

Pengaruh Variasi Komposisi Elektroda E7016 Terhadap Hasil Pengelasan SMAW Sambungan Butt Joint Menggunakan Material Baja SS 400 Dengan Analisa Komparatif Destructive Test (DT)

Jupri Yanda Zaira^{1*}, Oqbah Bennafi El Hasani¹, Mustaza Ma'a¹, Amnur Akhyan¹

¹ Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Caltex Riau, Pekanbaru 28265, Indonesia

Corresponding Author: jupri@pcr.ac.id

Riwayat Artikel

Diserahkan: 23 Juli 2024

Direvisi: 5 September 2024

Diterima: 24 Oktober 2024

Dipublikasi: 30 November 2024

Abstrak

Pengelasan (*welding*) adalah teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa logam penambah sehingga menghasilkan logam *continue*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh komposisi elektroda dari tiga brands yaitu niko steel, atlantik, dan kobelco terhadap kekuatan tarik, *bending* dan *impact*. Penelitian ini menggunakan pengelasan SMAW sambungan *butt joint single V* posisi 1G/PA plat dengan menggunakan elektroda diameter 4.0 mm pada spesimen baja SS 400. Hasil pengelasan selanjutnya dilakukan proses inspeksi secara visual dan NDT *penetrant test*, dimana hasil inspeksi dipastikan sesuai dengan standard TWI *acceptance level*. Selanjutnya hasil benda kerja dipotong menggunakan *bandsaw* dengan ukuran specimen yang sesuai dengan standard ASTM E8 untuk uji tarik, ASTM E290 untuk uji *bending*, dan ASTM E23 untuk uji *impact*. Hasil penelitian yang didapat nilai uji tarik terbesar terjadi pada komposisi elektroda nikko steel memiliki rata-rata kekuatan tarik tertinggi sebesar 792,5 Mpa. Pada pengujian *bending* nilai kekuatan *bending* terbesar terjadi pada komposisi elektroda nikko steel dengan rata – rata sebesar 8,71 kN. Pada pengujian *impact* diperoleh nilai tertinggi rata-rata terdapat pada elektroda nikko steel dengan nilai sebesar 1,1 J/mm².

Kata kunci: Pengelasan, Komposisi Elektroda, Tarik, Bending, Impact

Abstract

Welding is a technique for joining metals by melting a portion of the base metal and filler metal, with or without additional metal, to produce a continuous metal joint. The aim of this research is to determine the effect of electrode composition from three brands, namely Niko Steel, Atlantic, and Kobelco, on tensile strength, bending, and impact. This study uses SMAW welding with a single V butt joint in the 1G/PA position on SS 400 steel plates, using 4.0 mm diameter electrodes. The welding results are then inspected visually and with a NDT penetrant test to ensure conformity with TWI acceptance standards. Subsequently, the workpieces are cut with a bandsaw into specimens according to ASTM E8 for tensile testing, ASTM E290 for bending testing, and ASTM E23 for impact testing. The research results show that the highest tensile test value is achieved with Niko Steel electrodes, having an average tensile strength of 792.5 MPa. In bending tests, the highest bending strength is also observed with Niko Steel electrodes, averaging 8.71 kN.

In impact testing, the highest average value is found with Niko Steel electrodes, at 1.1 J/mm².

Keywords: Welding, Electrode Composition, Tensile, Bending, Impact

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan Negara kepulauan terbesar di dunia. Terbentang dari Sabang hingga Merauke. Menurut Pratama Indonesia memiliki 17.499 pulau dengan luas total wilayah Indonesia sekitar 7,81 juta km². Dari total luas wilayah tersebut, 3,25 juta km² adalah lautan dan 2,55 juta km² adalah zona ekonomi eksklusif (ZEE).

Hanya sekitar 2,01 juta km² yang berupa daratan. Dengan luasnya wilayah laut yang ada, Indonesia memiliki potensi kelautan dan perikanan yang sangat besar [9].

Dengan wilayah laut yang luas tentunya Indonesia memiliki jumlah kapal yang banyak. Menurut Bayu terdapat 98.123 kapal laut berbendera Indonesia. Jumlah ini terdiri dari 48.779-unit kapal barang, 4.772-unit kapal penumpang, dan 44.572-unit kapal ikan, dari 3.227 pelabuhan yang tersebar di seluruh wilayah Indonesia [5].

Banyaknya jumlah kapal ini menandakan bahwa konstruksi galangan kapal di Indonesia sangat berkembang pesat. Menurut Kementerian Perindustrian Republik Indonesia industri perkapalan nasional terus mengalami beberapa kemajuan, di antaranya peningkatan jumlah galangan dan kapasitas produksi. Saat ini, terdapat 250 perusahaan galangan kapal dengan kapasitas produksi sebesar 1 juta tonase bobot mati (*dead weight tonnage/DWT*) per tahun untuk bangunan baru, dan hingga 12 juta DWT per tahun untuk reparasi kapal [8].

Proses konstruksi kapal adalah sebuah aktivitas yang dimulai dari perencanaan atau desain kapal hingga kapal bisa beroperasi di lautan. Konstruksi dari kapal baja terbuat dari blok-blok badan kapal yang biasanya dilakukan di galangan kapal atau *building berth*. Untuk menyambungkan blok-blok badan kapal maka diperlukan lah proses pengelasan atau welding. Pengelasan (*welding*) adalah teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan

atau tanpa logam penambah dan menghasilkan logam continue. Pada umumnya pengelasan pada badan kapal yang banyak digunakan adalah pengelasan dengan proses *shield metal arc welding* (SMAW). Las SMAW kebanyakan dipilih karena proses yang mudah, ekonomis, dan hasil lasnya pun ditinjau dari sifat mekanik dan fisisnya baik, serta biaya investasi yang rendah, namun begitu kekurangan dari metode pengelasan ini sangat bergantung oleh beberapa faktor. Satu diantara faktor tersebut adalah pemilihan elektroda [4].

