



Pengaruh Variasi Arus Dan Polaritas Terhadap Kekuatan Tarik, Tekuk dan Kekerasan Hasil Las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) Pada Baja SS 400

Chandra Wijaya Panggabeh^{1)*}, Untung Budiarto¹⁾, Ari Wibawa Santosa¹⁾

¹⁾Laboratorium Pengelasan

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

*e-mail : jayagabe0@gmail.com

Abstrak

Baja SS400 memiliki kandungan carbon rendah dibawah 0,30 %. Penggunaan polaritas arus listrik dalam pengelasan mempengaruhi penetrasi dan kecepatan pencairan logam induk. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil kekuatan tarik, tekuk dan kekerasan pada sambungan las baja SS400 dengan variasi arus dan polaritas pengelasan SMAW. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada baja SS400 nilai kekuatan tarik, modulus elastisitas, tekuk dan kekerasan dengan arus DCEP memiliki nilai lebih besar dibandingkan dengan DCEN pada tiap arus las, dan untuk nilai regangan tarik terbesar berbanding terbalik dengan tegangan tarik. Untuk arus 100 Amp memiliki nilai kekuatan tegangan tarik sebesar 493,70 Mpa, nilai regangan tarik sebesar 25,53 %, nilai modulus elastisitas sebesar 57,35 Gpa, dan nilai tekuk sebesar 662,41 Mpa. Pada arus 120 Amp memiliki nilai tegangan tarik sebesar 449,45 Mpa, nilai regangan sebesar 43,25 %, nilai modulus elastisitas sebesar 31,41 Gpa, dan nilai tegangan tekuk sebesar 602,44 Mpa. Pada arus 140 Amp memiliki nilai tegangan tarik sebesar 484,42 Mpa, nilai regangan tarik sebesar 27,92 %, nilai modulus elastisitas sebesar 48,81 Gpa, dan nilai tegangan tekuk sebesar 649,76 Mpa. Untuk nilai kekerasan dikarenakan hasilnya hampir sama maka diambil rata-rata kekerasan sebesar 154,85 VHN. Kesimpulan dari penelitian ini yaitu arus DCEP nilai kekuatan tarik, tekuk dan kekerasan lebih besar dibandingkan dengan nilai DCEN pada tiap arus las.

Kata Kunci : SMAW , SS400 , Arus, Polaritas, Tarik, Tekuk, Kekerasan

1. PENDAHULUAN

Dalam dunia perindustrian baja, pengelasan ialah sesuatu aspek penting buat proses revisi serta pemeliharaan dari alat- perlengkapan yang dibuat dari logam proses penambalan retak-retak, penyambungan, ataupun selaku perlengkapan pemotongan bagian-bagian yang dibuang ataupun diperbaiki. Pertumbuhan teknologi pada dikala ini terus menjadi maju, begitu pula yang terjalin di Indonesia sangat memerlukan metode pengelasan yang baik. Kemajuan teknologi ini dapat dilihat dengan terus menjadi banyaknya proses penyambungan logam dengan pengelasan.

Pengelasan SMAW ialah suatu proses penggabungan logam dimana memanfaatkan tenaga panas buat melelehkan barang kerja serta elektrode. Tenaga panas dalam las SMAW

didapatkan dari lompatan ion katoda serta anoda listrik yang terjalin pada ujung elektroda serta permukaan material [1].

Adapun baja yang digunakan dalam studi ini ialah baja SS400 yang memiliki kandungan karbon 0,30%. Dalam konstruksi kapal baja karbon rendah adalah komposisi utama pada lambung lambung kapal. Perihal ini diakibatkan tidak hanya gampang dikerjakan dengan proses pemesinan serta gampang dibangun, baja karbon rendah ini pula mempunyai watak sanggup las yang lumayan baik.

Pemakaian polaritas arus listrik dalam pengelasan sangat pengaruhi tingkatan kelelahan dan kecepatan pencairan logam induk, semakin besar arus las berpengaruh besar pada kecepatan pencairannya. Untuk arus pengelasan terdapat 2 tipe ialah DC serta AC. Watak signifikan dari

generator tipe AC ialah untuk mencegah *elektrode tungsten overheating* maupun gabungan antara *cleaning* dengan penetrasi medium. Pada arus DC dipisahkan menjadi 2 yakni DCEN (*Direct Current Electrode Negative*) dan DCEP (*Direct Current Electrode Positive*) [2].

Penelitian sebelumnya telah membahas perbandingan hasil uji kuat tarik dan lentur sambungan las baja sm 490 dengan kekuatan tarik tertinggi pada sambungan las akibat pengelasan SMAW dan tegangan tarik tertinggi untuk las SMAW adalah 666,05 MPa, sedangkan hasil las SAW sebesar 621,78 MPa, maupun *raw material* sebesar 608,28 Mpa [3].

Penelitian sebelumnya membahas tentang perbandingan hasil uji bending pengelasan baja SS400 dan pengelasan FCAW pada tipe kampuh dan posisi pengelasan yang berbeda. Untuk hasil terbesar dari tegangan lentur didapatkan dari las berbentuk V pada pengelasan 1G yaitu 569,41 Mpa dan jika dibandingkan dengan varian lain memiliki sifat paling lentur. Pengelasan 2G kampuh V bernilai 541,68MPa, posisi pengelasan kampuh U 1G adalah 558,88MPa, Posisi pengelasan 2G kampuh U yaitu 555,53MPa, dan *raw material* bernilai 515,28Mpa [4].

Penelitian sebelumnya membahas tentang pengaruh polaritas las dan jenis elektroda terhadap kekuatan tarik dan ketangguhan las smaw (*shielded metal arc welding*). Untuk tegangan tarik tertinggi yaitu elektroda E7016 menggunakan polaritas DC (-) adalah 590 Mpa. Untuk uji impact hasil terbesar diperoleh dari *raw material* yaitu 144 J/mm² [5].

