

STUDI KEKUATAN TARIK DAN KEKERASAN PADA SAMBUNGAN PIPA ASTM A 106 GRADE B DENGAN PENGELASAN SMAW

Rio Rinaldi¹, Hamdani², Al Fathier²

¹Mahasiswa Prodi D-IV Teknik Mesin Teknologi Rekayasa Manufaktur

²Dosen Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe

Jl. Banda Aceh-Medan Km.280 Buketrata

Email : riorinaldi159@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan sambungan las pipa ASTM A 106 Grade B menggunakan proses pengelasan SMAW menggunakan arus 80 A . Elektroda yang digunakan adalah E 6010 dan E 7018, kampuh yang digunakan adalah kampuh v dengan sudut 35 derajat. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian tarik dan Kekerasan.. Dari hasil penelitian maka di dapat nilai rata rata Kekuatan tegangan tarik senilai 41,83 kgf/mm² dan untuk nilai rata rata kekuatan regangan tarik (kgf/mm²) senilai 8,25%. Hasil rata rata dari setiap titik pengujian kekerasan, Nilai rata –rata base metal I senilai 61,12 HRC, HAZ I senilai 54,37 HRC, Weld senilai 61,62 HRC, HAZ II senilai 54,12 HRC dan base metal II senilai 59,35 HRC..

Kata kunci : SMAW, Elektroda, Kekuatan tarik, dan Kekerasan

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Pada perusahaan perminyakan, banyak Semakin meningkatnya perkembangan hidup manusia maka jamanpun ikut berkembang dengan pesat. Karena perkembangan manusia semakin maju maka teknologipun ikut berkembang pesat dengan harapan semua kebutuhan manusia dapat terpenuhi dengan lengkap

Jika diperhatikan, segala kebutuhan manusia tidak lepas dari unsur logam. Kerena hampir alat yang digunakan manusia terbuat dari unsur logam. Sehingga logam mempunyai peranan aktif dalam kehidupan manusia dan menunjang teknologi dizaman sekarang. Oleh karena itu timbul usaha – usaha manusia untuk memperbaiki sifat sifat dari logam tersebut. Yaitu dengan merubah sifat mekanis dan sifat fisiknya.

Saat ini penyambungan logam dengan proses pengelasan semakin banyak digunakan, baik pada konstruksi bangunan, perpipaan, maupun pada konstruksi mesin. Ini disebabkan oleh banyaknya keuntungan yang diperoleh dari penyambungan dengan cara dilas. Luasnya penggunaan pengelasan karena biayanya murah, pelaksanaannya relatif lebih cepat, lebih ringan, kekuatannya tinggi, dan bentuk konstruksinya yang lebih variatif [1].

Ada 3 macam pengelasan berdasarkan cara kerjanya, yaitu jenis pengelasan tekan, pengelasan cair dan juga pematrian.

Penggunaan jenis elektroda yang berbeda dan jenis standar pengujian tarik yang berbeda

menghasilkan kekuatan tarik yang berbeda. Perbedaan arus pengelasan dengan menggunakan elektroda yang sama juga berpengaruh terhadap kekuatan tarik hasil lasan (Santoso, 2006).

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat mengetahui kekuatan tarik sambungan pipa ASTM A 106 Grade B
2. Dapat mengetahui perbedaan kekerasan pada bagian base metal, HAZ dan weld.

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini menggunakan baja ASTM 106 Grade B pada sambungan pipa dengan proses pengelasan SMAW. Spesimen di uji kekerasan dan uji kekuatan Tarik

2. Teori Dasar

2.1 Pengertian Pengelasan

Definisi pengelasan menurut DIN (*Deutsche Industrie Norman*) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilakukan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain, las merupakan sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas.

2.2 Las Shielded Metal Arc Welding (SMAW)

Shielded Metal Arc Welding adalah proses pengelasan manual dimana busur listrik tercipta diantara benda kerja dan elektroda termakan yang dibungkus terak. Proses ini menggunakan

dekomposisi terak guna menciptakan gas pelindung dan menyediakan elemen terak untuk melindungi lelehan logam lasan [2].

