

Analysis of the Effect of Type of Electrode in the Welding Process of STPG 370 Pipe Material in Seawater Pipe with Corrosion Tests.

[Analisis Pengaruh Jenis Elektroda dalam Proses Pengelasan Pipa STPG370 pada Aplikasi Pipa Air Laut terhadap Uji Korosi]

Abdul Gofur ¹⁾, Mulyadi ^{* 2)}, Iswanto ³⁾.

¹⁾ Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾ Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

³⁾ Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: mulyadi@umsida.ac.id

Abstract. *In the marine industry, there are several cases of damage and leakage in welded seawater pipe joints in marine systems caused by corrosion processes. This comparative research is to find the filler material that is most resistant to corrosion. The filler materials tested were LB52U, RC52U, and E6013. The method used is SMAW welding using AC current and the corrosion test process using the lost weight gain (LWG) method with immersion using Hcl liquid media. The pipe specimen used is STPG370 D125 Sch80. Immersion of the specimen for 8 hours and the obtained corrosion rate value for welding on STPG370 pipe metal with air cooling media and the corrosion rate of LB52U electrode material is 1.027 mm / year, for RC52U electrode material is 0.772 mm / year, for LB52U + E-6013 electrode material is 0.768 mm / year, RC52U + E-6013 electrode material is 0.827 mm / year.*

Keywords - *Welding, Corrosion, LB52U, RC52U, E6013.*

Abstrak. Dalam industri perkapalan modern ditemukan beberapa kasus kerusakan dan kebocoran sambungan las pipa air laut pada sistem perkapalan yang disebabkan oleh proses korosi. Penelitian yang bersifat komparasi ini bertujuan untuk mencari material filler yang paling tahan terhadap laju korosi. Material filler yang diuji yaitu LB52U, RC52U, dan E6013. Metode yang dipakai yakni pengelasan SMAW menggunakan arus AC dengan ketentuan besar arus listrik yang sudah dioptimalkan dan proses uji korosi menggunakan metode *lost weight gain (LWG)* dengan perendaman menggunakan media cairan Hcl. Spesimen pipa yang dipakai yaitu STPG370 D125 Sch80. Perendaman spesimen selama 8 jam dan didapatkan nilai laju korosi untuk pengelasan pada logam pipa STPG370 dengan media pendingin udara dan dengan material elektroda LB52U adalah 1,027 mm/year, untuk material elektroda RC52U adalah 0,772 mm/year, untuk material kombinasi elektroda LB52U+ E-6013 adalah 0,768 mm/year, Dan laju korosi material kombinasi elektroda RC52U+ E-6013 adalah 0,827 mm/year.

Kata Kunci - *Welding, Korosi, LB52U, RC52U, E6013.*

I. PENDAHULUAN

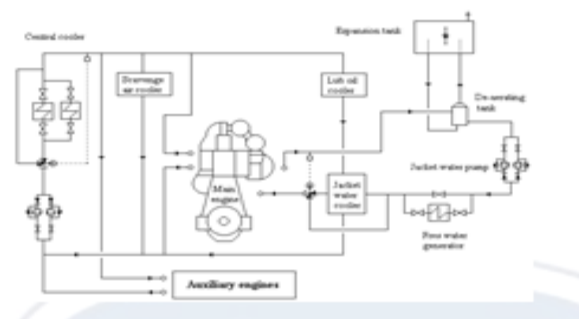
A. Latar Belakang

Indonesia, sebagai negara maritim dengan posisi strategis yang berada di persimpangan dua benua (Asia dan Australia) serta dua samudera (Hindia dan Pasifik), memiliki potensi ekonomi dan peluang pengembangan industri kelautan dapat menjadi pendorong kekuatan ekonomi nasional. Salah satu pelaku utama dalam industri ini adalah PT PAL Indonesia (Persero), sebuah perusahaan milik Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang secara

khusus memproduksi alat sistem pertahanan, terutama untuk matra laut [1]. Sejak dimulainya era Industry 4.0, beberapa negara mulai menunjukkan minat terhadap produk kapal perang buatan Indonesia.

Proses pembuatan kapal melibatkan berbagai perancangan, termasuk bagian konstruksi kapal, kelistrikan, instalasi permesinan, dan sistem instalasi perpipaan. Instalasi pipa di kapal memiliki peran penting dalam mengalirkan berbagai jenis fluida, seperti air, minyak, gas, dan bahan bakar, dari satu tanki atau kompartemen ke yang lain, atau dari tanki ke peralatan permesinan di kapal [2]. Oleh karena itu, pipa baja, khususnya jenis STPG370, menjadi media vital dalam mengoperasikan sistem kapal yang aktif. Setiap kapal yang dilengkapi dengan per-lengkapan permesinan, baik itu Mesin Induk, MesinBantu, pompa-pompa atau kapal tanpa Mesin Penggerak namun memiliki permesinan lain dan pompa-pompa, selalu memerlukan instalasi perpipaan [2]. Pada kapal dengan instalasi mesin di dalam (type inboard engine), kotak laut (sea chest) dipasang pada lambung kapal bagian bawah air untuk memenuhi kebutuhan air laut saat kapal beroperasi.

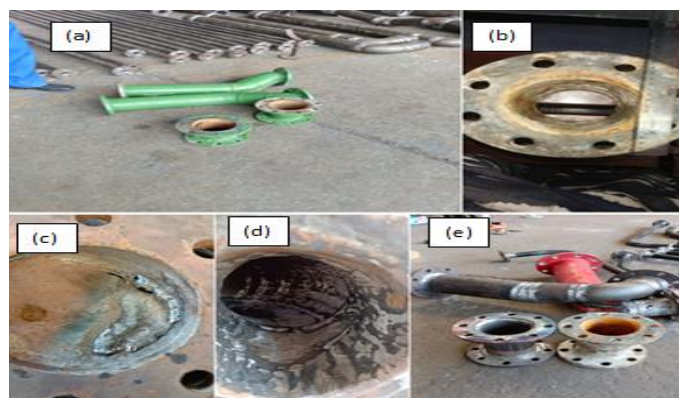
Dua sistem pendingin yang umumnya digunakan di kapal seperti pada Gambar 1, yaitu sistem pendingin Air Laut dan sistem pendingin Air Tawar atau tertutup. Sistem pendingin Air Laut menggunakan air laut sebagai media pendingin langsung dalam sistem mesin untuk penukar panas, sedangkan sistem pendingin Air Tawar menggunakan heat exchanger untuk media penukar panas dengan mensirkulasikan air tawar ke seluruh mesin untuk membuang panas yang dihasilkan oleh dan gesekan dalam mesin [3]. Posisi instalasi pipa air laut pada kapal ditunjukkan pada Gambar 2 dan Pipa Air Laut yang sedang Diperbaiki pada Gambar 3.



