

PENGARUH PENGELASAN GTAW PADA LOGAM BIMETAL PLAT BAJA KARBON RENDAH DAN *STAINLESS STEEL* TERHADAP SIFAT MEKANIK SAMBUNGAN LAS

Lisa Agustriyana, Sarjiyana, dan Suyanta

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang

Email: lisa.agustriyana@polinema.ac.id

ABSTRACT

Stainless steel material (stainless steel) is used in the home industry and the military industry, and also in the nuclear industry. Steel material is divided into five types, namely austenite, ferrite, martensite, duplex and precipitation hardening. Ferritic stainless steel is an attractive alternative in vehicle production because of its corrosion resistance. Different metals have different characteristics from one another, so the welding process of dissimilar metals requires certain techniques.

The purpose of this study is to determine the tensile strength of welds in bimetallic welding between low carbon steel plates and stainless-steel plates and to know the hardness of welds in bimetal welding between low carbon steel plates and stainless-steel plates using GTAW welding.

The research method used: this research is part of the testing of technical materials conducted by the destructive test method with the category of science and technology development in the field of Mechanical Engineering.

There is a trend of increasing tensile strength, yield strength and hardness of bimetallic welding of low carbon steel plates and stainless-steel plates using GTAW welding, that the greater the welding amperes will increase tensile strength, yield strength and hardness. The highest tensile strength was 41.18 Kg / mm² and the highest yield strength was 41.16 Kgf / mm² at 60 amperes and the highest hardness was 571.01 BHN at 55 amperes with the corresponding amperage range from the usage table 45 - 65 amperes. In the HAZ area when compared to the parent material, the HAZ area hardness is higher than the parent material and lower than the weld filler.

Keywords: Bimetal, GTAW, Tensile Strength, Hardness

1. PENDAHULUAN

Pengelasan bimetal merupakan proses penyambungan dua jenis logam yang berbeda dengan pengelasan. Pengelasan logam yang tidak sejenis mempunyai karakteristik yang berbeda satu dengan lainnya, sehingga proses pengelasan logam yang tidak sejenis memerlukan beberapa teknik pengelasan tersendiri, contohnya dalam pemilihan logam yang akan disambung harus tepat, pemilihan elektroda yang digunakan

harus sesuai, pengaturan ampere yang tepat. Oleh karena itu dibutuhkan cara supaya pengelasan bimetal dapat diterima dan akhirnya dapat diterapkan dengan baik sesuai dengan yang diinginkan.

Dari itulah pentingnya penelitian terkait dengan pengelasan khususnya pengelasan untuk jenis bahan yang berbeda dengan dengan menggunakan pengelasan *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW)

Penelitian terdahulu untuk bimetal yaitu Analisis Struktur Kristal Hasil Las *Friction-Stir Welding* pada Retreating Side Bimetal Disimilar Aa6061-Cu dengan Teknik Difraksi

Masalah yang dirumuskan sebagai pengukuran perubahan kekuatan *yield*, kekuatan tarik dan kekerasan pada pengelasan bimetal plat baja karbon rendah dan *stainless steel* dengan menggunakan las GTAW

Tujuan penelitian mengetahui kekuatan tarik lasan dan kekerasan lasan, HAZ pada pengelasan bimetal antara plat baja karbon rendah dengan plat *stainless steel* menggunakan las GTAW.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Sambungan

Setiap konstruksi mesin terdiri dari beberapa bagian atau komponen. yang satu dan yang lainnya dapat dihubungkan dan membentuk suatu konstruksi mesin yang di rancang. Salah satu cara dalam menyatukan komponen-komponen tersebut adalah dengan cara memberikan sambungan. Sambungan adalah hasil penyatuan beberapa bagian atau konstruksi dengan menggunakan suatu cara tertentu.

Macam–macam sambungan

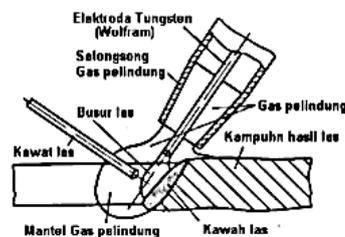
- a. Sambungan Tetap, yaitu sambungan yang hanya dapat dilepas dengan cara merusaknya. Contohnya : sambungan keling dan sambungan las.
- b. Sambungan tidak tetap, yaitu sambungan yang dapat kita lepas dan dibongkar tanpa merusak sesuatu. Contohnya sambungan pasak, sambungan pena, dan sambungan ulir.