Penelitian sebelumnya membahas tentang pengaruh arus dan kampuh V terhadap kekuatan tarik dan lentur las Gtaw aluminium 5083. Hasil yang didapatkan setelah diuji yaitu koefisien arus dan sudut pengelasan selama proses pengelasan memiliki pengaruh yang besar terhadap penentuan kualitas pengelasan. Pada arus 130 Amp dan sudut kampuh 80°, didapatkan hasil tarik, regangan dan tekuk terbesar yaitu bernilai 150,4N/mm² dan regangan 0,70%, dan tegangan tekuk sebesar 591,38N/mm². Pengujian lainnya dilakukan dengan aplikasi *Ansys LS-Dyna* dengan nilai tegangan tarik spesimen yaitu 139N/mm², beban tarik terbesar 17893,33N yaitu pada *base metal*. Nilai tegangan tekuk didapatkan sebesar 528N/mm², beban tekuk terbesar 3619N yaitu pada *base metal* [6].

Penelitian sebelumnya yang sudah dilakukan membahas tentang efek polaritas dan media pendingin terhadap nilai kekerasan permukaan baja karbon rendah didapatkan hasil *holding time* selama 60 menit ditemperatur 1000°C kemudian di *quenching* yaitu polaritas DC+ menghasilkan

kekerasan yang lebih tinggi pada semua spesimen yang diuji dengan nilai 418,66 VHN *quenching air*, 402,8 VHN *quenching oli*, 348 VHN *non treatment* jika dibandingkan polaritas DC- dengan nilai 405,92 VHN *quenching air*, 374,02 VHN *quenching oli* dan 323,38 VHN *non treatment* [7].

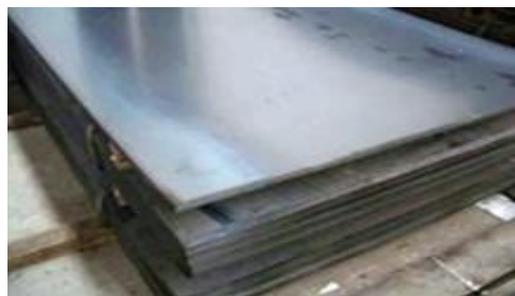
Pada penelitian ini batasan masalah yang digunakan yaitu baja SS400 dengan ketebalan 10 mm dan las yang digunakan yaitu SMAW, sambungan yang digunakan ialah *V-Butt joint* dengan sudut 60°. Elektroda yang digunakan adalah AWS A5.1 E 6013, pengujian yang dilakukan adalah uji tarik, uji tekuk dan uji kekerasan vickers. Standart yang digunakan dalam uji tarik yaitu ASTM E8/E8M-09, pengujian tekuk menggunakan standar ASTM E190-14 dan pengujian kekerasan vickers dengan standar ASTM E92. Pengujian dilakukan dengan menggunakan sampel sebanyak 49 buah spesimen dimana 21 spesimen untuk pengujian tarik, 21 spesimen untuk pengujian tekuk dan 7 spesimen untuk kekerasan, penelitian dilakukan tanpa menggunakan analisis *software*.

Adapun tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh variasi arus dan polaritas terhadap kekuatan tarik, tekuk dan kekerasan pada pengelasan SMAW (*Shield-Metal Arc Welding*) pada baja SS400 dengan arus pengelasan 100A, 120A dan 140A.

2. METODE

2.1. Pengumpulan Data

Data yang didapatkan bersumber dari internet, jurnal, buku terkait, dan studi lapangan secara langsung.

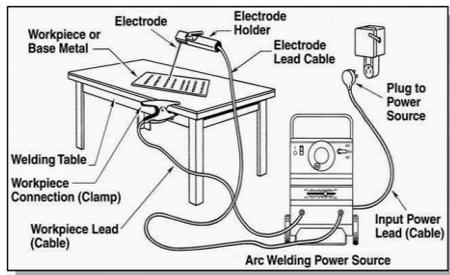


Gambar 1. Baja SS400

Gambar 1 menjelaskan tentang Baja SS400. Adapun tipe baja yang diuji pada riset ini yaitu baja SS400, dimana memiliki kandungan karbon dibawah 0,30 % yang sering digunakan dalam konstruksi lambung kapal.

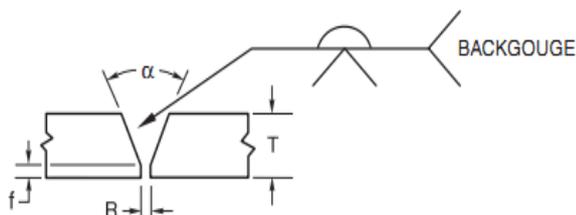
Pengertian pengelasan dapat diartikan sebagai penggunaan energi panas untuk menyambung secara lokal berbagai batang logam,

yang dapat berupa sumber panas listrik atau sumber api yang dihasilkan dari pembakaran.



Gambar 2 Skema Las SMAW

Gambar 2 Menjelaskan tentang skema las SMAW, dimana las SMAW ialah penggabungan logam dengan energi panas guna melelehkan material serta elektroda, panas bersumber dari loncatan ion katoda dan anoda dimana berlangsung di ujung elektroda serta permukaan material.



Gambar 3. Sambungan Single V- Butt Joint

Gambar 3 menjelaskan Single V- Butt Joint, yang merupakan sambungan las yang digunakan dalam penelitian ini dengan sudut kempuh 60°. Sambungan las adalah proses pemisahan material sesuai dengan ukuran, melengkungnya dan menyatukan antara satu dengan yang lain.