Dari survey yang telah dilakukan pada perusahaan galangan di PT. RPM tanggal 15 april 2023, perusahaan sedang proses membangun kapal untuk mengangkut kayu dengan menggunakan metode pengelasan shield arc metal welding (SMAW), dengan elektroda berjenis E 7016 diameter 4.0 mm.

Elektroda dengan spesifikasi E 7016 diameter 4.0 mm, banyak yang menjual dengan berbagai *brands* produk. dari harga yang murah sampai pada harga yang tinggi. Kekurangan pengetahuan tentang proses las terutama pada pemilihan elektroda las SMAW yang banyak dipakai untuk pekerjaan konstruksi, sering ditemui fanatisme terhadap *brands* elektroda yang dipakai, biasanya perusahaan sering menginstruksikan harus memakai *brands* tertentu dengan anggapan bahwa merek tertentu mutunya bagus dan *brands* yang lain mutunya jelek walau sebenarnya mempunyai kode yang sama [6]. Dengan banyaknya *brands* elektroda spesifikasi E 7016 diameter 4.0 mm tersebut menjadi sebuah permasalahan untuk menentukan *brands* elektroda mana yang memiliki komposisi elektroda yang terbaik, dikarenakan setiap perusahaan produsen elektroda memiliki takaran kandungan komposisi elektroda tersendiri dalam proses pembuatannya.

Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Rosidi, Amin Suhaidi dalam jurnal [11] menyatakan bahwa setelah melakukan pengujian tarik, impak, dan kekerasan pada

logam baja lembaran Standard (JIS) G3116 SG 295 dengan pengelasan *shield metal arc welding* (SMAW) sambungan butt join pada posisi 1 G dengan arus 70 A, menggunakan elektroda berjenis AWS E 6013 ϕ 3.2 mm dengan brands NK 68 dan Nikko Steel, didapatkan nilai rata rata dari 3 kali percobaan pengujian tarik pada spesimen dengan menggunakan elektroda Nikko Steel yaitu sebesar 55,56 kg/mm², untuk pengujian *impact* didapatkan nilai rata rata yaitu sebesar 0.68 Joule/mm², dan untuk pengujian kekerasan pada *base metal* di dapatkan nilai rata rata yaitu sebesar 205,84 HV, sedangkan pada bagian *weld metal* yaitu sebesar 181,92 HV. Untuk spesimen dengan menggunakan elektroda NK 68 didapatkan nilai rata rata dari pengujian tarik yaitu sebesar 49,77 kg/mm², kemudian untuk pengujian *impact* didapatkan nilai rata rata sebesar 0,39 joule/mm², dan untuk pengujian kekerasan pada bagian *base metal* didapatkan nilai sebesar 201,92 HV, sedangkan pada bagian *weld metal* yaitu sebesar 182,67 HV.

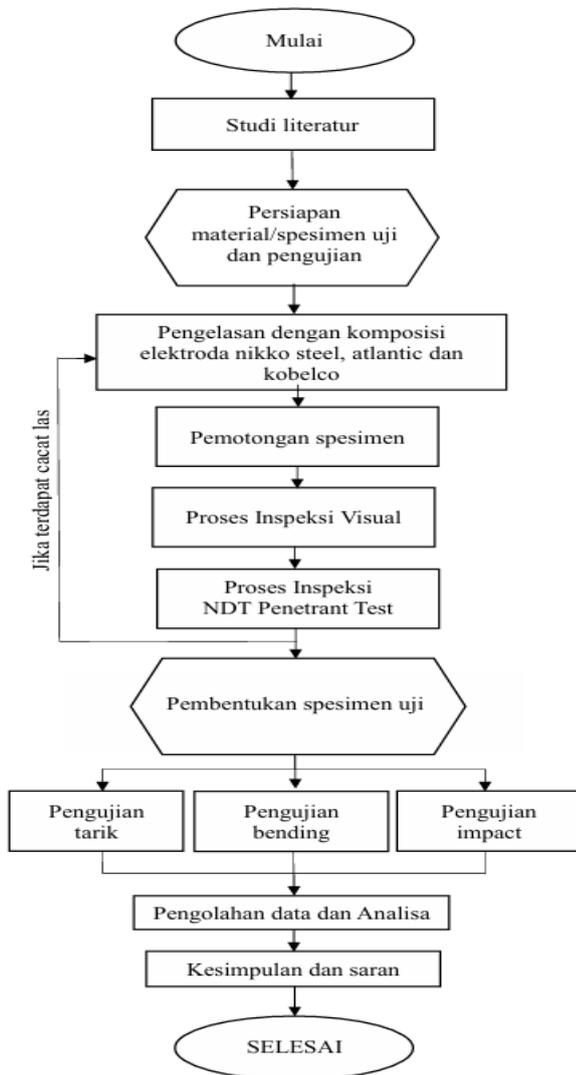
Pada penelitian yang telah di lakukan oleh Bambang Suhermanto dan Ali Yusa dalam jurnal [12]. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan sambungan las butt joint dari material baja grade A marine use ketebalan 12 mm menggunakan elektroda standart E6013 merk XX dengan merk Elektroda YY yang kemudian dilakukan pengujian tarik dan pengujian *impact*. kemudian dilakukan pengujian tarik, pengujian bending dan pengujian tumbuk. Hasil analisa pengujian pada kedua material tersebut yang menggunakan XX memiliki kekuatan *tensile strength* 466,92 MPa dan patah pada material induk, Sedangkan yang menggunakan Elektroda YY memiliki kekuatan Tensile Strength 446,07 MPa serta patah pada material induk, Pada pengujian *impact*, spesimen yang menggunakan elektroda XX memiliki nilai yang lebih tinggi pada titik pengelasan yakni 132,17 Joule dibandingkan dengan spesimen yang menggunakan elektroda elektroda YY dengan nilai 112,33 Joule. Sedangkan pada titik *Fusion* dan HAZ spesimen XX memilik nilai lebih rendah yakni 138 Joule dan 134 joule bila dibandingkan dengan spesimen Elektroda YY yakni 140,33 Joule dan 139,5 Joule