Gambar 1 Diagram Sistem Pendingin air taewar dan air laut.



Gambar 2 Posisi Instalasi Perpipaan Air Laut untuk Sistem Pendingin dalam Kapal.



Gambar 3 Pipa Air Laut yang sedang Diperbaiki

Meskipun pipa baja STPG370 digunakan dalam proses fabrikasi di perusahaan tempat penelitian dilakukan, muncul masalah utama terkait kerusakan struktur pipa logam dan sambungan pipa logam di kapal akibat pengkaratan atau korosi. Air laut yang asin dengan tingkat salinitas tinggi diduga menjadi penyebab utama terjadinya korosi. Oleh karena itu, pemilihan material pada filler rod dan pengisi pada sambungan las harus lebih keras dan lebih kuat dari bahan material base metal atau pipa itu sendiri. Berikut pipa yang mengalami kerusakan akibat korosi kemudian dilepas dan dibawa ke bengkel untuk diperbaiki. Terlihat pada Gambar 3 (a), (b), (c), (d), dan (e) dimana a). Pipa air laut mengalami korosi dilepas dari kapal dan diperbaiki; b).Bagian dalam sambungan reducer korosi; c).Proses penambalan pada bagian pipa yang berlubang; d).Bagian yang sudah ditambal akan bersihkan dari sisa-sisa kotoran;e). Pipa yang sudah selesai diperbaiki siap untuk dicat ulang dan dipasang.

Sebagai upaya peningkatan teknologi industri pengolahan elektroda dan rekayasa konstruksi, berbagai penelitian dan percobaan telah dilakukan. Sebelumnya, uji kekuatan elektroda dilakukan untuk perbandingan antara elektroda RB-26 dan Lion-26 pada baja lunak ST37. Namun, pada penelitian ini, peneliti ingin melakukan eksperimen perbandingan material filler yang biasa dipakai, yaitu RC52U, dengan variasi/modifikasi material lain seperti LB52U, dan kombinasi keduanya dengan kawat ATLANTIC E6013. Eksperimen tersebut menggunakan metode pengelasan SMAW dengan pengujian korosi terhadap masing-masing specimen menggunakan larutan HCl.

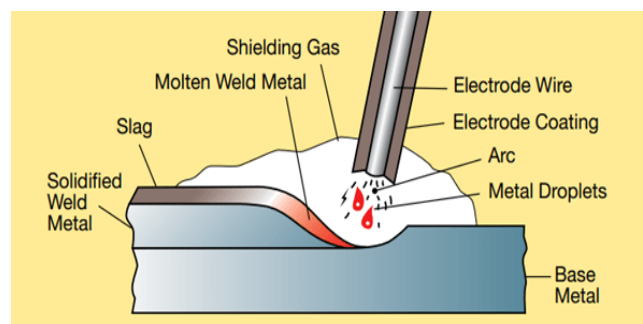
Sebagai kontribusi pada penelitian sebelumnya, penelitian ini bertujuan untuk memahami dan membandingkan pengaruh empat jenis elektroda pada pengelasan pipa baja STPG370 dalam konteks aplikasi pipa air laut terhadap uji korosi. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi dan praktik pengelasan dalam industri maritim Indonesia.

B. Studi Literatur

Pengelasan ialah proses penyambungan dua atau lebih material logam yang sejenis menjadi kesatuan yang homogen dengan proses panas secara metalurgi. Sumber panas yang dipakai saat pengelasan bisa dari gas maupun arus listrik atau yang sering disebut las busur listrik.

Macam-macam pengelasan, dari mulai las OAW (*Oxy-acetylene Welding*), SMAW (*Shield Metal Arc Welding*), FCAW (*Flux-Core Arc Welding*), GTAW (*Gun Tungsten Arc Welding*), SAW (*Submerged Arc Welding*), hingga yang terbaru yakni las friksi atau *Friction Welding*. Konsep dasar dari teknologi *Friksi welding* adalah menghubungkan dua material logam dengan menggunakan sumber panas yang dihasilkan dari gesekan antara tool dengan permukaan benda kerja [4].

Las SMAW adalah jenis pengelasan yang sederhana dan biayanya yang terjangkau. juga mudah digunakan dalam segala posisi dan tempat berbeda juga diharuskan pengelasan berpindah tempat. Macam polaritas las SMAW, yakni arus AC dan DC. Arus DC terbagi menjadi 2 yakni DCEN (*Direct Current Electrode Negative*) dan DCEP (*Direct Current Electrode Positive*) atau dalam istilah lain DCSP (*Direct Current Straight Polarity*) dan DCRP (*Direct Current Reverse Polarity*). Perbedaan arus tersebut mengacu pada perbedaan pengaplikasiannya. Untuk hasil pengelasan yang memerlukan penetrasi yang dalam maka menggunakan arus DCRP, untuk pengelasan plat yang tebal dan sebaliknya jika untuk hasil pengelasan yang memerlukan penetrasi yang dangkal maka menggunakan DCSP. Pada proses las, filler atau elektroda las dicairkan dalam suatu celah atau cekungan disebut welding pool dan secara bersama-sama membentuk deposit logam lasan. Elektroda dilengkapi dengan flux atau serbuk pelindung yang akan mencair saat proses pengelasan untuk melindungi cairan logam dari kontaminasi udara luar. Proses pengelasan ini dinamakan Las Listrik SMAW (*Shielded metal Arch welding*). Prinsip kerja las SMAW ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Prinsip Kerja Las SMAW [5].

