) Yang besarnya setengah dari garis penghubung tersebut bersama dengan itu didapat temperature transisi (VT0 - Trans).

Tabel Nilai VE - Trans dan VT0 - Trans pada masing-masing benda uji

Benda Uji	VE - Trans (J)	VT - Trans (0C)
API 5L - B (10" x 9.30 mm)	179	4
API 5L - X60 (20" x 12.70 mm)	185.5	- 34

Dari nilai-nilai tersebut dapat dibuat suatu grafik hubungan antara besar masukan panas (Q) terhadap nilai energi terserap pukul takik charpy transisi dan terhadap temperature pukul takik charpy transisi, seperti terlihat pada gambar dibawah ini



Grafik hubungan antara masukan panas (REI) dengan energi terserap transisi (VE – Trans 0C) dan temperature transisi (VT – Trans 0C)

Analisa Hasil Uji Pukul Takik Charpy

Dari grafik hasil uji pukul takik charpy pada temperature uji pada berbagai masukan panas (gambar 5.7 dan 5.8), maka diketahui bahwa semakin rendah temperature uji maka energi terserap akan semakin rendah. Begitu pula dengan meningkatnya harga masukan panas maka energi terserap pada masing-masing temperature uji semakin menurun. Sedangkan pada gambar 5.9, dapat diketahui bahwa dengan meningkatnya harga masukan panas maka akan menurun energi terserap transisi (VE – Trans). Sejalan dengan turunnya temperature transisi ulet – getas (VT – Trans). Akan tetapi bahan dikatakan mempunyai ketangguhan yang baik apabila nilai energi terserap transisi tinggi pada temperature transisi ulet – getas yang rendah.

Jadi jelas memperbesar masukan panas akan berakibat turunnya ketangguhan panas kontruksi las. Usaha untuk membatasi besarnya masukan panas, merupakan tindakan yang tepat dalam, rangka memperbaiki mutu hasil pengelasan.

Pembahasan Data Hasil Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan metode Vickers dijejak pada Weld Metal, Heat Affected Zone (HAZ), Base Metal (BM) dengan menggunakan standar ASTM A370 dengan beban yang diguinakan 10 kg dan ketentuan-ketentuan :

- Kekerasan Base Metal, HAZ, Weld Metal tidak boleh melebihi 250 HV
- Distribusi kekerasan antara daerah-daerah Base Metal, HAZ, Weld Metal tidak boleh melebihi 50 HV
- Test Frekuensi = 1 spl / Heat

Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode Vickers, dimana diamond pyramid digunakan sebagai indikator dengan sudut antara sisi-sisi puncak sebesar 136°

Tabel Hasil Rata – Rata Uji Kekerasan API 5L – B (10" x 9.30 mm)

No	Posisi	Base Metal		HAZ	WM	HAZ	Base Metal	
		I	II	III	IV	V	VI	VII
1	Rata2	164.3	162.3	172.9	168.9	172.1	171.2	166.0
2	Rata2	163.1	164.1	176.2	169.4	169.5	165.0	165.7
3	Rata2	168.2	161.9	164.0	161.9	165.4	161.9	169.3
Total Rata2		165.2	162.7	171.0	166.7	169	166.0	167

Tabel Hasil Rata – Rata Uji Kekerasan API 5L – X60 (20" x 12.70 mm)

No	Posisi	Base Metal		HAZ	WM	HAZ	Base Metal	
		I	II	III	IV	V	VI	VII
1	Rata2	186.5	173.9	185.5	184.6	184.3	176.6	190.1
2	Rata2	190.1	173.3	187.5	186.6	186.5	177.1	188.1
3	Rata2	191.9	180.4	188.6	189.8	187.2	179.2	188.0
Total Rata2		189.5	175.8	187.2	187	186	177.6	188.7

Analisa Hasil Pengujian Kekerasan

Dari hasil rata-rata uji kekerasan daerah HAZ lebih tinggi atau meningkat dibandingkan dengan daerah Base Metal ini dikarenakan HAZ terkena perlakuan panas. Sedangkan pada daerah Weld metal terjadi kekerasan sambungan las yang sangat tinggi karena pada daerah ini mengalami perlakuan panas yang tinggi akibat proses pengelasan

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian maka dapat diambil kesimpulan :

1. Hasil uji tarik pada pengelasan cukup baik dengan putusnya benda uji pada material dasar atau diluar daerah logam las pada pengujian tarik statis.
2. Dari data yang diperoleh dari pengujian tarik menunjukkan bahwa Tensile Strength rata-rata pada weld $495.36 \frac{N}{mm^2}$ (API 5L - B), Tensile Strength rata-rata pada weld $590.52 \frac{N}{mm^2}$ (API 5L – X60) dan Yield Strength pada Weld tidak terjadi dikarenakan proses pengelasan yang baik sehingga saat dilakukan pengujian tarik tidak terjadi putus pada daerah Weld Metal. Sedangkan pada pada daerah Transe, Tensile Strength rata-rata $480.8 \frac{N}{mm^2}$ dan Yield Strength rata-rata $329.91 \frac{N}{mm^2}$ untuk API 5L – B dan Tensile Strength rata-rata $611.94 \frac{N}{mm^2}$ dan Yield Strength rata-rata $494.48 \frac{N}{mm^2}$ untuk API 5L – X60 Nilai pengujian daerah Weld lebih tinggi pada daerah Transe ini dikarenakan perlakuan panas yang terjadi pada pipa yang menyebabkan kekuatan tarik dan kekerasannya meningkat.
3. Temperature transisi uji charpy makin menurun sejalan dengan meningkatnya kalor yang terserap untuk jumlah masukkan panas 252.000 Joule/m sampai dengan 337.500 Joule/m.
4. Nilai kekerasan pada uji Vickers semakin menurun jika panas yang diberikan bertambah.
5. Daerah Weld Metal mempunyai nilai kekerasan yang paling tinggi bila dibandingkan dengan daerah HAZ dan Base metal.
6. Struktur Base metal dan Weld Metal berupa ferit dan perlit, hanya pada Weld Metal strukturnya lebih halus karena mempunyai kandungan paduan yang lebih banyak Sementara pada daerah HAZ struktur mikronya berbentuk Bainit.

DAFTAR PUSTAKA

1. B.H, AMSTED, OSTWALD, PHILIP F. BEGEMAN, MYRON L, DJAPRIE, SRIATI, "Teknologi Mekanik", Jilid I, Edisi Ketujuh, Versi SI, Jakarta : Erlangga, Januari 1985
2. WIRYOSUMATRO, HARSONO, Prof, Dr, Ir, OKUMURA, TOSHIE, Prof, Dr, "Teknologi Pengelasan Logam", Jakarta paramita, 2000, Cetakan Kedelapan
3. DIETER, GEORGE, DJAPRIE, SRIATI, "Metalurgi Mekanik", Jilid I, II Edisi Ketiga, Erlangga 1987
4. Materi Pelatihan Heat Treatment – Metallurgi FT – UI, 2003
5. Sriwidarto, Petunjuk Verja Las, Cetakan Kedua, PT. Pradya Paramitha, Jakarta, 1990
6. VAN VLACK, LAWRENCE H, DJAPRIE, SRIATI, "Ilmu Dan Teknologi Bahan", Edisi Kelima, Erlangga 1995
7. BAKRIE PIPE INDUSTRIES, "Prosedur Pengujian Logam", Lab Bakrie Pipe Industries