2.3 Elektroda Terbungkus

Panas pada proses pengelasan ini dihasilkan dari busur listrik antara ujung elektroda dengan logam yang dilas. Elektroda Terdiri dari kawat logam sebagai penghantar arus listrik ke busur dan sekaligus sebagai bahan pengisi (filler). Kawat ini dibungkus dengan bahan fluks. Biasanya dipakai pada arus listrik yang tinggi (10-500 A) dan potensial yang rendah (10-50).

2.4 Besar Arus Listrik

Penyetelan kuat arus pengelasan akan mempengaruhi hasil las. Bila kuat arus yang digunakan terlalu rendah akan menyebabkan sukarnya penyalan busur listrik. Busur listrik yang terjadi menjadi tidak stabil. Panas yang terjadi tidak cukup untuk melelehkan elektroda dan bahan dasar se- hingga hasilnya merupakan rigi-rigi las yang kecil dan tidak rata serta penembusan kurang dalam. Sebaliknya bila kuat arus terlalu tinggi maka elektroda akan mencair terlalu cepat dan akan menghasilkan permukaan las yang lebih lebar dan penembusan yang dalam sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang rendah dan menambah kerapuhan dari hasil pengelasan [3].

2.5 Baja Paduan Rendah

Baja paduan rendah adalah baja paduan yang mempunyai kadar karbon sama dengan baja lunak, tetapi ditambah dengan sedikit unsur-unsur paduan. Penambahan unsur ini dapat meningkatkan kekuatan baja tanpa mengurangi keuletannya. Baja paduan banyak digunakan untuk kapal, jembatan, roda kerta api, ketel uap, tangki-tangki dan dalam permesinan.

2.6 Jenis – Jenis Sambungan Las

1. Edge Joint

Merupakan sambungan di mana kedua benda kerja sejajar satu sama lain dengan catatan salah satu ujung dari kedua benda kerja tersebut berada pada tingkat yang sama merupakan sambungan di mana kedua benda kerja sejajar satu sama lain dengan catatan salah satu ujung dari kedua benda kerja tersebut berada pada tingkat yang sama.

2. Lap Joint

Tipe sambungan las yang sering digunakan untuk pengelasan spot atau seam. Karena materialnya ini ditumpuk atau disusun sehingga sering digunakan untuk aplikasi pada bagian body kereta dan cenderung untuk plat plat tipis. Jika menggunakan proses las SMAW, GMAW atau FCAW pengelasannya sama dengan sambungan fillet.

3. Corner Joint

Corner Joint mempunyai desain sambungan yang hampir sama dengan T Joint, namun yang membedakannya adalah letak dari materialnya. Pada sambungan ini materialnya yang disambung adalah bagian ujung dengan ujung. Ada dua jenis corner joint, yaitu close dan open. Untuk detailnya silahkan lihat pada gambar di bawah ini.

4. T (Fillet) Joint

T Joint adalah jenis sambungan yang berbentuk seperti huruf T, tipe sambungan ini banyak diaplikasikan untuk pembuatan konstruksi atap, konveyor dan jenis konstruksi lainnya. Untuk tipe groove juga terkadang digunakan untuk sambungan fillet adalah double bevel, namun hal tersebut sangat jarang kecuali pelat atau materialnya sangat tebal. Berikut ini gambar sambungan T pada pengelasan.

5. Butt Joint

Sambungan butt joint adalah jenis sambungan tumpul, dalam aplikasinya jenis sambungan ini terdapat berbagai macam jenis kampuh atau groove yaitu V groove (kampuh V), single bevel, J groove, U Groove, Square Groove untuk melihat *macam macam kampuh las* lebih detail silahkan lihat gambar berikut ini.

2.7 Struktur Daerah Las

Pada proses pengelasan, transformasi (austenit) ke (ferit) merupakan tahap yang paling krusial karena struktur mikro logam las yang berarti juga sifat-sifat mekanisnya sangat ditentukan pada tahap ini. Diantara faktor-faktor yang mempengaruhi transformasi (austenit) ke (ferit) adalah masukan panas (heat input), komposisi kimia las, kecepatan pendinginan dan bentuk sambungan las seperti ditunjukkan oleh diagram CCT (Continuous Cooling Transformation), struktur mikro logam las baja terdiri dari kombinasi dua atau lebih fasa-fasa berikut yang disusun berdasarkan suhu pembentuknya [4].