Dari pemaparan dan uraian yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu tersebut, melihat kurangnya penelitian yang terfokus pada bidang pengelasan kontruksi perkapalan, dikarenakan pada penelitian terdahulu belum ditemukan jurnal penelitian mengenai pengaruh variasi komposisi elektroda E7016 diameter 4.0 mm yang banyak digunakan oleh kontruksi perkapalan. Maka pada kesempatan ini penulis mencoba melakukan penelitian dengan judul Pengaruh Variasi Komposisi Elektroda E7016 Terhadap Hasil Pengelasan SMAW Sambungan *Butt Joint* Menggunakan Material Baja SS 400 Dengan Analisa Komparatif *Destructive Test (DT)*. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah mendapatkan nilai kekuatan sambungan paling terbaik dari berbagai macam komposisi elektroda berjenis E7016 diameter 4.0 mm yang banyak dijual di pasaran. Untuk mengetahui nilai kekuatan sambungan tersebut maka dilakukanlah pengujian *destructive test* yaitu, uji tarik, *impact* dan bending.

2. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, digunakan metode kuantitatif untuk mengevaluasi dampak variasi komposisi elektroda E 7016 diameter 4 mm terhadap kekuatan hasil pengelasan baja SS 400. Penelitian ini berbentuk eksperimen dan bertujuan untuk menggambarkan perubahan kekuatan yang diperoleh dari hasil pengelasan dengan tiga variasi Komposisi elektroda, yaitu nikko steel, atlantik dan kobelco, melalui tiga jenis pengujian yang berbeda, yaitu uji tarik, uji tekan, dan uji kejut. Masing-masing pengujian melibatkan lima spesimen, sehingga totalnya akan dihasilkan 45 data kekuatan. Spesifikasi benda uji dan parameter yang digunakan termasuk: (1) bahan yang digunakan adalah baja SS 400, (2) plat dengan dimensi 300mm x 200mm x 10mm, (3) elektroda jenis E7016 dengan tiga variasi komposisi, (4) posisi pengelasan 1G, (5) pengelasan dilakukan oleh seorang welder yang telah tersertifikasi, (6) hasil pengelasan telah melalui proses inspeksi untuk

memastikan tidak ada cacat las, dan (7) pembentukan spesimen uji menggunakan cutter milling.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

2.1 Perancangan Sistem

Pengujian raw material dilakukan dengan pengujian tarik untuk mengetahui kesesuaian data spesifikasi baja SS 400 dengan data aktual melalui pengujian tarik pada material baja SS 400 tersebut. Adapun alat/bahan yang diperlukan pada pembentukan spesimen uji raw material sebagai berikut.

- 1) Baja SS 400
- 2) *Universal testing machine*
- 3) Mesin gergaji besi (*Hackshaw Machine*)
- 4) Mesin milling
- 5) Mistar

- 6) Jangka sorong
- 7) Spidol
- 8) Kacamata
- 9) Palu karet

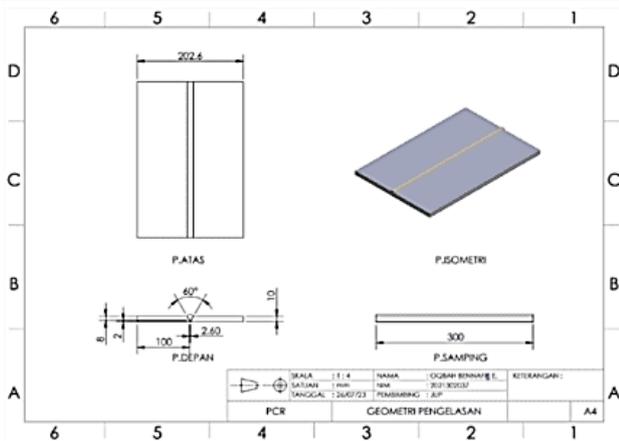
Prosedur untuk pembentukan spesimen uji *raw material* adalah sebagai berikut:

Proses pengujian material sebagai berikut:

- 1) Persiapan spesimen: Alat dan bahan disiapkan untuk membentuk spesimen sesuai standar ASTM E8/E8M dengan mesin milling.
- 2) Pengaturan alat uji: Mesin pengujian tarik disiapkan dengan memasang pegangan yang kuat sesuai standar pengujian.
- 3) Pengukuran dimensi awal: Panjang, lebar, dan ketebalan spesimen diukur dan dicatat.
- 4) Pengujian: Spesimen dipasang pada universal testing machine dan diuji tarik dengan parameter yang diatur melalui komputer.
- 5) Pencatatan data: Data pengujian termasuk kurva dan angka hasil pengujian dicatat untuk analisis.
- 6) Analisis Data: Data pengujian dianalisis untuk menghitung tegangan maksimum, regangan maksimum, dan modulus elastisitas.
- 7) Pelaporan hasil: Hasil pengujian disusun dalam laporan untuk memvalidasi spesifikasi material baja SS 400 sesuai standar yang berlaku.

2.2 Pengelasan

Proses pengelasan spesimen dimulai dengan membuat bevel pada spesimen, dilanjutkan dengan pengelasan yang dilakukan pada sambungan *butt joint* dengan las SMAW pada plat SS 400 tebal 10 mm. Proses pengelasan dilakukan menggunakan 3 variasi komposisi elektroda E7016 yaitu, nikko steel, atlantik, kobelco. Segala proses pembentukan spesimen dan proses pengelasan dilakukan pada *Workshop Mechanical* dan Laboratorium pengelasan Politeknik Caltex Riau.