Gambar 4. Posisi pengelasan 1G

Gambar 4 menunjukkan tentang pengelasan dengan posisi 1G, dimana posisi ini yang digunakan pada tugas akhir ini yaitu proses pengelasan berlangsung di bawah tangan sang juru las. Posisi pengelasan dapat didefinisikan sebagai keadaan tukang las terhadap objek yang di-

las. Kesulitan pengelasan dipengaruhi oleh posisi pengelasan.



Gambar 5. Elektroda E 6013

Gambar 5 menunjukkan elektroda e6013 dimana elektroda ini yang digunakan dalam penelitian ini yang mengandung elektroda rendah hidrogen E.6013 NK yang memenuhi standar AWS, sering digunakan untuk pengelasan semua posisi, mengandung serbuk besi 25%-40% dan dapat digunakan untuk mesin las AC dan DC.

Pengujian menghambat dengan menaruh gaya tarik pada kedua ujung material yang bersifat merusak material dengan maksud mengetahui sifat mekanik, paduannya dan kekuatan tarik material yang diuji disebut dengan pengujian tarik (*tensile test*).

Dari pengujian tarik didapatkan sifat-sifat sebagai berikut :

1. Tegangan tarik maksimum (σ)

Tegangan tertinggi material sebelum terjadinya perpatahan (*fracture*).

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (1)$$

dimana,

σ = Tegangan tarik maksimum (MPa, N/mm²),

P = Beban Maksimum (N)

A₀ = Luas penampang awal (mm²).

2. Regangan maksimum (*e*)

Menunjukkan pertambahan panjang sebuah material setelah mengalami patahan dari panjang awal.

$$e = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\%$$

$$e = \frac{L_i - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (2)$$

dimana,

L_i = Panjang patahan (mm)

L₀ = Panjang awal (mm)

e = Regangan (%)

3. Modulus Elastisitas (E)
Ukuran kekakuan material dapat dihitung dengan rumus:

$$E = \frac{\sigma}{e} \quad (3)$$

dengan

E = Modulus elastisitas(MPa)

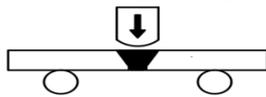
σ = Tegangan Maksimum(KN/mm²)

e = Regangan(%).

Bending test ialah suatu bentuk pengujian guna memilih kualitas material dengan visual, uji bending berfungsi mengetahui kekuatan material dari dampak beban yang diberikan pada sambungan las baik pada *weld metal* juga HAZ.

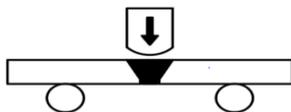
Uji tekuk terbagi menjadi dua berdasarkan posisi pengambilan spesimen yaitu *transversal bending* dan *longitudinal bending*. Spesimen yang tegak lurus searah pengelasan disebut *transversal bending*, dengan 3 bagian yaitu :

1. *Face bend* (Bending pada permukaan las)



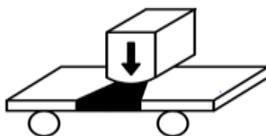
Gambar 6. Uji Transversal Bending Face Bend

2. *Root Bend* (Bending pada akar las)



Gambar 7. Uji Transversal Bending Root Bend

3. *Side Bend* (Bending pada sisi las)



Gambar 8. Skema Uji Transversal Bending Side Bend

Pengujian kekerasan *vickers* berfungsi sebagai ukuran kekuatan kekerasan suatu baja dimana pengujian dilakukan dengan mesin uji kekerasan mikro, keuntungan pengujian ini ialah material yang diuji tidak mengalami kerusakan dikarenakan hasil indentasinya sangat kecil, dan dapat digunakan lagi..

Uji *vickers* juga memiliki kekurangan yaitu untuk mendapatkan hasil nilai kekerasan membutuhkan waktu yang cukup lama maupun untuk pembuatan spesimennya dikarenakan

permukaan material harus sejajar, bersih, mengkilap, dengan ketinggian sama dan tidak boleh miring sehingga pengujian ini sedikit dilakukan.

Rumus yang digunakan untuk mendapatkan nilai kekerasan vickers yaitu:

$$VHN = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} \quad (4)$$

dengan :P merupakan beban panjang digunakan(kg), d adalah panjang diagonal peninjakan penetrator(mm), θ adalah sudut antara permukaan intan(*vickers*) atau 136^o.

Penetrasi dan kecepatan pencairan logam induk dipengaruhi oleh parameter las, semakin besar arus las yang diberikan maka tingkat penembusan dan kelelehannya semakin besar juga ini disebut dengan polaritas arus listrik. Jenis polaritas terbagi menjadi 2 yakni polaritas lurus dan terbalik. Polaritas lurus terjadi jika busur listrik dari elektrode mengenai material dasar yang menyebabkan tabrakan elektron dan akan dihasilkan 2/3 panas yang terletak pada material dasar sedangkan 1/3 lagi di elektroda. Pada konsep tersebut maka pencairan material dasar akan lebih besar dibanding elektrode dan penetrasi yang cukup dalam terjadi pada hasil las, sehingga dalam pengelasan yang lambat dan plat yang tebal memiliki hasil yang baik.

Polaritas terbalik apabila busur listrik dari material dasar menuju elektrode kemudian, tabrakan tabrakan elektron terjadi pada elektrode mengakibatkan 2/3 panasnya berada di elektrode dan 1/3 panasnya berada di material dasar, dengan konsep diatas elektrode mengalami pencairan lebih cepat dan penetrasi las akan lebih sedikit. Sangat baik digunakan pada pengelasan material yang tipis dengan bentuk manik las yang lebar [8].

2.2. Prosedur penelitian

1) Pemotongan Plat

Plat baja SS400 dibagi menjadi 7 bagian dengan ukuran 30cmx20cmx10cm yang digunakan pada pengujian tarik, tekuk dan kekerasan *vickers*.