2.8 Pengujian Tarik

Uji tarik rekayasa banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan. Pada uji tarik, benda uji diberi beban gaya tarik sesumbu yang bertambah secara kontinyu, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan terhadap perpanjangan yang dialami benda uji. Kurva tegangan regangan rekayasa diperoleh dari pengukuran perpanjangan benda uji.

2.9 Pengujian Kekerasan

Uji Kekerasan merupakan salah satu cara untuk mengetahui kekuatan atau ketahanan material sedangkan kekerasan ialah salah satu sifat mekanik dari suatu material selain sifat fisik dan teknologik yang dimilikinya.

3. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental dan analisa yang digunakan untuk mengetahui kekuatan tarik dan kekerasan pada sambungan las material ASTM Grade B . Eksperimental adalah melakukan pengamatan dibawah kondisi buatan yang sengaja diatur dan dibuat oleh peneliti. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Uji Material Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe dengan kondisi dan peralatan yang disesuaikan.

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Pengujian Tarik dan Kekerasan dilakukan di Laboratorium Uji Material Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe.

3.2 Dimensi Benda Uji

a. Pipa Baja ASTM A106 Gr.B dengan dengan diameter ϕ 10 inch, tebal 7,11 mm, dan panjang 200 mm.

b. Elektroda E7018 dengan diameter ϕ 3.2 mm dan E6010 dengan diameter ϕ 2.6 mm.

c. Menggunakan kampuh V

3.3 Objek Studi

- Hasil pengelasan material baja ASTM A 106 Grade B menggunakan las SMAW dengan elektroda E 6010 dan E 7018 menggunakan kampuh V pengelasan metode SMAW
- Hasil uji tarik pada daerah sambungan pipa
- Hasil uji kekerasan pada daerah base metal dan HAZ yang sudah dibentuk dalam pengujian masing-masing

3.4 Pelaksanaan Penelitian

Sebelum melakukan penelitian ada beberapa tahap yang harus dipenuhi diantaranya sebagai berikut.

3.4.1 Persiapan Penelitian

1. Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses pengelasan adalah sebagai berikut :

- Mempersiapkan mesin las SMAW sesuai dengan polaritas DCEP (*Direct Current Electrode Positive*)

b. Mempersiapkan elektroda E7018 dan E6010

c. Mempersiapkan 2 buah pipa baja A 106 Grade B dengan ukuran diameter ϕ 10 inch, panjang 200 mm, dan tebal 7,11 mm yang kedua sisi pipa telah dibevel 30°

d. Buat *root face* selebar 3 mm dengan menggunakan gerinda tangan sama besar dan rata.

e. Hidupkan mesin las, kemudian elektroda dijepitkan pada *holder* elektroda dan massa pada mesin las dijepitkan pada meja las.

f. Atur *root gap* antara 2 pipa yang akan di las dengan ukuran 3 mm.

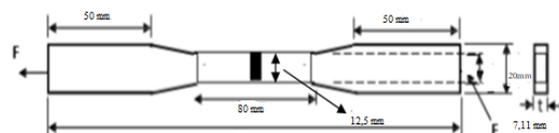
g. Ampere meter diatur pada angka 80 Ampere. Selanjutnya mulai dilakukan pengelasan untuk spesimen pipa baja A 106 Grade B dimulai dari pengelasan *root pass*, *fill pass*, dan *cover pass*.

Setelah proses pengelasan selanjutnya adalah material yang sudah di las akan di potong berbentuk spesimen uji dengan mesin gergaji besi yang ada di Laboratorium Teknologi Mekanik Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe, seperti terlihat pada gambar 3.2



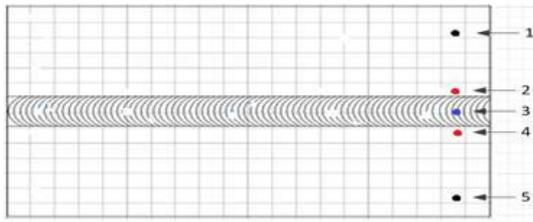
Gambar 3.2 Gergaji besi Hacksaw

Proses Pengujian Tarik (Gambar 3.3) ini bertujuan untuk mendapatkan Tensile Strength, Yield Strength, dan Elongation. Setelah pengujian dilakukan, didapatkan Kurva P- Δ L yang kemudian harus dtransformasikan kedalam Kurva Tegangan-Regangan. Standart pengujian tarik ini mengacu pada standart JIS Z 2201 1981.