Gambar 2. Desain Parameter Pengelasan

Adapun parameter pengelasan pada gambar dan simbol pengelasan pada Gambar 2 sebagai berikut:

- 1) Proses pengelasan: SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)
- 2) Sudut included (*Included angle*): 60°
- 3) Root gap: menyesuaikan diameter elektroda
- 4) Root face: 2 milimeter
- 5) Ketinggian kampuh (t): 10 milimeter
- 6) Panjang pengelasan (L): 300 mm = 30 cm
- 7) Posisi Pengelasan: 1G

2.3 Perancangan Elektronik

Inspeksi Visual dilakukan untuk memverifikasi secara visual apakah hasil pengelasan memenuhi syarat untuk melanjutkan ke pengujian destruktif. Dalam penelitian ini, proses inspeksi mengikuti standar ISO 17637. Adapun peralatan yang akan digunakan dalam proses inspeksi visual adalah:

- 1) *Welding Gauge* (BS EN ISO 17637).
- 2) *Flexible tape*.
- 3) Penggaris besi/plastik.
- 4) *Vernier Caliper* (ISO 3599).
- 5) Lux Meter.
- 6) Lup (ISO 3058).
- 7) Senter.

2.4 Perancangan Elektro Pneumatik

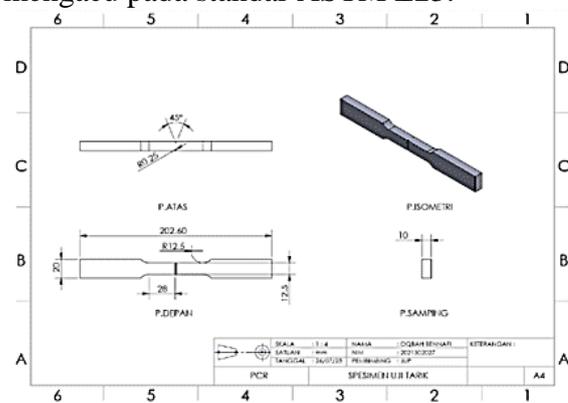
Penetrant test ditujukan pengecekan cacat las yang dilakukan tanpa menggunakan perangkat elektronik atau alat bantu lainnya, melainkan dengan menggunakan zat kimia *penetrant* dan pengembang. Terdapat tiga jenis zat kimia yang digunakan dalam pengujian penetrant:

- 1) *Cleaner* digunakan untuk membersihkan permukaan bahan sebelum dan setelah penerapan cairan *penetrant*.
- 2) *Penetrant* berperan dalam mengidentifikasi lokasi cacat atau kerusakan pada material yang diuji.
- 3) *Developer* mengangkat cairan penetrant ke permukaan dengan memanfaatkan efek kapilaritas, berupa serbuk halus.

2.5 Perancangan Elektro

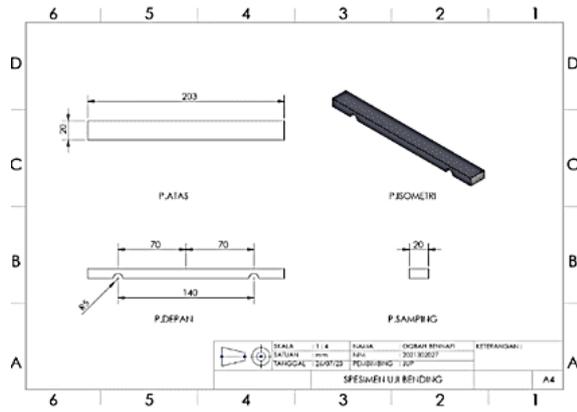
Pengujian ini dilakukan dengan cara merusak benda uji dengan cara pembebanan atau penekanan sampai benda uji tersebut rusak, dari pengujian ini akan diperoleh sifat mekanik bahan. Pengujian destruktif dilakukan pada *Workshop Mechanical* Politeknik Caltex Riau. Adapun pengujian *destruktif* yang dilakukan pada penelitian ini sebagai berikut.

- 1) Metode *Tensile Test* merupakan metode *Destructive Test* (DT) yang sederhana namun kuat. Digunakan untuk mengevaluasi kekuatan tarik sambungan pengelasan dari tiga variasi diameter elektroda yang berbeda dengan cara memberikan gaya tarik pada material hingga terjadi patah. Pengujian ini mengacu pada standar ASTM E23.



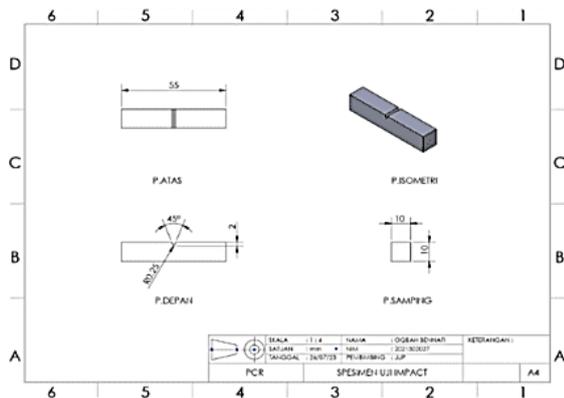
Gambar 3. Spesimen Pengujian Uji Tarik

- 2) Pengujian *Bending* pada pengelasan SMAW melibatkan pemberian beban pada daerah las untuk menilai kekuatan material dalam menahan lentur. Tujuannya adalah untuk mengevaluasi kekuatan lengkung material terhadap beban yang diberikan. Prosedur pengujian *bending* mengacu pada ASTM E290.



Gambar 4. Spesimen Pengujian Uji Bending

- 3) Pengujian *Impact* biasanya mengukur energi impact yang diperlukan untuk menyebabkan patah pada spesimen. Energi yang terserap selama proses patah diukur dengan menggunakan alat kalibrasi yang sesuai standar ASTM E23, menggunakan jenis *Charpy*.



Gambar 5. Spesimen Pengujian Uji Impact.

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini menghasilkan data dari pengujian non destruktif, uji tarik, dan uji bending dalam bentuk tabel, grafik, dan foto. Data tersebut digunakan untuk mengetahui kekuatan mekanik sambungan las dengan tiga variasi komposisi elektroda.