2) Pembuatan Kampuh

Maka proses berikutnya yaitu pembuatan kampuh las dengan sudut 60^o dengan kampuh *single V butt-joint*

3) Proses Pengelasan

Sesudah plat baja dibentuk kumpuh kemudian dilakukan pengelasan dengan polaritas mesin las SMAW dengan karakteristik dibawah ini:

- Tipe pengelasan : SMAW
- Logam induk : Baja SS400 (10 mm)
- Elektroda : AWS A51 E 6013
- Posisi pengelasan : 1G (down hand)
- Sudut kumpuh : *Single V 60° Butt-joint*
- Travel speed : 12(cm/min)

4) Pembuatan Spesimen

Standart pengujian tarik yaitu berdasarkan standar ASTM E8 dengan dimensi 200mmx20mmx10mm sebanyak 21 spesimen. Standar pengujian tekuk berdasarkan standar ASTM E190-14 dengan dimensi 152mmx38mmx10mm sebanyak 21 spesimen dan uji kekerasan vickers berdasarkan standar ASTM E92 dimana dimensinya 100mmx38mmx10mm berjumlah 7 spesimen.

5) Pengujian Spesimen

Lokasi uji tarik maupun *bending* dilakukan di Laboratorium Material Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro dan untuk pengujian kekerasan vickers berlokasi di Laboratorium Teknik Bahan Sekolah Vokasi Universitas Gajah Mada.

2.3. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang diperlukan pada penelitian ini yang digunakan untuk membantu proses penelitian adalah berikut:

- Gerindra
- Jangka sorong
- Amplas
- Kapur
- Mesin *tensile test*
- Mesin *bending test*
- Mesin uji kekerasan Vickers
- Mesin Las Smaw
- Baja SS400
- Elektrode E6013

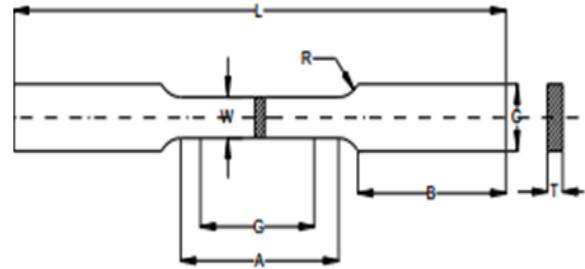
2.4. Parameter Penelitian

1) Parameter Tetap

Parameter tetap terdiri dari tipe pengelasan SMAW, tipe baja SS400 dan elektroda E6013 ,dengan dimensi ukurannya sebagai berikut :

Tabel 1. Dimensi Spesimen Uji Tarik

Keterangan	Ukuran
Gage Length (G)	50 mm
Length of reduced Section	57 mm
Width (W)	12,5 mm
Thickness (T)	10 mm
Radius of fillet (R)	12,5 mm
Overall Length (L)	200 mm
Width of grip section	20 mm

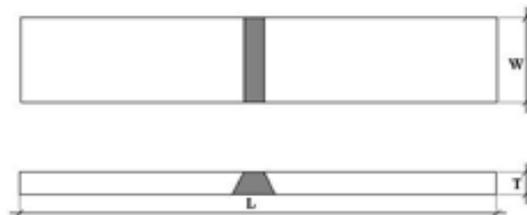


Gambar 9. Dimensi Spesimen Uji Tarik

Tabel 1 menunjukkan tentang ukuran dimensi spesimen pengujian tarik berdasarkan standar ASTM E-8 panjang *Gauge Length* (G) sebesar 2 inch (50.8 mm), dimensi *Width* (W) sebesar 0.5 inch (12.7 mm) dan lebar area cekam sekitar 3/4 in. (19.05 mm). Dibagian tengah dari batang uji (bagian yang paralel) adalah bagian yang menerima tegangan yang *uniform* dan pada bagian ini disebut panjang ukur (*gauge length*), yaitu bagian yang dianggap menerima pembebanan, bagian ini selalu diukur panjangnya selama proses pengujian [9]

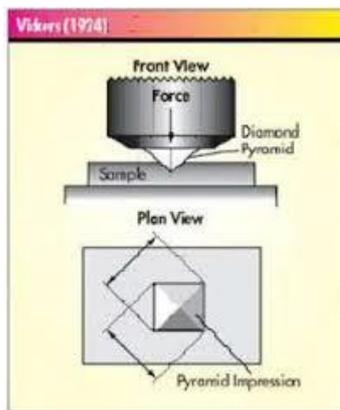
Tabel 2. Dimensi Spesimen Uji Tekuk

Keterangan	Ukuran
Overall Length	152 mm
Width	12,5 mm
Thickness	10 mm



Gambar 10. Dimensi Spesimen Uji Tekuk

Tabel 2 menunjukkan ukuran dimensi pengujian tekuk berdasarkan standar ASTM E190-14 dengan ukuran Panjang 152 mm, lebar 12,5 mm dan ketebalan material sebesar 10 mm [10].



Gambar 11. Dimensi Spesimen Uji Kerasan Vickers

Tabel 3. Dimensi Uji Kekerasan

Keterangan	Ukuran
Overall Length	100 mm
Width	30 mm
Thickness	10 mm

Tabel 3 menunjukkan ukuran dimensi uji kekerasan *vickers* menurut standar ASTM E92 dengan Panjang 100 mm, lebar 30 mm dan ketebalan material 10 mm [11].

2) Parameter Perubahan

Adapun parameter perubahan pada studi ini ialah posisi pengelasan, jenis kampuh, uji tarik, uji tekuk, maupun pengujian kekerasan.

2.5. Lokasi Penelitian

Lokasi pengelasan dengan polaritas menggunakan mesin las SMAW berlokasi di Laboratorium Las "INLASTEK WELDING INSTITUTE" Surakarta. Untuk uji tarik dan *bending* dilaksanakan di Laboratorium Material Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro dan untuk pengujian kekerasan dilakukan di Sekolah Vokasi Universitas Gajah Mada.

3) Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengujian Komposisi Bahan

Komposisi bahan sangat perlu dilakukan pengujian karena berpengaruh dalam menentukan kesesuaian material yang akan diuji. Baja SS 400 adalah bahan yang akan digunakan pada penelitian.

Tabel 4. Kandungan Komposisi Bahan

Unsur	Kandungan (%)
Fe	Ferrum 98
C	Carbon 0,20
Si	Silicon 0,09
Mn	Mangan 0,53
P	Phosphorus 0,10
S	Sulfur 0,04
Cr	Chromium 0,03
Ni	Nickel 0,03

Berdasarkan tabel 4 terdapat kandungan besi (Fe), mangan (Mn) dimana berfungsi memperbesar tingkat kekuatan maupun kekerasan, silisium (Si) berfungsi meningkatkan daya tahan arus, kemampuan mengatasi korosi, dan kandungan lain yang diperoleh yaitu karbon (C), fosfor (P), nikel (Ni), sulfur (S), khrom (Cr). Kesimpulan yang didapatkan dari pengujian bahan yaitu bahwa bahan yang sudah diuji sesuai dengan sifat baja SS400 yakni baja dengan karbon rendah [12].

3.2. Hasil Pengelasan

Pengelasan spesimen pertama dengan menggunakan arus 100 (+) dengan kecepatan pengelasan 12 cm/menit, pengelasan spesimen kedua menggunakan arus 120 (+) dengan kecepatan pengelasan 12 cm/menit, spesimen ketiga di las dengan kuat arus 140 (+) diberi kecepatan 12 cm/menit, spesimen keempat dengan kuat arus 100(-) dengan kecepatan las 12cm/menit, spesimen kelima dengan arus 120 (-) menggunakan kecepatan pengelasan 12cm/menit, dan pengelasan keenam dengan arus 140 (-) menggunakan kecepatan pengelasan 12 cm/menit. *Volt range* sebesar 22 volt untuk semua variasi arus.

3.3. Hasil Uji Tarik

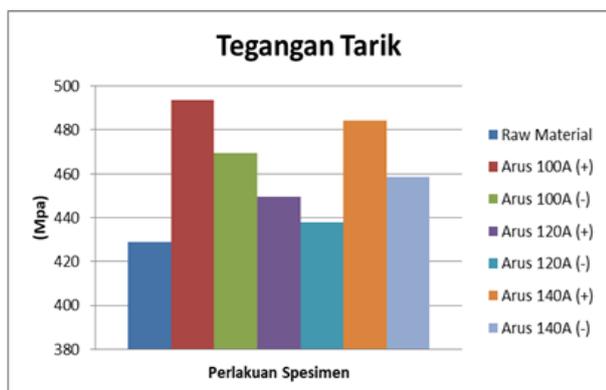
Uji tarik dilaksanakan di Laboratorium Material Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro pada tanggal 07 Mei 2021 dengan uji standar ASTM E8. Untuk pengujian tarik dihasilkan data-data yaitu meliputi tegangan, regangan serta modulus elastisitas dari Baja SS400 sesudah dilakukan pengelasan SMAW dengan variasi arus dan polaritas.

1) Tegangan Tarik

Setelah dilakukan pengelasan dengan SMAW dengan variasi arus dan polaritas didapatkan hasil tegangan tarik maksimum di daerah hasil las sebagai berikut :

Tabel 5. Hasil Pengujian Tegangan Tarik

Perlakuan	No	σ Max (Mpa)	σ Rata-Rata (Mpa)	Range Deviasi	Rata-rata Deviasi Tegangan Tarik (Mpa)
Raw Material	1	429.36			
	2	429.47	428.76	427.62-429.90	428.76
	3	427.45			
Arus 100A (+)	1	494.08			
	2	494.09	493.7	493.04-493.36	493.7
	3	492.94			
Arus 100A (-)	1	469.1			
	2	470.31	469.47	468.74-470.20	469.47
	3	469			
Arus 120A (+)	1	449.96			
	2	449.76	449.45	448.73-450.17	449.45
	3	448.63			
Arus 120A (-)	1	438.58			
	2	438.68	438.01	436.93-439.09	438.01
	3	436.76			
Arus 140A (+)	1	484.18			
	2	485.35	484.42	483.58-485.26	484.42
	3	483.72			
Arus 140A (-)	1	459.48			
	2	458.27	458.57	457.77-459.37	458.57
	3	457.97			



Gambar 12. Grafik Rata-rata Tegangan Tarik

Data tabel 5 menunjukkan bahwa tegangan tarik tertinggi pada arus DC 100(+) Amp sebesar 493,70 Mpa, kemudian pada arus 140 (+) Amp memiliki nilai tegangan rata-rata sebesar 484,42 Mpa, kemudian pada arus 100 (-) Amp memiliki tegangan rata-rata sebesar 469,47 Mpa, pada arus

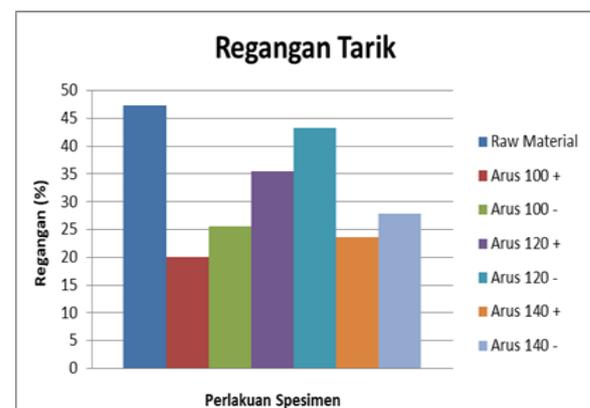
140 (-) Amp memiliki rata-rata tegangan sebesar 458,57 Mpa, kemudian pada arus 120 (+) memiliki nilai tegangan rata-rata sebesar 449,45 Mpa, pada arus 120 (-) memiliki nilai rata-rata tegangan sebesar 438,01 Mpa dan pada raw material memiliki tegangan rata-rata sebesar 428,76 Mpa.