2.2 Pengelasan GTAW

Pengertian pengelasan GTAW adalah sebuah proses pengelasan busur listrik yang menggunakan elektroda yang tidak ikut mencair. Pada pengelasan GTAW ini elektroda

atau tungsten ini hanya berfungsi sebagai penghasil busur listrik saat bersentuhan dengan benda kerja, sedangkan untuk logam pengisi adalah *filler rod*. Pengelasan GTAW ini juga sering disebut dengan Las Argon, hal tersebut dikarenakan gas pelindung yang digunakan adalah gas Argon.

Las GTAW ini juga disebut dengan Las TIG yang mempunyai kepanjangan *Tungsten Inert Gas*, perbedaan ini hanya penyebutannya saja. Kalau GTAW itu lebih sering untuk istilah Amerika sedangkan TIG adalah untuk daerah Eropa. Fungsi Las GTAW ini biasanya digunakan untuk melakukan pengelasan Aluminium atau stainless steel yang memang banyak membutuhkan perlakuan khusus.



Gambar 2.1. Proses las GTAW.

2.3 Mengenal Bahan Pelat atau Plat

Pelat atau plat terdiri dari berbagai jenis bahan. Secara garis besar bahan pelat ini dikelompokkan menjadi dua bagian besar yang memiliki sifat berbeda-beda yakni: bahan pelat logam ferro dan pelat logam non ferro. Bahan pelat logam ferro diantaranya adalah pelat baja lembaran. Bahan pelat dari logam non ferro diantaranya bahan pelat aluminium, tembaga, dan kuningan. Sifat-sifat bahan ferro dan non ferro sangat mempengaruhi pembentukan maupun finishing yang akan dilakukan pada bahan pelat tersebut. Secara umum bahan-bahan logam mempunyai sifat fisik dan sifat kimiawi terhadap efek kualitas pengerjaannya.

2.4 Pengelasan Baja Paduan Rendah

Yang termasuk baja paduan rendah adalah baja-baja yang mengandung unsur paduan dengan jumlah kurang dari 5% dan mengandung 0,25-0,5% C.

Keberhasilan pengelasan baja paduan rendah tidak hanya tergantung pada jenis proses dan pemilihan *electrode*, tetapi juga ada factor lain yang berpengaruh dan harus diperhatikan seperti:

- Temperatur pemanasan awal (Preheat) dan temperatur antar lapisan (*interpass*)
- Kandungan *hydrogen* dijaga rendah khususnya dalam kasus *preheat* dibawah temperature 205 °.
- Persyaratan pemanasan pada akhir pengelasan (PWHT).

2.5 Pengelasan Baja Tahan Karat (*Stainless Steel*)

Pemilihan electrode/filler dalam pengelasan baja tahan karat didasarkan pada kemiripan komposisi kimia dari logam induk dengan electrode/filler. Jadi sebisa mungkin electrode/filler dan logam induk sejenis. Pertimbangan lainnya yang cukup penting adalah yang berkaitan dengan sifat ketahanan korosi dan ketahanan terhadap timbulnya retak. Pada dasarnya baja tahan karat ada 3 jenis yaitu baja tahan karat Austenitik, Feritik, dan Martensitik seperti pada tabel

- Tabel 2.1 Tipe dan komposisi baja tahan karat (*Stainless Steel*)

<i>Element</i>	<i>Ferritic</i>	<i>Martensitic</i>	<i>Austenitic</i>
<i>Carbon</i>	0.08 – 0.20 %	0.15 – 1.2 %	0.03 – 0.25
<i>Manganese</i>	1 – 1.5 %	1 %	2 % (5.5 – 10 %)
<i>Silicon</i>	1 %	1 %	1 – 2 % (0 %)
<i>Chromium</i>	11 – 27 %	11.5 – 18 %	16 – 26 %
<i>Nickel</i>			3.5 – 22 %
<i>Phosphorus and Sulfur</i>			Normal (0 %)
<i>Molydenum</i>			<i>Some cases</i>
<i>Titanium</i>			<i>Some cases</i>