Filler elektroda terdiri dari bagian inti dan zat pelindung atau fluks. Selaput pelindung elektroda atau fluks mempunyai beberapa fungsi seperti mencegah oksidasi sewaktu pengelasan berlangsung, sebagai kerak pelindung sehingga mengurangi kecepatan pendinginan, yang bertujuan agar hasil lasan tidak getas dan rapuh, serta

menstabilkan nyala busur api sehingga memudahkan untuk mengontrol ukuran dan frekuensi cairan logam. Beberapa jenis fluks pada elektroda diantaranya adalah:

- a. Jenis titania kapur : Jenis ini disamping berisi rutil juga mengandung kapur. Disamping sifat – sifat yang dimiliki oleh jenis oksida titan, jenis ini mempunyai keunggulan lain yaitu kemampuannya menghasilkan sifat mekanik yang baik. Walaupun penetrasinya dangkal masih juga dapat menghasilkan manic las yang halus. Jenis ini sesuai hampir semua posisi pengelasan, terutama posisi tegak atau diatas kepala (overhead).
- b. Jenis hidrogen rendah (low hydrogen) : atau disebut juga sebagai jenis kapur karena bahan utama yang dipergunakan adalah kapur dan fluorat. Jenis ini menghasilkan sambungan dengan kadar hydrogen yang rendah, karena itu kepekaan sambungan terhadap retak sangat rendah, sehingga ketangguhannya sangat memuaskan. Karena fluks jenis ini sangat baik dalam sifat mampu lasnya maka elektroda dengan fluks jenis ini biasanya digunakan untuk konstruksi yang memerlukan tingkat pengamanan yang tinggi seperti konstruksi dengan pelat tebal dan bejana tekan.
- c. Jenis oksida titan: Jenis ini juga disebut rutil atau titania dan berisi banyak TiO₂ di dalamnya. Busur yang dihasilkan oleh elektroda yang dibungkus dengan fluks jenis ini tidak terlalu kuat, penetrasi atau penembusan cairan logamnya dangkal dan menghasilkan manic las yang halus. Cocok digunakan pada pengelasan plat tipis dan proses caping pada plat tebal [6].

Selain bahan-bahan penyusun fluks, terdapat juga senyawa-senyawa kimia pada elektroda yang berfungsi untuk mengikat dan menjadi bahan utama pada proses pengelasan. Diantaranya yaitu:

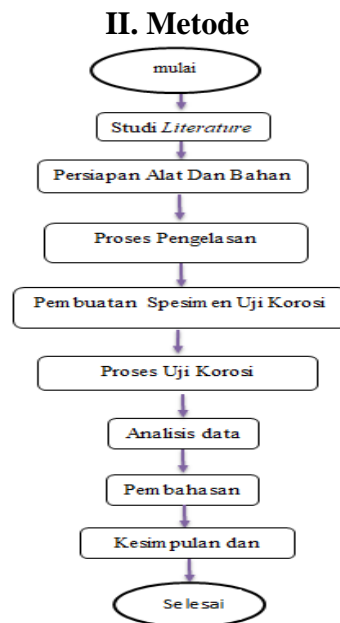
- a. unsur Mangan (Mn) : dapat mengikat karbon (C) membentuk karbida mangan (Mn₃C) yang dapat menaikkan kekuatan, ketangguhan baja dan meningkatkan kekerasan.
- b. unsur silikon (Si) : berfungsi sebagai pembentuk ferrite yang sangat kuat dan juga untuk menguatkan baja [7].
- c. Phosphorus (P) : Fosfor meningkatkan kekuatan dan kekerasan baja , tetapi dapat mengurangi elastisitas dan dampaknya terhadap ketangguhan, terutama pada baja karbon tinggi yang diquenching dan tempering.
- d. Sulphur (S) : Untuk pengelasan, kemampuan las menurun seiring peningkatan kandungan sulfur. Sulfur merugikan kualitas permukaan karbon rendah serta baja mangan rendah dan meningkatkan hot shortness dengan peningkatan sulfur [8].

Kawat las yang akan digunakan dalam eksperimen ini ada 4 macam produk yang berbeda. Disini peneliti akan gunakan masing-masing kawat dari 4 brand dengan spek kawat yang sama dengan material base metal, yaitu:

- a. RC52U
Adalah jenis kawat elektroda mild steel/baja lunak yang diproduksi oleh NIKKO STEEL dan difungsikan untuk pengelasan baja carbon, konstruksi bangunan, perkapalan, pipa baja carbon. Spesifikasi sebagai berikut: AWS A5.1; EN ISO 2560-A ; JIS Z 3212; E7016; D5016 [9].
- b. Atlantic E6013.
Adalah jenis kawat elektroda mild steel/baja lunak yang dengan spesifikasi JIS : Z3211 D4313 / AWS : A5.1 E6013
- c. LB52U
Adalah jenis kawat elektroda mild steel/baja lunak yang diproduksi oleh KOBE STEEL dan difungsikan untuk pengelasan baja carbon, baja ringan, pipa baja carbon untuk saluran, dengan spesifikasi sebagai berikut: LB-52U : Dengan AWS A.5.1 E7016 dan JIS Z3211 D 5016 [10].
- d. Larutan HCl
Larutan HCl nantinya akan digunakan untuk merendam spesimen uji, sifat asam pada larutan HCl digunakan untuk mengikis atau mengkorosi spesimen uji.

C. Korosi

Korosi adalah suatu proses kerusakan bahanbahan logam yang pada dasarnya merupakan reaksi logam menjadi ion di permukaan logam yang kontak langsung dengan lingkungan berair dan oksigen [11]. Korosi menimbulkan banyak kerugian karena mengurangi umur pakai berbagai barang atau bangunan yang menggunakan besi atau baja.