3.1 Non-Destructive Test

Pengujian *non-destruktif* yang dilakukan meliputi inspeksi visual awal, yang kemudian diikuti dengan penetrant test. Langkah ini bertujuan untuk mengoptimalkan deteksi indikasi cacat las pada area yang tidak dapat diinspeksi secara visual oleh manusia. Adapun

cacat las yang terdeteksi pada inspeksi visual sebagai berikut.

- 1) Berdasarkan uji visual pada komposisi elektroda nikko steel, ditemukan beberapa cacat las. Cacat las berjenis *lack of fusion* terdeteksi pada 3 lokasi yang berbeda. Lokasi pertama ditemukan cacat las *lack of fusion* dengan diameter 3 mm, untuk lokasi kedua ditemukan cacat las *lack of fusion* dengan diameter 3 mm dan lokasi ketiga juga telah ditemukan cacat las *lack of fusion* dengan diameter 2 mm
- 2) Berdasarkan uji visual pada komposisi elektroda tidak ditemukannya indikasi cacat las, sehingga dalam pembentukan specimen yang akan diuji tidak memerlukan pembuangan pada bagian-bagian yang terindikasi cacat las.
- 3) Berdasarkan uji visual pada komposisi elektroda berhasil ditemukan beberapa jenis cacat las, yaitu cacat las *porosity* dan *lack of fusion*, pada cacat las *porosity* terdapat di 4 lokasi dengan variasi diameter, untuk cacat las *porosity* yang pertama ditemukan dengan berdiameter sebesar 2 mm, lokasi *porosity* yang kedua berdiameter 2 mm, untuk lokasi *porosity* yang ketiga juga sama dengan berdiameter 2 mm, sedangkan untuk *porosity* yang keempat berdiameter 8 mm.

Sementara itu, dalam proses *penetrant test* ini, tidak terdeteksi adanya cacat las yang sebelumnya telah teridentifikasi pada inspeksi visual, maupun cacat las lainnya.



Gambar 6. Pengaplikasian *developer* pada *capping*



Gambar 6. Pengaplikasian developer pada capping

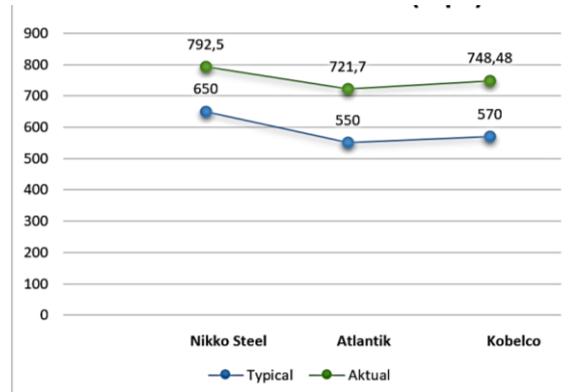


Gambar 7. Pengaplikasian developer pada capping

3.2 Pengujian Modul Remot pada Kondisi Halangan

Pengujian tarik dilakukan pada *Workshop Mechanical* Politeknik Caltex Riau Menggunakan *Universal Testing Machine*

(UTM), yang telah disesuaikan prosedur dan dimensi spesimen yang dengan standar ASTM E8/E8M.



Gambar 8. Grafik Perbandingan Kekuatan Tarik Maksimum dari Datasheet dengan Data Aktual

a. Perbandingan Datasheet Elektroda dengan Data Aktual

Gambar 8 menunjukkan perbandingan kekuatan tarik rata-rata (Mpa) dari tiga produsen baja: Nikko Steel, Atlantik, dan Kobelco. Data ini membandingkan nilai "Typical" yang terdapat pada lembar data (*datasheet*) dengan data kekuatan tarik aktual.

Tabel 1. Hasil Pengujian Tarik

Variabel Komposisi Elektroda	Spesimen	T0 (mm)	P0 (mm)	L0 (mm)	T1 (mm)	P1 (mm)	L1 (mm)	F Max (kN)
Komposisi Elektroda Nikko Steel	1	203,2	6	12,5	210	5,6	10	63,06
	2	203,2	6	12,5	213	5,85	10	59,98
	3	203,2	6	12,5	213	5,85	10,1	57,64
	4	203,2	6	12,5	210	5,7	10,7	59,22
	5	203,2	6	12,5	212	5,7	10,7	58,04
Rata-Rata								59,59
Komposisi Elektroda Atlantic	1	203,2	6	12,5	210	5,9	10	52,2
	2	203,2	6	12,5	210	5	10	47,14
	3	203,2	6	12,5	217	5,5	8,6	57,74
	4	203,2	6	12,5	210	5	10	55,78
	5	203,2	6	12,5	208	5	11	57,78
Rata-Rata								54,13
Komposisi Elektroda Kobelco	1	203,2	6	12,5	213	5,1	9	61,82
	2	203,2	6	12,5	214	5,9	8,8	57,74
	3	203,2	6	12,5	213	5,7	10,7	53,58
	4	203,2	6	12,5	214	5,3	9,1	52,02
	5	203,2	6	12,5	214	5,8	11,2	56,14
Rata-Rata								56,26

Untuk Nikko Steel, nilai typical pada lembar data adalah 650 Mpa, sementara data aktual menunjukkan kekuatan tarik sebesar 792,5 Mpa. Hal ini menunjukkan bahwa kekuatan tarik aktual dari Nikko Steel jauh lebih tinggi dari yang diharapkan, dengan peningkatan sebesar 142,5 Mpa atau sekitar 21,9%. Ini mengindikasikan bahwa produk baja dari Nikko Steel memiliki performa yang jauh lebih baik dari spesifikasi yang diharapkan. Atlantik juga menunjukkan peningkatan yang signifikan, di mana nilai typical adalah 550 Mpa, sedangkan data aktual menunjukkan kekuatan tarik sebesar 721,7 Mpa. Peningkatan sebesar 171,7 Mpa atau sekitar 31,2% ini menandakan bahwa kualitas produk Atlantik tidak hanya memenuhi tetapi juga melampaui spesifikasi yang diharapkan. Kobelco juga menunjukkan hasil yang serupa, dengan nilai typical sebesar 570 Mpa dan data aktual menunjukkan kekuatan tarik sebesar 748,48 Mpa. Peningkatan sebesar 178,48 Mpa atau sekitar 31,3% ini menunjukkan bahwa performa produk Kobelco jauh lebih baik dari spesifikasi yang diharapkan. Secara keseluruhan, ketiga produsen baja ini menunjukkan bahwa kekuatan tarik aktual produk mereka lebih tinggi daripada nilai typical