2) Regangan Tarik

Setelah dilakukan pengelasan dengan SMAW dengan variasi arus dan polaritas didapatkan hasil regangan tarik maksimum di daerah hasil las sebagai berikut :

Tabel 6. Hasil Pengujian Regangan Tarik

Perlakuan	No	Regangan (%)	ϵ rata-rata (%)	Range Deviasi	Rata-rata Deviasi ϵ (%)
Raw Material	1	45.05			
	2	49.76	47.30	44,94-49,66	47.30
	3	47.10			
Arus 100 (+)	1	24.31			
	2	18.73	20.13	16,44-23,82	20.13
	3	17.34			
Arus 100 (-)	1	25.77			
	2	32.58	27.88	23,81-31,95	25,53
	3	25.30			
Arus 120 (+)	1	34.50			
	2	38.75	35.49	32,59-38,39	35,49
	3	33.22			
Arus 120 (-)	1	33.98			
	2	44.43	40.16	34,68-45,64	43,25
	3	42.08			
Arus 140 (+)	1	23.88			
	2	24.62	23.58	22,37-24,79	23,58
	3	22.25			
Arus 140 (-)	1	27.49			
	2	33.38	29.74	26,56-32,92	27,92
	3	28.35			



Gambar 13. Grafik rata-rata Regangan Tarik

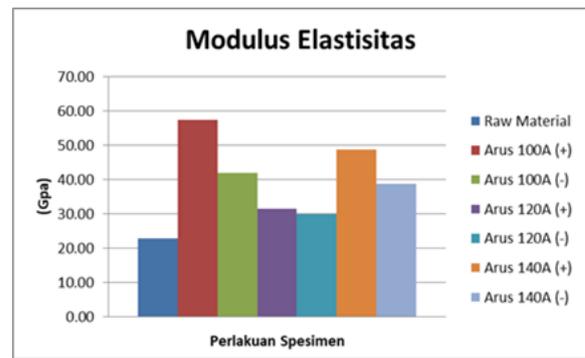
Tabel 6 menunjukkan hasil dari pengujian untuk regangan tarik dapat didapatkan nilai regangan tertinggi pada *raw material* sebesar 47,30 %, kemudian nilai regangan rata-rata pada arus 120 (-) sebesar 43,25 %, pada arus 120 (+) memiliki nilai regangan rata-rata sebesar 35,49 %, pada arus 140 (-) memiliki nilai regangan rata-rata sebesar 27,92 %, pada arus 100 (-) memiliki nilai regangan rata-rata sebesar 25,53 %, kemudian pada arus 140 (+) memiliki nilai regangan rata-rata sebesar 23,58 % dan pada arus 100 (+) memiliki nilai regangan rata-rata sebesar 20,13 %.

3) Modulus Elastisitas

Setelah dilakukan pengelasan dengan SMAW dengan variasi arus dan polaritas didapatkan hasil regangan tarik maksimum di daerah hasil las sebagai berikut :

Tabel 7. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas

Perlakuan	No	E (Gpa)	E rata-rata (Gpa)	Range rata-rata Deviasi	E Deviasi Rata-rata (Gpa)
Raw Material	1	23.83			
	2	21.34	22.93	21.55-24.32	22.93
	3	23.63			
Arus 100A (+)	1	51.11			
	2	58.49	57.35	51.60-63.11	57.35
	3	62.46			
Arus 100A (-)	1	47.38			
	2	34.44	41.90	35.21-48.60	41.9
	3	43.89			
Arus 120A (+)	1	32.17			
	2	28.72	31.41	29-33.81	31.41
	3	33.33			
Arus 120A (-)	1	34.42			
	2	25.86	29.84	25.52-34.15	29.84
	3	29.22			
Arus 140A (+)	1	45.10			
	2	45.80	48.81	42.98-54.64	48.81
	3	55.53			
Arus 140A (-)	1	38.10			
	2	32.70	38.77	32.34-45.19	38.77
	3	45.50			

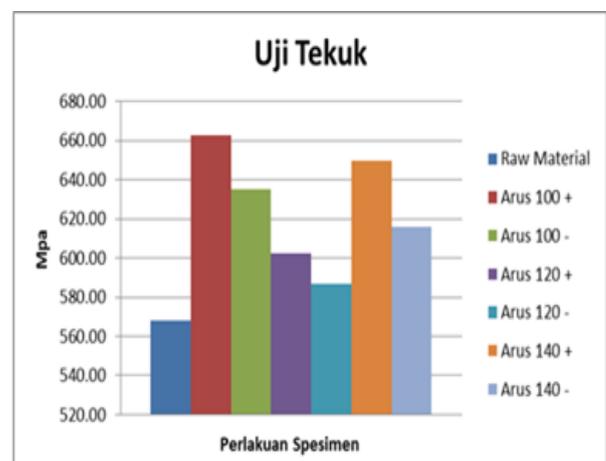


Gambar 14. Grafik Rata-rata Modulus Elastisitas

Data tabel 7 menunjukkan hasil pengujian nilai modulus elastisitas tertinggi pada arus 100 (+) Amp yaitu sebesar 57,35 Gpa, kemudian pada arus 140 (+) menunjukkan nilai rata-rata modulus elastisitas sebesar 48,81 Gpa, pada arus 100 (-) Amp menunjukkan nilai modulus elastisitas sebesar 41,90 Gpa, kemudian pada arus 140 (-) menunjukkan nilai rata-rata modulus elastisitas sebesar 38,77 Gpa, pada arus 120 (+) Amp menunjukkan nilai rata-rata modulus elastisitas sebesar 31,41 Gpa, kemudian pada arus 120 (-) Amp menunjukkan nilai rata-rata modulus elastisitas sebesar 29,84 Gpa, dan pada *raw material* menunjukkan nilai rata-rata modulus elastisitas sebesar 22,93 Gpa.