Gambar 5. Diagram Alir Proses Pengelasan.

A. Metode Pengukuran Uji Korosi

Menurut (Fontana, 1978) pada bukunya yang berjudul “Corrosion Engineering”, Metode digunakan untuk mengukur laju korosi adalah Metode Penurunan Berat Badan atau *weight gain loss (WGL)* [12]. Sampel direndam di dalam sistem larutan HCl dan dibiarkan untuk terkorosi. Setelah itu dihitung laju korosinya melalui kehilangan berat yang terjadi pada sampel. Bentuk dan dimensi sampel yang akan diuji dapat bervariasi sesuai persyaratan pengujian. Metode ini digunakan sebagai pengukuran Korosi Tingkat Penetrasi (CPR) yang dinyatakan dalam mil per tahun (mpy) atau milimeter per tahun (mm /tahun). Ketika kepadatan material (ρ), waktu pengujian (t) dan berat badan diketahui telah hilang selama pengujian prosesnya.

Berikut merupakan daftar tabel konstanta laju korosi yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Konstanta Laju Korosi [13].

Satuan laju korosi	Konstanta (K)
<i>Mils per year (mpy)</i>	$3,4 \times 10^6$
<i>Inches per year (ipy)</i>	$3,45 \times 10^3$
<i>Millimeters per year (mm/y)</i>	$8,76 \times 10^4$
<i>Micrometers per year ($\mu\text{m}/\text{y}$)</i>	$8,76 \times 10^7$
<i>Picometer per second (pm/s)</i>	$2,87 \times 10^6$

Kemudian nilai CPR dapat dihitung dengan persamaan 1: $CPR = \frac{KW}{\rho At}$ (1)

Deskripsi:

CPR = Laju Penetrasi Korosi (mpy) atau pengurangan ketebalan satuan per time material. Satuan: milli-inch per year (mpy) atau milimeter per tahun (mm /tahun) (1 juta = 10³inci)

W = penurunan berat selama pengujian (mg) = mo-m

M = berat setelah terkorosi

Mo = berat sebelum terkorosi

K = konstanta tergantung pada satuan yang digunakan. ketika satuan mm / tahun akan digunakan maka K = $8,76 \times 10^4$

ρ = massa jenis (gr / cm³)

T = waktu (jam)

A = luas permukaan mm²(satuan lain yang sama seperti CPR memakai mpy).

Ketika nilai CPR kurang dari 20 mpy (0,5 mm / tahun), nilai / koefisiennya masih dapat diterima. Dari persamaan (1) dapat diperoleh data untuk menghitung nilai CPR.

B. Persiapan Alat Dan Bahan

Dalam proses pengelasan ada beberapa alat dan material yang harus disiapkan diantaranya yaitu:

Peralatan.

1. Mesin las busur listrik,
2. Adaptor
3. Timbangan digital,
4. Gerinda,
6. Mesin potong pipa,
7. Sikat kawat,
8. Wadah palstik
9. Kabel,
10. Penjepit kabel (conector),
11. Isolasi
12. kamera ponsel untuk dokumentasi
13. Peralatan safety welding (Pakaian cuttle pack, Kacamata safety, cap las sarung tangan las, sepatu safety).

C. Bahan Material Pengelasan

Baja karbon merupakan paduan besi dengan karbon dengan kadar yang rendah sekitar $< 0,25\%C$. Baja karbon dibedakan menjadi tiga (3) tipe baja karbon yaitu baja karbon rendah, baja karbon sedang, dan baja karbon tinggi atau sering disebut besi tuang. Baja karbon rendah mempunyai kadar karbon antara $0,025\% - 0,25\%$. Baja karbon rendah dengan kadar $0,04\% - 0,10\% C$ dijadikan plat baja, $0,05\% C$ digunakan untuk keperluan badan-badan kendaraan, $0,15\% - 0,20\%C$ digunakan untuk keperluan konstruksi jembatan, bangunan, atau dijadikan baja konstruksi[14]. Selain dalam bentuk lembaran plat, baja karbon juga difabrikasi menjadi produk pipa baja untuk keperluan industri. Sebagai contoh pipa untuk saluran air, minyak dan gas bertekanan tinggi. Pipa yang digunakan saat proses fabrikasi pipa air laut untuk kapal di perusahaan tempat peneliti bekerja yakni jenis pipa baja STPG370. STPG370 adalah salah satu kelas baja di JIS G3454 untuk pipa baja karbon untuk layanan tekanan. Untuk deskripsi sebagai berikut. Komposisi kimia STPG370 (Unit:%)

Tabel 2. Komposisi kimia STPG370 (Unit: %)

Penunjukan nilai	Sifat mekanik				
	C maks	Si maks	Mn maks	P maks	S maks
STPG370	0,25	0,35	0,30-0,90	0,040	0,040

Tabel 3. Sifat mekanik STPG370

Penunjukan nilai	Kekuatan tarik Mpa min	Kekuatan hasil Mpa min	Elongasi % menit	
STPG370	370	215	Longitudinal	Melintang
			30	25

Tabel 4. Simbol perwakilan dari proses produksi [15].

Penunjukan nilai	Penunjukkan proses manufaktur	
STPG370	Proses mnufaktur tabung	Metode pebentukan dan penyelesaian
	Mulus:S	Hot selesai: H
	Pengelasan	Dingin seslesai: C
	Ketahanan listrik: E	Selain selesai panas dan dingin selesai: G

D. Kawat Las

Kawat las atau Elektroda adalah material logam pengisi/filler dalam proses pengelasan busur listrik SMAW. Kawat las SMAW memiliki kode yang menandakan spesifikasi tentang kekuatan tarik (*tensile*), posisi pengelasan, dan Jenis komposisi kimia dari flux (serbuk pelindung). Berikut kode kawat las SMAW

Elektroda Mild Steel

Misal E 6013

E: Elektroda

60: Kekuatan Tarik Minimum 60 satuannya KSI (Biasanya ada tipe juga 70 dan 80 misal E 7016, E 7018, E 8010, E8018)

1: Untuk semua posisi pengelasan (Untuk kode lain yaitu)

2: (posisi *flat* dan *horizontal*) dan 3 (Posisi *flat*)

3: Jenis komposisi kimia dari *flux* yang berpengaruh terhadap penetrasi, arus dan polaritas.