Gambar 3.3 Spesimen uji tarik

Pengujian kekerasan dengan metode *rockwell* bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap indenter berupa bola baja ataupun kerucut intan yang ditekan pada permukaan material uji tersebut. seperti Gambar 3.4



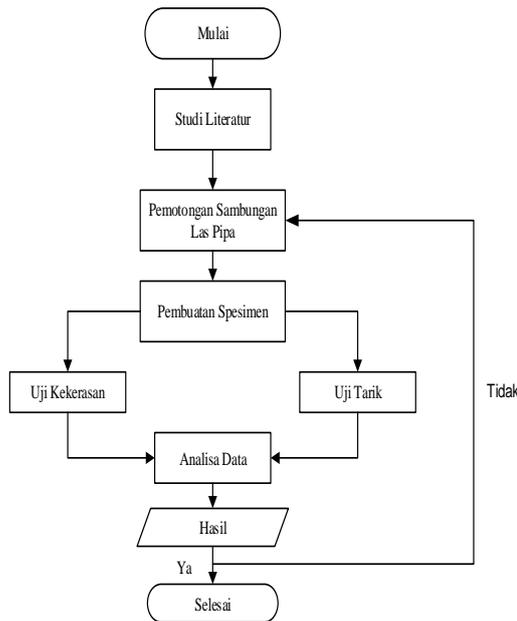
Gambar 3.4 Titik pengujian

Keterangan :

- Titik Uji Kekerasan Daerah Base Metal
 - Titik Uji Kekerasan Daerah HAZ
 - Titik Uji Kekerasan Daerah Weld Metal
- Titik 1: Daerah Pengujian Base Metal
 Titik 2: Daerah Pengujian HAZ
 Titik 3: Daerah Pengujian Weld Metal
 Titik 4: Daerah Pengujian HAZ
 Titik 5: Daerah Pengujian Base Metal

3.4 Diagram Alir Proses Penelitian

Penelitian ini dilakukan seperti diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 3.5



Gambar 3.5 Diagram alir penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

4.3 Hasil Uji Kekerasan

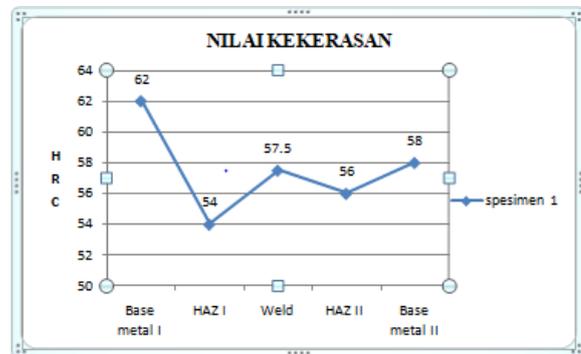
Pengujian Kekerasan dilakukan untuk mengetahui perbedaan kekerasan yang mengalami perlakuan pengelasan dengan logam induk. Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan mesin uji kekerasan. Hasil dari

pengujian kekerasan berupa energi yang diserap oleh benda uji dinyatakan dalam satuan HRC ..

Table 4.1 Data harga kekerasan

NO	Jenis Material	Titik Pengujian	No Spesimen	Harga Kekerasan (HRC)	Waktu (detik)
1	ASTM 106 Grade B	Base Metal I	1	62	21
			2	52	20
			3	65	20
			4	65.5	18
			Rata - rata		
2	ASTM 106 Grade B	HAZ I	1	54	20
			2	58.5	18
			3	56	19
			4	49	20
			Rata - rata		
3	ASTM 106 Grade B	WELD	1	57.5	22
			2	52	18
			3	73.5	22
			4	64.5	19
			Rata - rata		
4	ASTM 106 Grade B	HAZ II	1	56	18
			2	53	16
			3	58	18
			4	49.5	20
			Rata - rata		
5	ASTM 106 Grade B	Base Metal II	1	58	19
			2	55	18
			3	63.5	19
			4	60.5	20
			Rata - rata		

Adapun gambar grafik dari masing-masing nilai kekerasan seperti dibawah ini.