3.4 Hasil Uji Tekuk

Pengujian tekuk dilakukan dengan menggunakan standar ASTM E190-14 yang bertempat di Laboratorium Material Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro. Pengujian tekuk ini menggunakan 21 spesimen maka didapatkan hasilnya sebagai berikut :



Gambar 15. Grafik Rata-rata Tegangan Tekuk

Tabel 8. Data Hasil Pengujian Tekuk

Perlakuan	No	σ Max (Mpa)	Rata-rata (Mpa)	Range Deviasi	Rata-rata Deviasi σ (Mpa)
Raw Material	1	562.91			
	2	570.73	567.83	563.55-572.11	567.83
	3	569.84			
Arus 100 +	1	660.58			
	2	661.01	662.41	659.60-665.22	662.41
	3	665.64			
Arus 100 -	1	633.32			
	2	634.48	634.97	633.03-636.90	634.97
	3	637.1			
Arus 120 +	1	601.09			
	2	603.14	602.44	601.27-603.60	602.44
	3	603.08			
Arus 120 -	1	585.23			
	2	587.59	586.80	585.44-588.15	586.80
	3	587.57			
Arus 140 +	1	647.8			
	2	649.06	649.76	647.37-652.16	649.76
	3	652.43			
Arus 140 -	1	615.32			
	2	615.97	615.67	615.34-616.00	615.67
	3	615.72			

Tabel 8 menjelaskan hasil pengujian tekuk yang dilakukan maka didapatkan hasil yaitu tegangan tekuk yang paling tertinggi terdapat pada baja SS400 menggunakan variasi arus 100 (+) Amp sebesar 646,85 Mpa, kemudian pada arus 140 (+) Amp memiliki nilai tegangan tekuk rata-rata sebesar 635,88 Mpa, pada arus 100 (-) memiliki nilai rata-rata tegangan tekuk sebesar 629,90 Mpa, pada arus 140 (-) memiliki tegangan tekuk rata-rata sebesar 620,65 Mpa, pada arus 120 (+) memiliki nilai rata-rata tegangan tekuk sebesar 616,65 Mpa, pada arus 120 (-) memiliki nilai rata-rata tegangan tekuk sebesar 612,96 Mpa, dan pada arus *raw material* memiliki nilai rata-rata tegangan tekuk sebesar 528,76 Mpa.

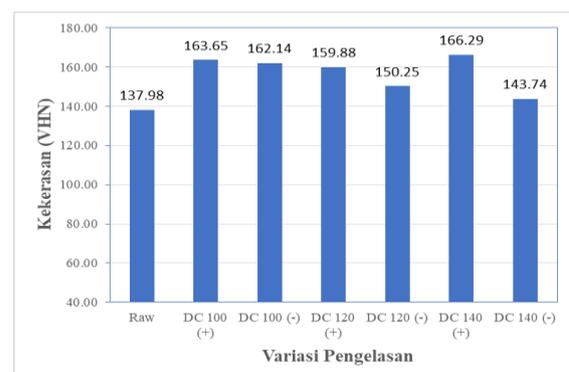
3.5. Hasil Uji Kekerasan Vickers

Pengujian kekerasan *vickers* dilakukan dengan menggunakan standar ASTM E92, pengujian dilakukan di Laboratorium Teknik Bahan Universitas Gadjah Mada (UGM), Yogyakarta, pada tanggal 08 Mei 2021. Pengujian dilakukan dengan 7 buah spesimen yang diberi pembebanan sebesar 40 kgf, pengujian dilakukan

di daerah hasil las, maka hasil yang didapatkan sebagai berikut :

Tabel 9. Data Hasil Uji Kekerasan

No	Variasi	D1 (mm)	D2 (mm)	D rata-rata (mm)	Kekerasan (VHN)	Rata-rata (VHN)
1		0.72	0.75	0.74	137.28	137.98
2	Raw	0.72	0.72	0.72	143.06	
3		0.74	0.75	0.75	133.62	
4		0.67	0.67	0.67	165.20	163.65
5	DC 100 (+)	0.69	0.68	0.69	158.05	
6		0.66	0.67	0.67	167.70	
7		0.64	0.70	0.67	165.20	162.14
8	DC 100 (-)	0.65	0.68	0.67	167.70	
9		0.68	0.71	0.70	153.53	
10		0.65	0.67	0.66	170.25	159.88
11	DC 120 (+)	0.69	0.68	0.69	158.05	
12		0.69	0.71	0.70	151.35	
13		0.72	0.74	0.73	139.16	150.25
14	DC 120 (-)	0.68	0.69	0.69	158.05	
15		0.69	0.70	0.70	153.53	
16		0.65	0.67	0.66	170.25	166.29
17	DC 140 (+)	0.67	0.71	0.69	155.77	
18		0.65	0.66	0.66	172.86	
19		0.72	0.73	0.73	141.09	143.74
20	DC 140 (-)	0.70	0.73	0.72	145.06	
21		0.71	0.72	0.72	145.06	



Gambar 16. Grafik rata-rata Nilai Kekerasan

Data tabel 9 menunjukkan hasil pengujian didapatkan hasil kekerasan *vickers* tertinggi terdapat pada arus 140 (+) Amp sebesar 166,29 VHN, kemudian pada arus 100 (+) memiliki nilai kekerasan sebesar 163,65 VHN, pada arus 100 (-) Amp memiliki nilai rata-rata kekerasan 162,14 VHN, pada arus 120 (+) memiliki nilai rata-rata kekerasan sebesar 159,88 VHN, pada arus 120 (-) nilai kekerasan sebesar 150,25 VHN, pada arus

140 (-) memiliki nilai rata-rata kekerasan sebesar 143,74 VHN dan pada raw material memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 137,98 VHN.