Jenis digit keempat ini ada Untuk lebih detailnya bisa dilihat di Gambar 6 di bawah ini.

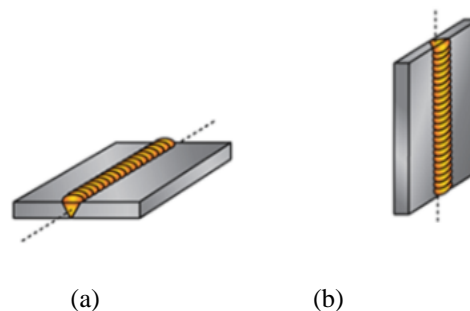
AWS A5.1 Carbon Steel Electrodes for SMAW		
Electrode	E	6 0 1 0
Min. Tensile (in ksi)		
Position		
Type of Coating and Current		
Key to Type of SMAW Coating and Current		
Digit	Type of Coating	Current
0	High Cellulose Sodium	DC+
1	High Cellulose Potassium	AC, DC±
2	High Titania Sodium	AC, DC±
3	High Titania Potassium	AC, DC±
4	Iron Power, Titania	AC, DC±
5	Low Hydrogen Sodium	DC+
6	Low Hydrogen Potassium	AC, DC+
7	High Iron Oxide, Iron Powder	AC, DC±
8	Low Hydrogen Potassium, Iron Powder	AC, DC±

Gambar 6. Spesifikasi Kawat Las SMAW Menurut AWS [10]

E. Metode Pengelasan

Metode pengelasan untuk pembuatan spesimen uji yakni menggunakan metode las SMAW posisi pengelasan 3G (Up Hill) dan 1G (Under Hand). Pengelasan posisi 3G yaitu jenis level posisi pengelasan kampuh groove/bevel yang cara pengelasannya secara vertikal baik *up hill* (dari bawah naik ke atas) maupun *down hill* (dari atas ke bawah). Sedangkan pengelasan 1G yaitu pengelasan secara horizontal dengan benda kerja berada tepat di bawah tangan (under hand)

Berikut contoh posisi pengelasan 3G dan 1G yang ditunjukkan oleh Gambar 7



Gambar 7. Pengelasan posisi (a) 1G dan (b) 3G

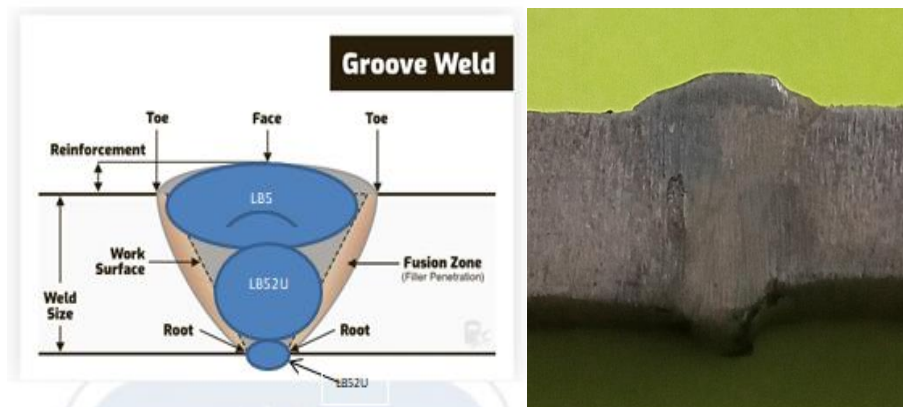
Dalam pengelasan ini menggunakan mesin las dengan arus AC dengan variasi arus yang sudah ditentukan dengan pedoman arus yang direkomendasikan berdasarkan macam posisi pada bungkus produk elektroda masing-masing. Berikut tabel besaran arus listrik pada pengelasan spesimen pipa STPG370 SCH80 D125 yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Besaran Arus Pengelasan Pengelasan Spesimen Pipa STPG370 SCH80 125A.

KODE	Faktor Kontrol		Faktor Level	
	Jenis Kawat	Root pass/ampere	Filler pass /ampere	Caping pass/ampere

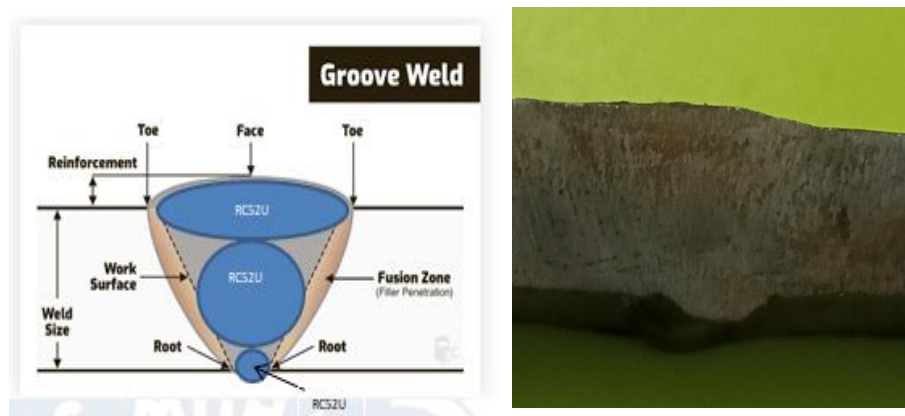
LB	LB52U	70	80	85
RC	RC52U	70	80	85
LB+ALT	LB52U+Atlantic E6013	70	90	100
RC+ALT	RC52U+Atlantic E6013	70	90	100