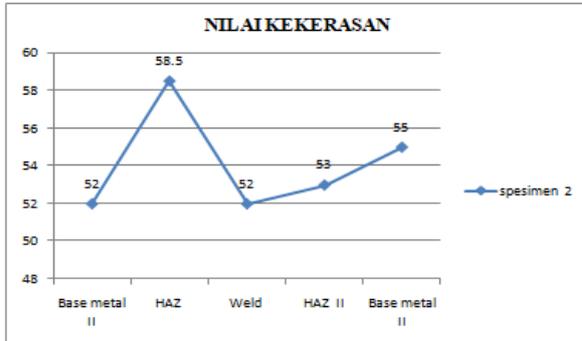


Gambar 4.4 Grafik nilai kekerasan specimen 1

Gambar grafik 4.4 diatas menunjukkan nilai kekerasan base metal 1 sebesar 62.00 HRC dan nilai kekerasan base metal 2 sebesar 58.00 HRC, ini terlihat terjadi penurunan nilai kekerasan sebesar 4.00 HRC pada daerah base metal 2. Nilai kekerasan HAZ 1 sebesar 54.00 HRC dan nilai kekerasan HAZ 2 sebesar 56.00 HRC, terlihat terjadi peningkatan nilai kekerasan antara kekerasan HAZ 1 dan HAZ 2 sebesar 2.00 HRC. Nilai kekerasan daerah weld metal sebesar 57.50 HRC. Nilai kekerasan terendah terjadi pada daerah HAZ 1 yakni sebesar 54 HRC dan diikuti dengan daerah HAZ 2 sebesar 56.00 HRC

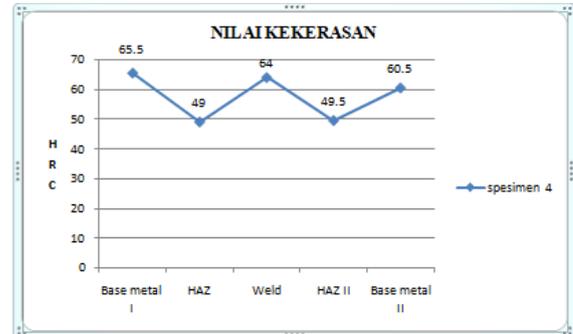
penurunan nilai kekerasan yang signifikan yaitu sebesar 3.84 HRC.

73.50 HRC. Nilai kekerasan tertinggi terjadi pada daerah Weld yakni sama sebesar 73.50 HRC dan diikuti dengan daerah base metal 2 sebesar 65.00 HRC.



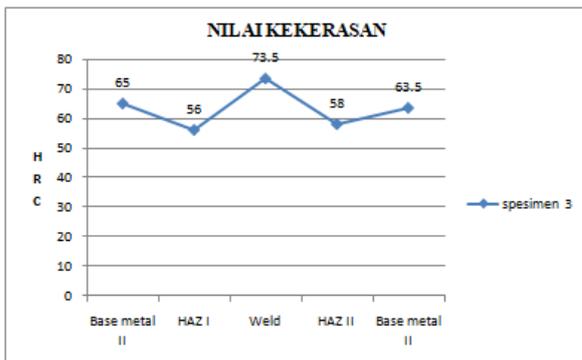
Gambar 4.5 Grafik nilai kekerasan spesimen 2

Gambar grafik 4.5 diatas menunjukkan nilai kekerasan base metal 1 sebesar 52.00 HRC dan nilai kekerasan base metal 2 sebesar 55.00 HRC, ini terlihat terjadi peningkatan nilai kekerasan sebesar 3.00 HRC pada daerah base metal 2. Nilai kekerasan HAZ 1 sebesar 58.00 HRC dan nilai kekerasan HAZ 2 sebesar 53.00 HRC, terlihat terjadi penurunan nilai kekerasan yang signifikan antara kekerasan HAZ 1 dan HAZ 2 sebesar 5.00 HRC. Nilai kekerasan daerah weld metal sebesar 52.00 HRC. Nilai kekerasan terendah terjadi pada daerah HAZ 1 dan weld yakni sama sebesar 52 HRC dan diikuti dengan daerah HAZ 2 sebesar 53.00 HRC.