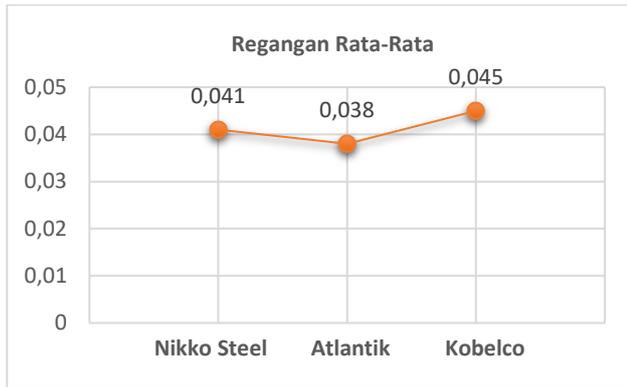
yang tercantum pada lembar data. Ini merupakan indikasi positif bahwa produk mereka tidak hanya memenuhi tetapi juga melampaui ekspektasi standar industri, menunjukkan kualitas dan keandalan produk yang lebih tinggi. Hal ini sangat menguntungkan bagi konsumen yang menginginkan bahan dengan performa lebih baik dari standar yang telah ditetapkan.

b. Perbandingan Regangan Antar Variabel

Regangan elektroda Nikko Steel adalah 0,041, Atlantik adalah 0,038, dan Kobelco adalah 0,045. Ketika dibandingkan, selisih nilai regangan antara Nikko Steel dan Atlantik adalah 0,003, dengan selisih persentase sekitar 7,32%. Selisih nilai regangan antara Nikko Steel dan Kobelco adalah -0,004, yang menunjukkan bahwa regangan Nikko Steel sedikit lebih kecil dibandingkan Kobelco, dengan selisih persentase sekitar -9,76%. Sementara itu, selisih nilai regangan antara Atlantik dan Kobelco adalah -0,007, menunjukkan bahwa regangan Atlantik lebih kecil dibandingkan Kobelco, dengan selisih persentase sekitar -18,42%.

Tabel 2. Hasil Pengujian Tarik

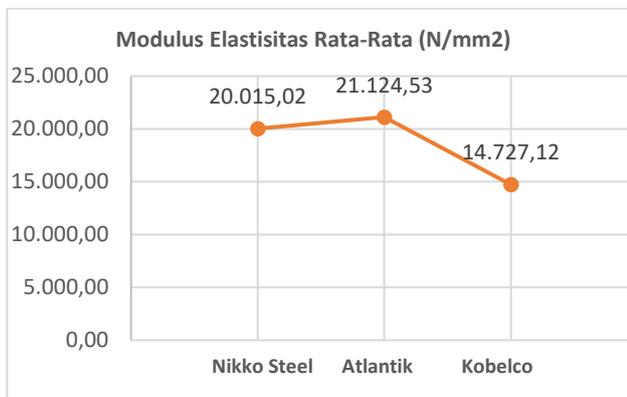
Variabel Komposisi Elektroda	Spesimen	σ_T (Tegangan Tarik) (MPa)	ϵ (Regangan)	E (Modulus Elastisitas) (N/mm ²)
Komposisi Elektroda Nikko Steel	1	840,8	0,033	25.478,787
	2	799,73	0,048	16.661,041
	3	768,53	0,048	16.011,041
	4	789,6	0,033	23.927,272
	5	773,87	0,043	17.996,976
Rata-Rata		792,5	0,041	20.015,024
Komposisi Elektroda Atlantik	1	696	0,033	21.090,909
	2	770,4	0,033	23.345,454
	3	769,87	0,068	11.321,617
	4	743,73	0,033	22.537,272
	5	628,53	0,023	27.327,391
Rata-Rata		721,7	0,038	21.124,528
Komposisi Elektroda Kobelco	1	824,27	0,048	17.172,291
	2	769,87	0,053	14.525,849
	3	714,4	0,048	14.883,333
	4	693,6	0,053	13.086,792
	5	740,27	0,053	13.967,358
Rata-Rata		748,48	0,045	14.727,124



Gambar 9. Grafik Hasil Pengujian Tarik

Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa regangan elektroda Nikko Steel sedikit lebih besar dibandingkan dengan Atlantik, namun lebih kecil dibandingkan dengan Kobelco. Meskipun perbedaan nilai regangan ini tampak kecil secara absolut, persentase perbedaannya cukup signifikan terutama antara Atlantik dan Kobelco. Ini menunjukkan bahwa elektroda Kobelco memiliki regangan yang lebih besar, sedangkan elektroda Atlantik memiliki regangan yang paling kecil di antara ketiga elektroda tersebut

c. Perbandingan Modulus Elastisitas Antar Variabel



Gambar 10. Grafik Hasil Pengujian Tarik

Berdasarkan data hasil perhitungan pengujian yang disajikan pada Tabel 1 dan Gambar 10, Nilai modulus elastisitas rata-rata untuk elektroda Nikko Steel adalah 20.015,02 N/mm². Nilai ini menunjukkan bahwa Nikko Steel memiliki kekakuan yang cukup tinggi, yang berarti material ini mampu menahan deformasi yang signifikan ketika diberikan tegangan.