2.5.1 Pengelasan Baja Tahan Karat *Austenitic*

Baja tahan karat *austenitic* mempunyai sifat lebih mudah dilas dibanding baja tahan karat feritik dan martensitik, karena pada baja *austenitic* ini tidak terjadi perubahan *phase* akibat temperature pengelasan. Sambungan las mempunyai sifat liat (*Ductile*). Baja tahan karat tipe 303 dan 303 SE mengandung sulfur dan selenium untuk memudahkan dimesin, tetapi untuk pengelasan mudah terjadi "Hot Short Cracking". Untuk tipe lain seperti tipe 302, 304, dan 304L mudah dilakukan pengelasan dan untuk menghindari terjadinya karbida krom pada batas butir pengelasan dapat dilakukan dengan kawat las Grade "L" seperti 304L, 316L, 317L. Kawat las untuk pengelasan baja tahan karat jenis austenitrik seperti yang di sarankan pada tabel berikut:

Tabel 2.2 Kawat las yang disarankan untuk pengelasan baja tahan karat austenitic

Bahan dasar / Logam induk AISI	Kawat Las
302,304	308
304L	308L,347
303,303Sc	312
310	310
316	316
316L	318,316L
317	317
318,316(Cb)	318
312	347
347	347
348	347

2.5.2 Pengelasan Baja Tahan Karat Feritik

Baja tahan karat jenis ini mempunyai kandungan 12 – 30 % chrom, sehingga kemampuan untuk dilas lebih rendah dibandingkan dengan baja tahan karat *austenitic*. Dikarenakan mempunyai fasa feritik, maka baja tahan karat jenis ini jika dilas sebagian struktur mikronya akan berubah menjadi martensit didaerah HAZ (*Heat Affected Zone*)/daerah yang terpengaruh oleh panas las.

Untuk menghindari terjadinya martensit tanpa annealing, maka dapat dipilih bahan yang kuat untuk membentuk ferit seperti Ti, Al dan Wb, atau pengelasan menggunakan pemanasan awal atau *Preheat*. Tabel 2.3 dan 2.4 adalah pemilihan kawat las (filler) yang disarankan dan pemanasan awal untuk pengelasan baja tahan karat jenis feritik.

Tabel 2.3 Kawat las yang disarankan untuk pengelasan baja tahan karat Feritik

Bahan dasar / Logam induk AISI	Kawat Las
405	405(Cb),430,308,309,310
430	430,308,309,310
430F	430,308,309,310
442	442,308,309,310
446	446,308,309,310

Tabel 2.4 Temperatur pemanasan awal dan perlakuan panas yang disarankan untuk pengelasan baja tahan karat feritik

Bahan dasar/Logam induk AISI	Temperatur pemanasan awal ° C	Temperatur Pemanasan lanjut dan pendinginan ° C
405	66 - 149	648-760 dinginkan diudara
409	66 - 149	648-760 dinginkan diudara
430	66 - 149	760-842 dinginkan diudara
442	149 - 260	787-898 segera didinginkan
446	149 - 260	-

2.5.3 Pengelasan Baja Tahan Karat Martensitik

Baja tahan karat martensitik lebih sulit dilas dibanding dengan baja tahan karat feritik, karena adanya perubahan fasa dari austenite menjadi martensit pada saat pendinginan setelah pengelasan, sehingga pengelasan membutuhkan cara-cara khusus untuk mengendalikan supaya tidak retak.

Cara yang efektif untuk mencegah keretakan las adalah dengan pemanasan awal dan mengontrol temperatur pengelasan *interpass*, dan pemanasan lanjutan sesuai kadar karbon, sebagai pedoman adalah :

1. Karbon 0,10% umumnya tidak perlu pemanasan awal dan lanjutan
2. Karbon 0,10-0,20% pemanasan awal 260°C dan pengelasan interpas, pendinginan perlahan.
3. Karbon 0,20-0,50% Pemanasan awal 260°C dan pengelasan interpas, dan annealing setelah pengelasan
4. Karbon diatas 0,50% Pemanasan awal 260°C dan pengelasan interpas dengan *Heat* input yang tinggi dan dilanjut dengan annealing setelah pengelasan (langsung tidak menunggu dingin).