Dari metode pengelasan yang dipakai maka dapat digambarkan lapisan atau urutan tiap *pass* pada sambungan pengelasan. Pada spesimen pertama, jenis elektroda yang digunakan adalah LB52U murni. Dari mulai awal sambungan las akar sampai dengan caping. Komposisi sambungan dan hasil pengelasan material LB52U bisa dilihat di Gambar 8 dibawah ini



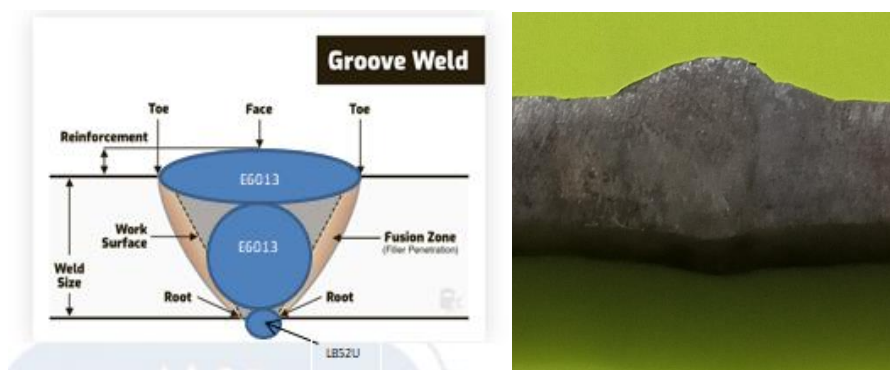
Gambar 8. Komposisi sambungan material LB52U murni.

Pada spesimen kedua, jenis elektroda yang digunakan adalah RC52U murni. Dari mulai awal sambungan las akar sampai dengan caping. Komposisi sambungan dan hasil pengelasan material RC52U bisa dilihat di Gambar 9 dibawah ini



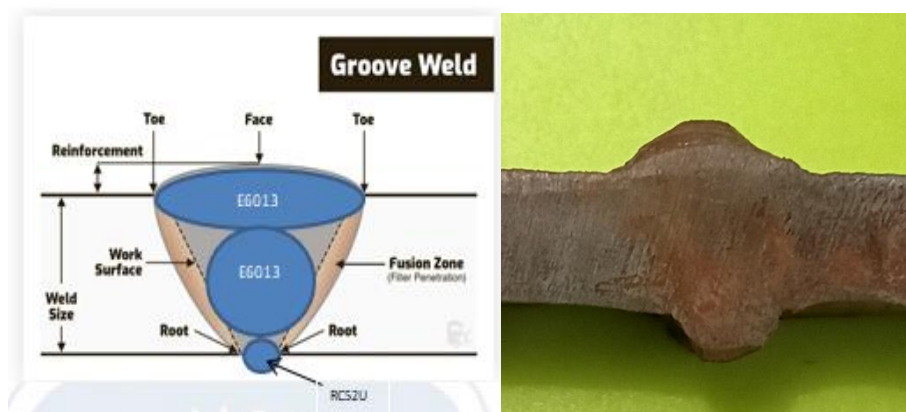
Gambar 9. Komposisi sambungan material RC52U murni.

Pada spesimen ketiga, jenis elektroda yang digunakan adalah Kombinasi LB52U dan Atlantic E-6013. Dari mulai awal sambungan las akar sampai dengan caping. Komposisi sambungan dan hasil pengelasan material Kombinasi LB52U dan Atlantic E-6013 bisa dilihat di Gambar 10 dibawah ini



Gambar 10. Komposisi Sambungan Material Kombinasi LB52U dan Atlantic E-6013

Dan Pada spesimen ketiga, jenis elektroda yang digunakan adalah Kombinasi LB52U dan Atlantic E-6013. Dari mulai awal sambungan las akar sampai dengan caping. Komposisi sambungan dan hasil pengelasan material Kombinasi RC52U dan Atlantic E-6013 bisa dilihat di Gambar 11 dibawah ini



Gambar 11. Komposisi sambungan material kombinasi RC52U dan Atlantic E-6013

F. Metode Pengujian

Berikut metode dan langkah-langkah pengujian korosi terhadap spesimen pipa STPG 370.

Alat Dan Bahan

1. Empat pcs pipa STPG 370 yang sudah dilas
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah satu (1) joint pipa STPG 370 yang sudah dilas sebagai spesimen uji yang berjumlah empat (4) pcs berdasarkan jenis produk kawat yang digunakan.
2. Seperangkat alat potong logam (blander las, selang acetylene dan oksigen, dan terminal gas
3. Wadah dan larutan HCl dengan kandungan sebesar 22,2%

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Proses Pengelasan

Pembuatan spesimen dilakukan di PT PAL INDONESIA dan dalam proses pengelasan menggunakan mesin las SMAW pengkutuban AC. Berikut langkah-langkah prosedur pengelasan spesimen pipa STPG370.

➤ Pemotongan Pipa

1. Gunakan alat pelindung diri (baju katelapak, sepatu safety, kaca mata safety, dan sarung tangan las)
2. Menyiapkan pipa yang akan dipotong (STPG370 berukuran $\varnothing 125 \times t.10$ (mm) yang nantinya akan dipotong menjadi sepasang dengan ukuran masing-masing 50mm.

3. Menyiapkan mesin potong pipa semi-otomatis. Marking pipa yang akan dipotong dan letakkan di mesin potong. Sesuaikan nozel tepat di area marking, lalu potong. Terlihat pada Gambar 12 dibawah ini.



Gambar 12. Proses Pemotongan Pipa STPG370 SCH80 D125.

➤ Proses Fit-up

1. Bersihkan bekas terak potongan pipa dengan gerinda hingga material pipa bersih dan siap untuk difit-up.
2. Nyalakan mesin las.
3. Gunakan kawat elektroda ukuran 3,2 (tanpa flux) untuk membuat celah dan lakukan pengelasan titik/*tag weld*

Proses Fit-up sambungan pipa dapat lihat Gambar 13 di bawah ini.