Elektroda Atlantik memiliki nilai modulus elastisitas rata-rata tertinggi di antara ketiga merek, yaitu 21.124,53 N/mm². Ini

menunjukkan bahwa Atlantik adalah yang paling kaku di antara ketiga elektroda. Kekakuan yang lebih tinggi ini berarti bahwa elektroda Atlantik akan mengalami deformasi paling sedikit di bawah tegangan, menjadikannya pilihan terbaik untuk aplikasi yang sangat membutuhkan stabilitas struktural dan kekuatan tinggi.

Sebaliknya, elektroda Kobelco memiliki nilai modulus elastisitas rata-rata terendah, yaitu 14.727,12 N/mm². Nilai ini menunjukkan bahwa Kobelco adalah yang paling fleksibel di antara ketiga elektroda. Material dengan modulus elastisitas yang lebih rendah akan lebih mudah mengalami deformasi ketika diberikan tegangan.

3.3 Pengujian Sistem

Gambar 11 menunjukkan data kekuatan tekan maksimum (Mpa) dari tiga jenis elektroda berdasarkan pengujian bending: Nikko Steel dengan nilai 43,58 Mpa, Atlantik dengan nilai 41,54 Mpa, dan Kobelco dengan nilai 40,16 Mpa.

Dari analisis data, Nikko Steel memiliki kekuatan tekan maksimum tertinggi, menunjukkan bahwa elektroda ini memiliki performa terbaik dalam menahan beban tekan dibandingkan kedua elektroda lainnya. Nikko Steel unggul 2,04 Mpa dibandingkan Atlantik dan 3,42 Mpa dibandingkan Kobelco. Atlantik berada di posisi kedua dengan nilai 41,54 Mpa, lebih rendah 2,04 Mpa dibandingkan Nikko Steel, namun masih lebih tinggi 1,38 Mpa dibandingkan Kobelco.

Di sisi lain, Kobelco memiliki kekuatan tekan maksimum terendah dengan nilai 40,16 Mpa. Selisih antara Kobelco dan Atlantik sebesar 1,38 Mpa menunjukkan bahwa performa Kobelco dalam menahan beban tekan lebih rendah dibandingkan Atlantik.

3.4 Hasil Pengujian Impact

Gambar 12 menunjukkan data kekuatan impact dari tiga jenis elektroda: Nikko Steel, Atlantic, dan Kobelco. Berdasarkan grafik yang telah diperbarui, elektroda Nikko Steel memiliki kekuatan impact sebesar 1,1 J/mm², elektroda Atlantic sebesar 1,03 J/mm², dan elektroda Kobelco sebesar 0,79 J/mm². Data teoritis untuk kekuatan impact adalah 1,067 J/mm².

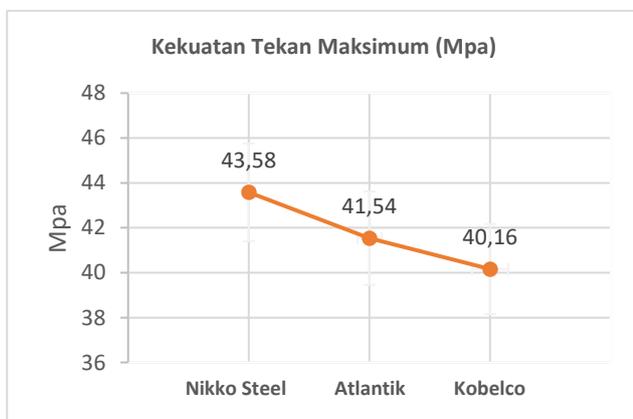
Elektroda Nikko Steel memiliki kekuatan impak aktual sebesar 1,1 J/mm², yang sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan nilai teoritis 1,067 J/mm². Selisih antara kekuatan impak aktual dan teoritis adalah 0,033 J/mm², menunjukkan bahwa Nikko Steel sedikit melampaui ekspektasi teoritis. Sementara itu, elektroda Atlantic memiliki kekuatan impak aktual sebesar 1,03 J/mm², yang sedikit lebih rendah dibandingkan dengan nilai teoritis. Selisih antara kekuatan impak aktual dan teoritis adalah

-0,037 J/mm², menunjukkan bahwa Atlantic berada di bawah nilai teoritis.

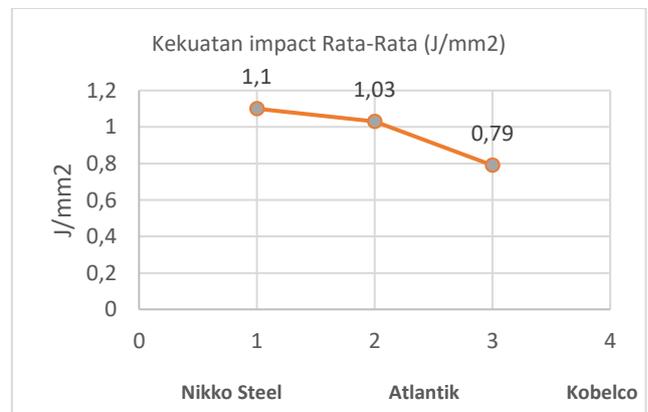
Elektroda Kobelco memiliki kekuatan impak aktual sebesar 0,79 J/mm², yang secara signifikan lebih rendah dibandingkan dengan nilai teoritis 1,067 J/mm². Selisih antara kekuatan impak aktual dan teoritis adalah -0,277 J/mm², menunjukkan bahwa Kobelco jauh berada di bawah ekspektasi teoritis.