Gambar 4.7 Grafik nilai kekerasan spesimen 4

Gambar grafik 4.7 diatas menunjukkan nilai kekerasan base metal 1 sebesar 65.50 HRC dan nilai kekerasan base metal 2 sebesar 60.50 HRC, ini terlihat terjadi penurunan nilai kekerasan sebesar 5.00 HRC pada daerah base metal 2. Nilai kekerasan HAZ 1 sebesar 49.00 HRC dan nilai kekerasan HAZ 2 sebesar 49.50 HRC, terlihat terjadi peningkatan nilai kekerasan antara kekerasan HAZ 1 dan HAZ 2 sebesar 0.50 HRC. Nilai kekerasan daerah weld metal sebesar 64.00 HRC. Nilai kekerasan tertinggi terjadi pada daerah base metal 1 yakni sebesar 65.50 HRC dan diikuti dengan daerah base metal 2 sebesar 60.50 HRC.



Gambar 4.6 Grafik nilai kekerasan spesimen 3

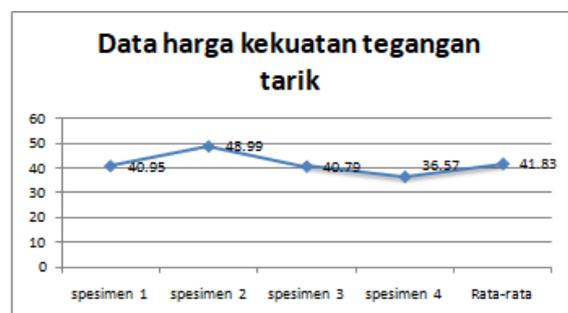
Gambar grafik 4.6 diatas menunjukkan nilai kekerasan base metal 1 sebesar 65.00 HRC dan nilai kekerasan base metal 2 sebesar 63.50 HRC, ini terlihat terjadi penurunan nilai kekerasan sebesar 1.50 HRC pada daerah base metal 2. Nilai kekerasan HAZ 1 sebesar 56.00 HRC dan nilai kekerasan HAZ 2 sebesar 58.00 HRC, terlihat terjadi peningkatan nilai kekerasan antara kekerasan HAZ 1 dan HAZ 2 sebesar 2.00 HRC. Nilai kekerasan daerah weld metal sebesar

4.4 Hasil Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui perbedaan sifat mekanik dan kekuatan tarik yang mengalami perlakuan pengelasan dengan logam induk. Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan mesin uji tarik.

NO	Material	Kekuatan Tegangan Tank (kgf/mm ²)
1	ASTM 106 GRADE B	40,95
2	ASTM 106 GRADE B	48,99
3	ASTM 106 GRADE B	40,79
4	ASTM 106 GRADE B	36,57
Rata-rata		41,83

Table 4.2 Data harga kekuatan tegangan

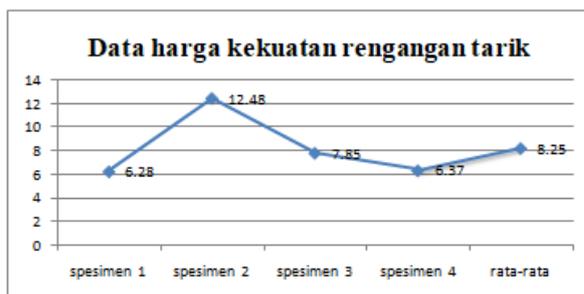


Gambar 4.9 Grafik Data harga kekuatan tegangan tarik

Berdasarkan gambar 4.9 terlihat kekuatan tarik tertinggi pada spesimen 2 yakni sebesar 48,99 kgf/mm², dan diikuti oleh spesimen 1 dengan nilai 40,95 kgf/mm², dan nilai terendah pada spesimen 4 dengan kekuatan tarik 36,57 kgf/mm². Dalam pengujian tarik rata-rata terjadi bukan putus pada sambungan las dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

NO	Material	Kekuatan Regangan Tank(%)
1	ASTM 106 GRADE B	6.28
2	ASTM 106 GRADE B	12.48
3	ASTM 106 GRADE B	7.85
4	ASTM 106 GRADE B	6.37
Rata-rata		8.25

Tabel 4.3 Data harga kekuatan regangan tarik



Gambar 4.11 Grafik Data harga kekuatan regangan tarik

Data dari Tabel 4.4 dan Berdasarkan grafik di atas yang mendapatkan nilai regangan paling tinggi adalah spesimen 2 dengan nilai 12,48 %, nilai yg sangat signifikan dengan spesimen 1 dengan nilai data 6,28 7,36 %, hal tersebut berarti mengalami perbedaan nilai regangan 6.20 %. Sebaliknya, nilai yang di dapatkan pada spesimen 3 senilai 7,85 % dan sedangkan nilai yang di dapatkan pada spesimen 4 adalah 6,37 menurun sekitar 1.48 % dari spesimen 3.