Jika lasan akan dikeraskan (*hardened*), maka tidak perlu di *annealing*, kawat las dan temperature annealing yang disarankan dapat dilihat seperti tabel berikut:

Tabel 2.5 Macam-macam kawat las/filler yang dapat dipakai untuk baja tahan karat Martensitik

Bahan dasar /Logam induk AISI	Kawat Las
403,410,416,416SE	410
403,410	308,309,310
416,416SE	308,309,312
420	420
431	420
431	308,309,310

3. METODE

Jenis metode penelitian yang dilakukan adalah penelitian eksperimental. Penelitian dilakukan di laboratorium Perlakuan Bahan Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang. dan Laboratorium Pengujian Bahan, Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

Prosedur penelitian

Pemilihan Bahan sampel

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu plat baja karbon rendah tebal 3 mm dan plat stainless steel tebal 3 mm yang umum ada di pasaran sekitar Malang raya. Bahan spesimen plat baja karbon rendah ukuran 2400x1200x3 dan plat *stainless steel ferritic* ukuran 2400X1200x3mm di potong menjadi 150x25x3mm.

Pembuatan sampel

Bahan yang sudah dipotong selanjutnya dilakukan proses pengelasan antara plat baja karbon rendah dengan plat *stainless steel*. Pengelasan dilakukan dengan mengatur perubahan Ampere las. Hasil pengelasan bimetal dari plat baja karbon rendah dan stainless steel feritic, permukaan dibersihkan (digerinda) dan dipotong menjadi bahan uji tarik ASTM E-8M dengan ukuran menjadi 250x20x3mm



Gambar 3.3 Pembuatan sampel

Pengujian sampel

Bahan spesimen setelah dilakukan pengelasan dan pemesinan, selanjutnya dilakukan pengujian sifat mekanik material khususnya pengujian Tarik dan pengujian kekerasan, baik untuk bahan spesimen sebelum dilakukan pengelasan (data bahan baku) dan pengujian pada sambungan hasil lasan. Pengujian dilakukan pada daerah HAZ pada bahan plat baja karbon rendah, HAZ pada bahan plat baja stainless steel ferritic dan sambungan lasan. Data hasil pengujian Tarik pengujian kekerasan, pada pengujian Tarik data yang dikumpulkan adalah tegangan *yield*, tegangan *ultimate* dan kekerasan.

Tabel 4.6 Perhitungan rata hasil pengujian tarik plat baja karbon rendah dan stainless steel

Plat Stainless Steel	σ_y (Kgf/mm ²)	σ_u (Kgf/mm ²)	ϵ (%)	Plat Baja karbon rendah	σ_y (Kgf/mm ²)	σ_u (Kgf/mm ²)	ϵ (%)	Filler	σ_y (Kgf/mm ²)	σ_u (Kgf/mm ²)	ϵ (%)
1	35,94	41,71	39,52	1	29,62	36,42	23,62	1	36,73	50,37	36,56
2	36,36	38,42	42,89	2	28,89	34,78	22,08	2	38,56	46,68	38,24
3	35,46	43,86	38,12	3	27,58	37,48	25,64	3	34,35	52,76	34,90
4	37,67	42,34	37,48	4	30,86	35,06	21,56	4	37,65	51,56	35,29
5	33,98	40,14	41,46	5	32,24	38,98	24,28	5	35,98	49,49	36,81
Rata-rata	35,88	41,29	39,89	Rata-rata	29,84	36,54	23,78	Rata-rata	36,65	50,17	36,36