Tabel 3. Hasil Pengujian Bending

Variabel Komposisi Elektroda	Spesimen	Kekuatan Bending (Mpa)	Beban Maksimum (kN)
Komposisi Elektroda Nikko Steel	1	45,5	9,1
	2	42,7	8,54
	3	42,9	8,58
	4	44	8,8
	5	42,8	8,56
Rata-Rata:		43,58	8,71
Komposisi Elektroda Atlantic	1	40,7	8,14
	2	42,6	8,52
	3	40,8	8,16
	4	42,4	8,48
	5	41,2	8,24
Rata-Rata		41,54	8,31
Komposisi Elektroda Kobelco	1	39,2	7,84
	2	40,1	8,02
	3	41,6	8,32
	4	39,6	7,92
	5	40,3	8,06
Rata-Rata		40,16	8



Gambar 11. Grafik Hasil Pengujian Bending



Gambar 12. Grafik Hasil Pengujian Impact

Tabel 4. Hasil Pengujian *Bending*

Variabel Komposisi Elektroda	Spesimen	Kekuatan Benturan (J/mm ²)
Komposisi Elektroda Nikko Steel	1	0,94
	2	0,92
	3	1,08
	4	1,22
	5	1,32
	Rata-Rata	1,1
Komposisi Elektroda Atlantik	1	0,98
	2	0,98
	3	0,90
	4	1,26
	5	1,02
	Rata-Rata	0,79
Komposisi Elektroda Kobelco	1	1,08
	2	0,76
	3	0,54
	4	0,62
	5	0,99
	Rata-Rata	0,79

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis data yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan bahwa raw material SS 400 memiliki kekuatan tarik rata-rata sebesar 477,82 Mpa, sesuai dengan standar JIS G 3010. Inspeksi visual dan NDT mengidentifikasi beberapa jenis cacat seperti porosity dan lack of root fusion, namun tidak melebihi standar jumlah cacat pada TWI *acceptance leveling*. Pengujian terhadap tiga produksi elektroda E 7016 menunjukkan bahwa elektroda dengan komposisi nikko steel memiliki kekuatan tarik rata-rata tertinggi, yaitu sebesar 792,5 Mpa, kekuatan *bending* rata-rata tertinggi juga terdapat pada nikko steel, yaitu sebesar 8,71 kN, dan kekuatan *impact* rata-rata tertinggi didapati juga oleh nikko steel sebesar 1,1 J/mm². Berdasarkan hasil penelitian ini, disarankan agar penelitian selanjutnya melakukan latihan dengan komposisi elektroda yang berbeda terlebih dahulu untuk memahami karakteristik unik setiap *brand* elektroda, serta menyesuaikan arus yang tepat untuk meminimalisir cacat pada hasil pengelasan. Sebelum pengelasan, diharapkan membuat penahan kuat pada plat

specimen untuk mengurangi distorsi, dan menggunakan *welder* bersertifikasi.

Ucapan Terima Kasih

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT, karena rahmat-Nya Penulis dapat menyelesaikan penelitian ini yang berjudul “Pengaruh Variasi Komposisi Elektroda E7016 Terhadap Hasil Pengelasan Shield Metal Arc Welding Butt Joint Material Baja SS 400 Dengan Analisa Komparatif”. Pada kesempatan ini Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Kampus Politeknik Caltex Riau (PCR), khusus kepada *Mechanical Workshop PCR* yang menyediakan semua peralatan untuk pembuatan dan pengujian alat ini, selanjutnya Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang membantu yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu

Daftar Pustaka

- [1] ASTM E 290. (2022). Standard Test Methods for Bend Testing of Materials for Ductility. United States: ASTM INTERNATIONAL.
- [2] ASTM E23-16b. (2016). *Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials*. United States: ASTM INTERNATIONAL.

- [3] ASTM E8/E8M. (2013). *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*. United States: ASTM INTERNATIONAL.
- [4] Azwinur, Jalil, S., & Husna, A. (2017). Pengaruh Variasi Arus Pengelasan terhadap Sifat Mekanik pada Proses Pengelasan SMAW . *Jurnal Polimesin*, Aceh.
- [5] Bayu, D. (2022, September 13). *Dataindonesia.id*. Retrieved from <https://dataindonesia.id>: <https://dataindonesia.id/sector-riil/detail/ada-72313-kapal-laut-di-indonesia-pada-2021>
- [6] hafni. (2021). Pengaruh Merk Produk Elektroda dengan Spesikasi AWS E6013 JIS 4313 terhadap Baja Karbon Rendah pada Daerah Logam Las. *Jurnal Teknik Mesin Institut Teknologi Padang*, 153-154.
- [7] ISO 3452. (2021). *Non-destructive testing-Penetrant Testing-* . Switzerland: ISO.
- [8] Kementrian Perindustrian Republik Indonesia. (2022, 09 20). *Kementrian Perindustrian Republik Indonesia*. Retrieved from <https://kemenperin.go.id/>: <https://kemenperin.go.id/artikel/23551/Kapasitas-Produksi-Galangan-Kapal-Meningkat,-Kemenperin-Pasok-SDM-Andal>
- [9] Pratama, O. (2020, juli 01). *Direktorat Jenderal Pengelolaan Ruang Laut*. Retrieved from <https://kkp.go.id>: <https://kkp.go.id/djprl/artikel/21045-konservasi-perairan-sebagai-upaya-menjaga-potensi-kelautan-dan-perikanan-indonesia>Setiawan, D., Sutrimo, Nugraha, G., Ardi, H. M., & Okviyanto, T. (2023). A
- [10] nalisis Sifat Mekanik Baja Karbon ST 37 Terhadap Variasi Kuat Arus dan Sudut Kampuh SMAW. *Junal ELEMENTER*.
- [11] Suhaidi, A., & rosidi. (2013). Analisa Pengaruh Variasi Kuat Arus dan KampuhLas Antara Elektroda E 6013 Merek “X” dan “Y” Terhadap Karakteristik Sambungan Las pada Plat Lembaran Baja untuk Tabung Gas 3 kg. *Jurnal Ilmiah TEKNOBIZ Vol. 3 No. 2*, 70-76.
- [12] Suhermanto, B., & Yusa, A. (2021). Analisa Teknomik Proses Pengelasan SMAW Menggunakan Elektroda Jenis E6013 Berbeda Merk Pada Material b