4.5 Pembahasan

Data dari hasil penelitian diketahui ada perbedaan nilai kekerasan dan kekuatan tarik antara ke 4 spesimen walaupun proses pengelasan dilakukan dengan proses yang sama tanpa adanya perbedaan.

Pengujian yang pertama adalah pengujian tarik pada pengujian ini nilai Kekuatan tegangan tarik tertinggi ada pada spesimen 2 dengan nilai 48,99 kgf/mm², Ketiga spesimen mengalami

area putus tidak terjadi pada area logam las, area putus terjadi disekitar daerah HAZ ini menunjukkan bahwa kekuatan weld baik, hanya pada spesimen 4 mengalami area putus pada bagian weld dengan nilai kekuatan tegangan tarik 36,57 kgf/mm², dengan nilai rata rata kekuatan tegangan tarik dari ke 4 spesimen senilai 41,83 kgf/mm² dan untuk nilai rata rata kekuatan regangan tarik (kgf/mm²) senilai 8,25%, Untuk nilai regangan tarik terendah juga terdapat pada spesimen 4 dengan nilai 6,37%.

Pengujian kedua adalah pengujian kekerasan, nilai dari pengujian dari setiap spesimen berbeda beda dari setiap 5 titik yang di uji adalah base metal I, HAZ I, weld, HAZ II dan base metal II. Dari data pengujian di peroleh nilai kekerasan tertinggi terjadi di bagian weld senilai 73.50 HRC pada nomer spesimen 3 dan nilai kekerasan terendah terjadi pada bagian HAZ I senilai 49 HRC.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

1. Pada pengujian kekerasan menunjukkan bahwa nilai kekerasan tertinggi pada daerah base material I terdapat pada spesimen 4 senilai 65.50 HRC, HAZ I pada spesimen II Sebesar 58.50 HRC , pada daerah Weld terdapat pada spesimen 3 sebesar 73.50 HRC, sedangkan HAZ II nilai tertinggi terdapat pada spesimen 3 sebesar 58.00 HRC dan nilai tertinggi pada base material II sebesar 63 HRC. Dan dari hasil kekerasan keseluruhan nilai kekerasan tertinggi terjadi pada daerah Weld dengan nilai 73,50 HRC.

2. Pada pengujian tarik menunjukkan bahwa tegangan tarik terendah Sebesar 36.81 kgf/mm² dan regangan tarik terendah sebesar 6.37 % yang kedua nilai tersebut terdapat pada spesimen 4. Hasil tegangan tertinggi sebesar 48,99 dan harga regangan tertinggi sebesar 12.48 nilai tersebut dimiliki pada spesimen 2

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan pengujian impact untuk mengetahui hasil kekuatan material.

6. Daftar Pustaka

- [1] H. Hamdani, "Pengaruh Masukan Panas Proses Pengelasan terhadap Sifat Mekanik Baja AISI 1045 suatu Kajian Analitis dan Analisa Numerik," J. Polimesin, vol. 17, no. 1, pp. 1–8.
- [2] Prayitno, D., Hutagalung, H. D., & Aji, D. P. B. (2018). Pengaruh kuat arus listrik pengelasan terhadap kekerasan lapisan lasan

- pada baja astm a316, 7590.
- [3] Santoso, T. B., Hutomo, P. T., Teknik, J., Fakultas, M., Universitas, T., Malang, N., ... Negeri, U. (2011). Pengaruh kuat arus listrik pengelasan terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro las smaw dengan elektroda E7016, 56–64.
- [4] Amin, A. (2015). Analisis Struktur Mikro dan Fraktografi Hasil Pengelasan GMAW Metode Temper Bead Welding dengan Variasi Temperatur Interpass pada Baja Karbon Sedang, (Snttm Xiv), 7–8.