Tabel 4.7 Perhitungan rata-rata hasil pengujian tarik

Sambungan Las GMAW ke	Perlakuan perubahan Ampere Las GMAW														
	45 Ampere			50 Ampere			55 Ampere			60 Ampere			65 Ampere		
	σ_y (Kgf/mm ²)	σ_u (Kgf/mm ²)	ϵ (%)	σ_y (Kgf/mm ²)	σ_u (Kgf/mm ²)	ϵ (%)	σ_y (Kgf/mm ²)	σ_u (Kgf/mm ²)	ϵ (%)	σ_y (Kgf/mm ²)	σ_u (Kgf/mm ²)	ϵ (%)	σ_y (Kgf/mm ²)	σ_u (Kgf/mm ²)	ϵ (%)
1	33,35	38,04	15,82	30,18	39,00	20,20	33,06	39,37	16,06	36,86	46,97	27,30	32,44	36,43	23,18
2	29,46	34,98	16,30	33,64	42,31	19,18	36,01	43,03	20,84	34,57	44,40	25,00	35,45	40,57	20,64
3	31,54	35,41	14,20	33,02	40,56	18,20	34,59	40,19	17,08	35,03	43,50	26,87	34,08	35,24	19,86
4	32,11	37,76	16,68	34,81	41,02	16,75	35,04	42,92	19,86	34,84	45,50	27,56	32,80	39,46	22,64
5	30,98	34,35	15,12	32,06	41,72	19,94	34,68	41,08	18,36	37,86	45,34	24,86	33,86	38,96	21,36
Rata-rata	31,49	36,11	15,62	32,74	40,92	18,85	34,68	41,32	18,44	35,83	45,14	26,32	33,726	38,132	21,536

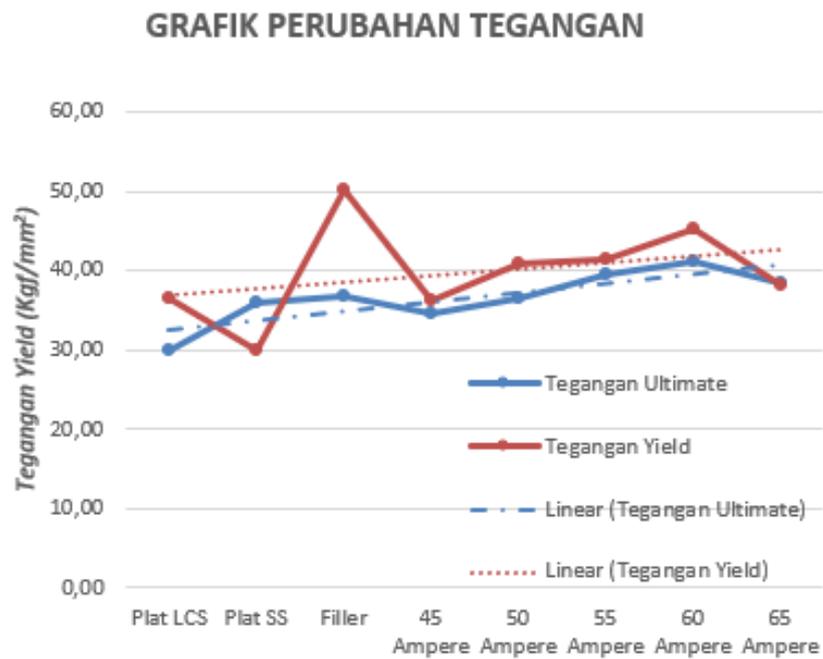
Tabel 4.8 Perhitungan rata-rata kekarasan plat *low carbon steel* dan *stainless steel*

Bahan	Plat Baja Karbon Rendah (HR15N)	Plat Stainless Steel (HR15N)
1	50,60	51,80
2	50,54	51,96
3	50,63	51,76
4	50,46	51,72
5	50,65	51,82
Rata-rata	50,58	51,81

Tabel 4.9 Perhitungan rata-rata hasil pengujian kekerasan

Sambungan Las	Perlakuan perubahan Ampere Las														
	50 Ampere			60 Ampere			70 Ampere			80 Ampere			90 Ampere		
	HAZ LCS (HR15N)	HAZ SST (HR15N)	Lasan (HR15N)	HAZ LCS (HR15N)	HAZ SST (HR15N)	Lasan (HR15N)	HAZ LCS (HR15N)	HAZ SST (HR15N)	Lasan (HR15N)	HAZ LCS (HR15N)	HAZ SST (HR15N)	Lasan (HR15N)	HAZ LCS (HR15N)	HAZ SST (HR15N)	Lasan (HR15N)
1	2,00	61,40	53,60	6,60	57,00	89,50	9,40	62,50	78,50	12,70	58,20	56,60	4,40	63,10	59,70
2	4,10	60,40	53,40	5,20	57,70	88,30	7,30	60,60	79,35	10,40	60,10	56,50	3,60	66,70	58,80
3	3,60	60,80	53,70	6,00	57,10	86,40	8,50	61,30	79,30	11,50	59,20	57,10	3,80	64,80	59,60
4	2,70	61,20	53,30	5,70	56,90	84,60	7,80	60,90	76,60	10,90	58,90	56,20	3,20	65,10	58,90
5	3,10	60,60	54,00	6,10	58,10	85,70	9,00	62,20	77,90	11,20	59,80	56,10	4,20	65,60	59,20
Rata-rata	3,10	60,88	53,60	5,92	57,36	86,90	8,40	61,50	78,33	11,34	59,24	56,50	3,84	65,06	59,24