(b)



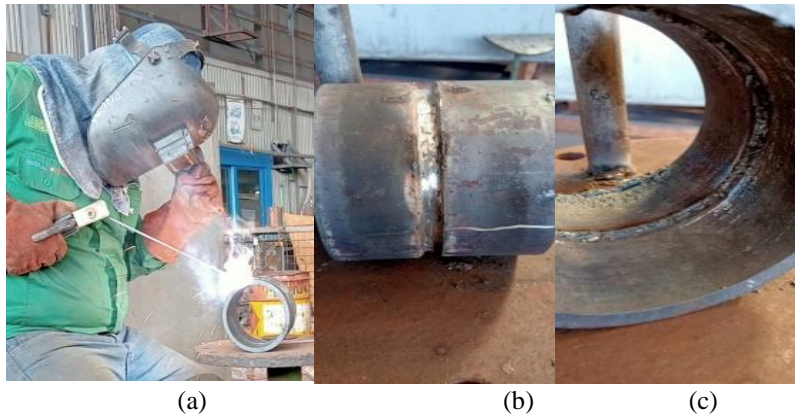
(b)

Gambar 13. Proses fit-up sebelum pengelasan

➤ Proses Pengelasan

1. Gunakan alat pelindung diri (baju katelapak, sepatu safety, kaca mata safety, *welding face shield*/ kap las dan sarung tangan las).
2. Atur terlebih dahulu besar arus listrik sebelum pengelasan (sesuai tabel 4).
3. Mulai pengelasan. Posisi pengelasan sama dan berulang yakni posisi 3G dan 1G
4. Pengelasan ini dilakukan dengan ketentuan dengan 3 pass dan 1 layer (*rod pass/las akar, fill dan capping*) dengan masing-masing kawat.
5. Melakukan pengujian visual, jika sesuai standart maka spesimen bisa diuji ke tahap berikutnya. Jika belum maka ulangi proses pengelasan/*repair*.

Selanjutnya proses dan hasil pengelasan bisa dilihat pada Gambar 14 sampai Gambar 15 dibawah ini. Proses dan hasil pengelasan *rootpass*/ tembusan las akar.

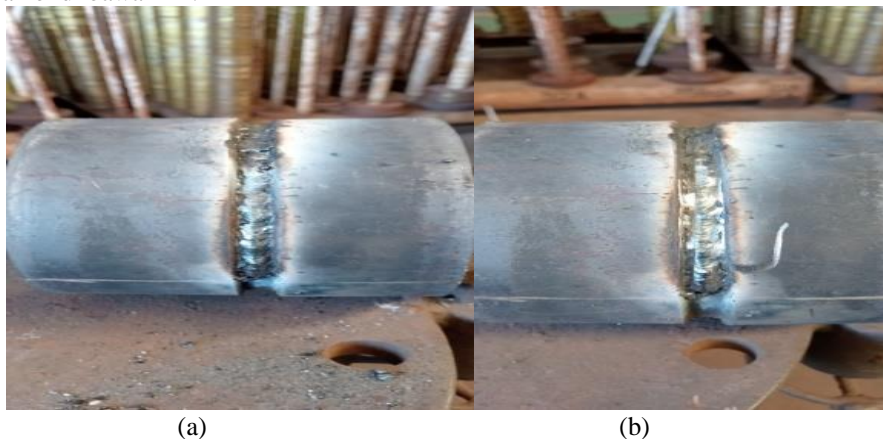


Gambar 14. (a),(b),(c) Proses Pengelasan Tembusan Las Akar/Root Pass

Keterangan :

- (a) Nampak sisi luar sambungan *root pass*/las akar yang telah dibersihkan dari sisa terak dengan gerinda agar permukaan terbebas dari kotoran.
- (b) Nampak sisi dalam tembusan.
- (c) Proses pengelasan material spesimen pipa STPG 370 SCH80 125A

Dengan proses yang sama langkah selanjutnya yaitu pengisian atau proses *filling* pada sambungan las pipa tersaji pada gambar 11 a dan b di bawah ini.

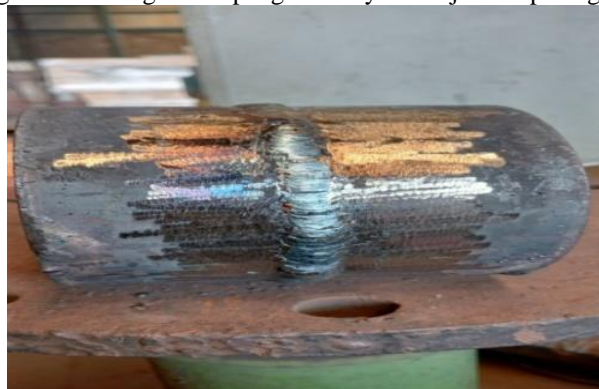


Gambar 15. Hasil Pengelasan Pengisian atau *Filling* Pada Sambungan Las Pipa

Keterangan :

- (a) hasil manik las pengisian/*filling pass*
- (b) hasil manik las pengisian/*filling pass* yang telah dibersihkan dari sisa terak dengan gerinda agar permukaan terbebas dari kotoran.

Proses selanjutnya yaitu capping dan finishing. Hasil pengelasannya ditunjukkan pada gambar 16 dibawah ini.

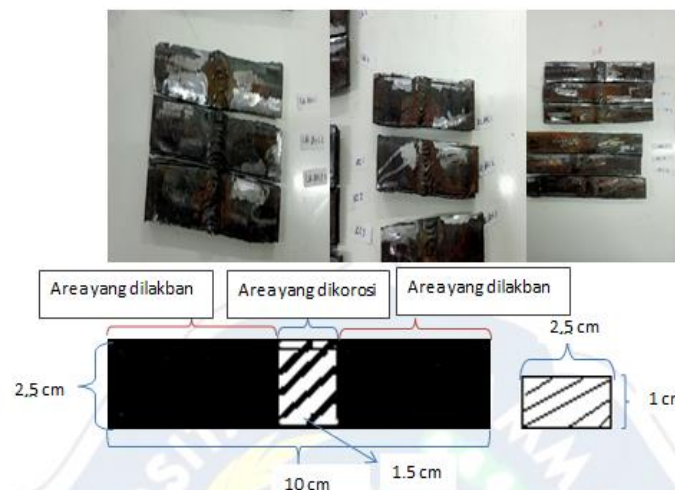


Gambar 16. Hasil Pengelasan Capping yang Sudah Difinishing untuk Menghilangkan Kotoran.