4) Kesimpulan

Dari pengujian yang sudah dilakukan pada sambungan las baja SS 400 dengan pengelasan variasi arus dan polaritas pada las SMAW didapatkan nilai pengujian tarik, tekuk dan kekerasan sebagai berikut:

Kekuatan tegangan tarik pada arus DCEP memiliki nilai lebih besar dari arus DCEN pada tiap arus las. Dengan tegangan tarik terbesar pada arus 100 Amp dengan nilai kekuatan sebesar 493,70 Mpa, kemudian pada arus 140 Amp memiliki nilai kekuatan sebesar 484,42 Mpa, kemudian arus 120 Amp memiliki nilai sebesar 449,45 Mpa, dan raw material memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 428,76 Mpa. Pada regangan tarik nilai terbesar berbanding terbalik dengan nilai dari kekuatan tegangan tarik, dimana raw material memiliki nilai regangan tertinggi sebesar 47,30 %, kemudian arus 120 Amp memiliki nilai regangan sebesar 43,25 %, pada arus 140 Amp memiliki nilai 27,92 % dan pada arus 100 Amp memiliki nilai regangan sebesar 20,13 %. Untuk modulus elastisitas nilai terbesar sebanding dengan dengan nilai terbesar dari nilai tegangan tarik dimana arus 100 Amp memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 57,35 Gpa, pada arus 140 Amp memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 48,81 Gpa, arus 120 Amp memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 31,41 Gpa dan pada raw material memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 22,93 Gpa.

Nilai pengujian tegangan tekuk sama dengan nilai pengujian tarik dimana nilai DCEP lebih besar dibandingkan dengan nilai DCEN, dengan arus 100 Amp dengan tegangan tekuk sebesar 662,41 Mpa, pada arus 140 Amp memiliki tegangan tekuk sebesar 649,76 Mpa, arus 120 Amp memiliki tegangan tekuk sebesar 602,44 Mpa dan untuk raw material memiliki tegangan tekuk sebesar 567,83 Mpa.

Nilai pengujian kekerasan vickers pada sambungan las memiliki nilai kekerasan hampir sama pada tiap arus dengan rata-rata sebesar 154,85 VHN.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Daryanto, *Teknik Las*. Bandung: ALFABETA, cv, 2013.
- [2] W.Despa. "Pengaruh Arus Ac Dan Dc Terhadap Hasil Pengelasan Pada Las Busur Listrik." *Jurnal Pendidikan Teknik*

Mesin 1.2 (2016).

- [3] A. Sam and C. Nugraha, "Kekuatan Tarik Dan Bending Sambungan Las Pada Material Baja Sm 490 Dengan Metode Pengelasan Smaw Dan Saw," *J. Mek. Januari*, vol. 6, no. 2015, pp. 550–555, 2015.
- [4] M. Y. Pratama, U. Budiarto, and S. Jokosisworo, "Analisa Perbandingan Kekuatan Tarik, Tekuk, dan Mikrografi Pada Sambungan Las Baja SS 400 Akibat Pengelasan FCAW dengan Variasi Jenis Kampuh dan Posisi Pengelasan," *Tek. Perkapalan*, vol. 7, no. 2, pp. 152–160, 2019.
- [5] A. Putra, "Pengaruh Polaritas Pengelasan Dan Jenis Elektroda Terhadap Kekuatan Tarik Dan Ketangguhan Las Smaw (Shielded Metal Arc Welding)," *J. Pendidik. Tek. Mesin UNESA*, vol. 6, no. 01, p. 250958, 2017.
- [6] Naufal, A & Jokosisworo "Pengaruh Kuat Arus Listrik Dan Sudut Kampuh V Terhadap Kekuatan Tarik Dan Tekuk Aluminium 5083 Pengelasan Gtaw," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 4, no. 1, pp. 256–264, 2016.
- [7] F. B. Susetyo, A. Kholil, and M. Fatihuddin, "Efek Polaritas dan Media Pendingin Terhadap Nilai Kekerasan Permukaan Hardfacing Baja Karbon Rendah," *J. Konversi Energi dan Manufaktur UNJ*, vol. 6, no. 1, pp. 1–5, 2019.
- [8] S. H. Sonawan & R., *Pengantar Untuk Memahami Pengelasan Logam*. Bandung: Alfabeta, 2004.
- [9] N.A. Sutisna, S. Winardi, and A. Suhartono, "Rancang Bangun Mesin Uji Universal Untuk Pengujian Tarik dan Tekuk Bertenaga Hidrolik," vol. 6, no. 1, pp. 32–41, 2021.
- [10] Anggigi, H., & Budiarto, U. "Analisa Pengaruh Temperatur Normalizing Pada Sambungan Las SMAW (Shielded Metal Arc Welding) Terhadap Kekuatan Tarik, Tekuk dan Mikrografi Baja Karbon Rendah," *Jurnal teknik perkapalan*, vol. 7, no. 4, pp. 504–513, 2019.
- [11] L.I. Saputra, U. Budiarto, and S. Jokosisworo, "Jurnal teknik perkapalan," *Tek. Perkapalan*, vol. 5, no. 2, pp. 421–430, 2017.
- [12] R., Jokosisworo, S., & Yudo, H. "Pengaruh Salinitas Air Laut dan Terhadap Laju Korosi Baja," *Jurnal teknik perkapalan*, vol. 8, no. 2, pp. 175–181, 2020.