Untuk mendukung interpretasi hasil perhitungan diatas, maka perlu dibuat dibuat grafik

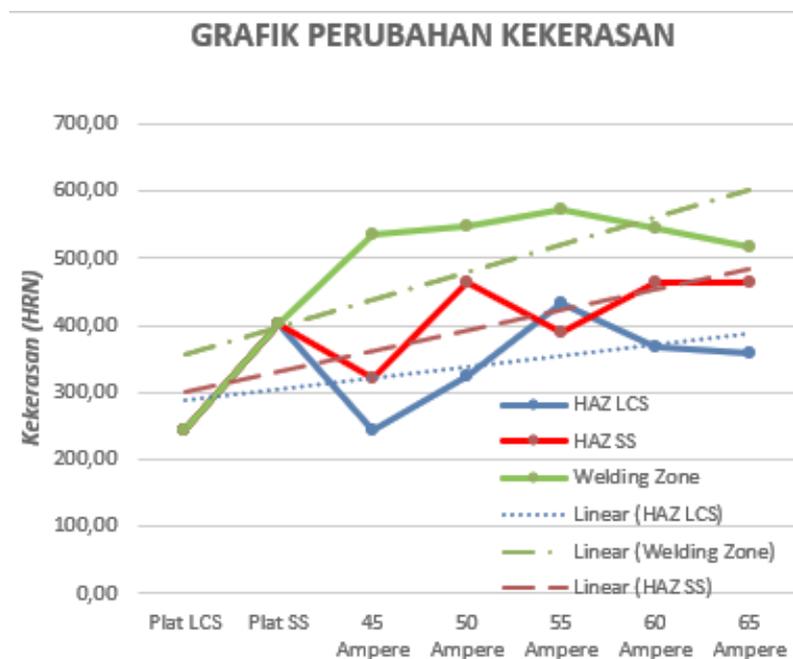


Gambar 4.5 Grafik tegangan tarik dan Ampere Las

Ditinjau terhadap perubahan tegangan yield, gambar 4.5 menunjukkan terjadinya trend kenaikan tegangan *yield* dari perubahan pengaturan ampere las pada pengelasan *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) dari 45 ampere sampai 65 ampere. Kenaikan tertinggi, tegangan *yield* terjadi pada penggunaan ampere 60 ampere sebesar 35,83 Kg/mm², jika dibandingkan dengan material dasar untuk plat baja karbon rendah

mengalami kenaikan kekuatan *yield* sebesar 20,09% dan plat stainless steel mengalami penurunan kekuatan *yield* sebesar 23,53%, serta dibandingkan dengan bahan *filler* mengalami penurunan sebesar 2,24%. Disini dapat diketahui bahwa kekuatan *yield* pada lasan bimetal, berada diatas kekuatan *yield* plat baja karbon rendah dan plat stainless steel serta berada dibawah kekuatan *yield* bahan *filler*.

Ditinjau terhadap perubahan tegangan *ultimate*, gambar 4.5 menunjukkan terjadinya trend kenaikan tegangan *yield* dari perubahan pengaturan ampere las pada pengelasan *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) dari 45 ampere sampai 65 ampere. Kenaikan tertinggi tegangan *ultimate* terjadi pada 60 ampere sebesar 45,14 Kgf/mm², jika dibandingkan dengan material dasar untuk plat baja karbon rendah sebesar tegangan *ultimate* mengalami kenaikan sebesar 9,32%, jika dibandingkan dengan bahan *stainless steel* tegangan *ultimate* mengalami kenaikan sebesar 23,53% dan jika dibandingkan dengan bahan *filler* mengalami penurunan sebesar 10,03%. Disini dapat diketahui bahwa tegangan *ultimate* lasan akan berada diatas tegangan *ultimate* plat baja karbon rendah dan tegangan *ultimate* plat stainless steel



Gambar 4.6 Grafik perubahan kekerasan pada HAZ dan Lasan

Ditinjau terhadap perubahan kekerasan pada daerah HAZ plat baja karbon rendah, gambar 4.6 menunjukkan terjadinya trend kenaikan kekerasan dari perubahan pengaturan ampere las pada pengelasan *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) dari 45 ampere sampai 65 ampere. Trend kenaikan tertinggi, kekerasan daerah HAZ plat baja karbon rendah terjadi pada penggunaan 55 ampere sebesar 431,65 BHN, sedangkan jika dibandingkan dengan material dasar untuk plat baja karbon rendah sebesar 77,19%.

Ditinjau terhadap perubahan kekerasan pada daerah HAZ plat *stainless steel*, gambar 4.6 menunjukkan terjadinya trend kenaikan kekerasan dari perubahan pengaturan ampere las pada pengelasan *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) dari 45 ampere sampai 65 ampere. Trend kenaikan tertinggi, kekerasan daerah HAZ plat *stainless steel* terjadi pada penggunaan 60 ampere sebesar 465,07 BHN, jika dibandingkan dengan material dasar *stainless steel* mengalami kenaikan sebesar 15,55%.

Ditinjau terhadap perubahan kekerasan pada daerah lasan, gambar 4.6 menunjukkan terjadinya trend kenaikan kekerasan dari perubahan pengaturan ampere las pada pengelasan *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) dari 45 ampere sampai 65 ampere. Nilai tertinggi, kekerasan lasan terjadi pada penggunaan 55 ampere sebesar 571,07 BHN, nilai terendah kekerasan pada penggunaan 65 ampere sebesar 516,81, jika dibandingkan dengan material dasar plat baja karbon rendah mengalami kenaikan sebesar 134,43 %, jika dibandingkan dengan material dasar *stainless steel* mengalami kenaikan sebesar 41,89%.

Ditinjau dari sisi bahan plat baja karbon rendah, tampak bahwa pada daerah pusat lasan (*Welding Zone*) terbentuk fasa α dan γ . Pada daerah terpengaruh panas plat baja karbon rendah (HAZLCS), terdapat tiga fasa yaitu fasa α , α' , dan γ dan pada daerah logam dasar (BM) terbentuk fasa γ . Hal ini mengindikasikan bahwa fasa γ masih tampak dominan pada semua daerah (WZ, HAZLCS dan BMLCS) akibat pemanasan dan pendinginan secara alami pada suhu kamar. Sedangkan pada sisi plat *stainless steel*, fasa α tampak pada semua daerah (WZ, HAZSS, dan BMSS). Hal ini mengindikasikan bahwa austenit tetap stabil meskipun terjadi pemanasan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Herman W Pollack, 1991, *Material Science and Metalurgy*, 4th edition, Reston Publishing Company, Inc, Reston Virginia.
2. *A Simplified explanation of welding polarity*, <http://stickweld.com/basic-information>, diakses 19 Juni 2012.
3. Andrew Althouse, *Artek Turnquist William A Bowditch Modern Welding*, The Good Heart Willcox Co. Inc, 1976
4. Maman Suratman, S.Pd, *Teknik Mengelas*, Pustaka Grafika, Bandung, 2001
5. Musaikan, Ir, *Teknik Las*, FTI Jurusan Teknik Mesin ITS, Surabaya, 1989
6. <https://en.wikipedia.org/wiki/Bimetal>
7. alatuji.com/article/detail/3/what-is-hardness-test-uji-kekerasan
8. <http://riset.unisma.ac.id/index.php/jts/article/view/705/693>
9. http://www.kobelco.co.jp/english/welding/events/files/2015_KOBELCO_Specific.pdf
10. <https://hermanuloh79.blogspot.com/2015/08/cara-memilih-jenis-pengelasan-untuk-konstruksi.html>
11. <https://www.leonghuat.com/hardness.htm>