B. Pembuatan Spesimen dan Proses Pelaksanaan Uji Korosi

Tiap pipa dipotong menjadi 3 bagian, masing-masing memiliki ukuran (1x2,5x11) cm². Sampelnya yakni mengikuti jumlah kawat macam kawat elektroda yang diujikan yakni empat (4). (a). Tiga sampel pertama merupakan hasil pengelasan dari produk kawat LB52U (kode: LB52U 1, LB52U 2, LB52U 3), (b).tiga sampel kedua merupakan hasil pengelasan dari produk kawat RC52U. (kode: RC52U 1, RC52U 2, RC52U 3), (c) .tiga sampel ketiga merupakan hasil pengelasan kombinasi dari produk kawat LB52U dan Atlantic E6013 . (kode: LB52U Atl 1, LB52U Atl 2, LB52U Atl 3), (d) tiga sampel terakhir merupakan hasil pengelasan kombinasi dari produk kawat RC52U dan Atlantic E6013. (kode: RC52U Atl 1, RC52U Atl 2, RC52U Atl 3).

Berikut beberapa spesimen yang sudah dipotong dan siap untuk diuji pada Gambar 17.



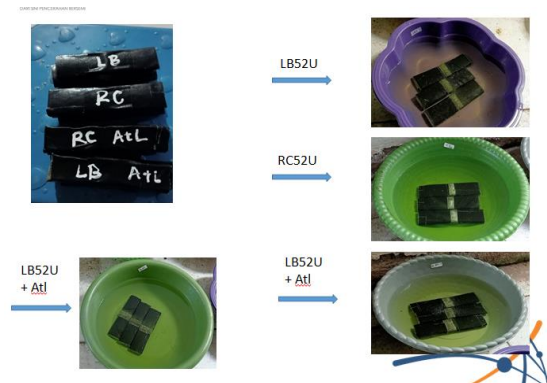
Gambar 17. Material Uji Korosi yang Berjumlah 3 Buah Untuk Masing-Masing Variasi Jenis Filler Kawat Las.

Selanjutnya sebelum proses uji korosi dilakukan maka spesimen harus diukur terlebih dahulu berat awalnya sehingga dapat diketahui perbedaan berat/pengurangan berat setelah dilakukannya uji korosi. Berikut beberapa proses penimbangan contoh spesimen sebelum diuji korosi yang dapat dilihat pada Gambar 18.



Gambar 18. Proses Penimbangan Pre-Test Uji Korosi Yang Dilakukan Di Lab. Teknologi Pangan UMSIDA.

Kemudian setelah diketahui berat awal semua spesimen dan dilakukan pendataan maka selanjutnya mempersiapkan uji korosinya. Uji korosi kemudian dilakukan dengan metode Korosi Basah. Dimana sampel benda dicelupkan ke dalam larutan dengan kandungan HCl sebesar 22,2% selama 8 jam secara bersamaan, area spesimen dibungkus oleh solatip terkecuali bagian sambungan las. Berikut proses pengujian uji korosi yang dilakukan di rumah secara sederhana dari pukul 10.30 pagi hingga 18.30 petang[16]. Proses pengujian terdapat pada Gambar 19 di bawah ini.



Gambar 19. Proses pengujian korosi selama 8 jam masing-masing spesimen menggunakan larutan HCl 22,2% dan air.

Setelah 8 jam maka pengangkatan dilakukan bersama-sama dan spesimen dibilas dengan air mengalir dan disikat dengan sikat gigi bekas agar hilang bekas-bekas kotoran dan cairan HCl untuk kemudian dilakukan penimbangan hasil post-test agar diketahui jumlah pengurangan berat material spesimen dari berat awal.

Proses penimbangan ini sama seperti sebelumnya dilakukan di laboratorium teknologi pangan UMSIDA dan kemudian pengambilan data.

Berikut pada Gambar 20 merupakan beberapa contoh spesimen yang telah ditimbang berat akhirnya setelah proses pengkorosian dengan cairan HCl.



Gambar 20. Proses Penimbangan Pos-Test Uji Korosi yang Dilakukan di Lab.Teknologi pangan UMSIDA.

C. Analisa Data

Pada tahap ini dengan menggunakan rumus persamaan 1: $CPR = \frac{KW}{\rho At}$ (1)

maka hasil CPR dari uji korosi ke 4 spesimen adalah sebagai berikut:

Diketahui :

Massa jenis Fe = 7.87 gr/cm³ K = 8,76 x 10⁴mm/y

Luas permukaan = A = A1 + A2

$$A1 = 2 (1 \times 1,5) \text{ cm}^2$$

$$= 3 \text{ cm}^2$$

$$A2 = 2 (1 \times 2,5) \text{ cm}^2$$

$$= 5 \text{ cm}^2$$

$$\text{luas A} = \text{Total A} = 8 \text{ cm}^2$$

Proses perhitungan masing-masing specimen.

1. LB52U

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{8,76 \times 10^4 \cdot 0,005907}{7,87 \cdot 8,8}$$

$$= 1,027 \text{ mm/year}$$
2. RC52U

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{8,76 \times 10^4 \cdot 0,0044405}{7,87 \cdot 8,8}$$

$$= 0,772 \text{ mm/year}$$
3. LB52U+Atl E-6013

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{8,76 \times 10^4 \cdot 0,004416}{7,87 \cdot 8,8}$$

$$= 0,768 \text{ mm/year}$$
4. RC52U+Atl E-6013

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{8,76 \times 10^4 \cdot 0,004754}{7,87 \cdot 8,8}$$

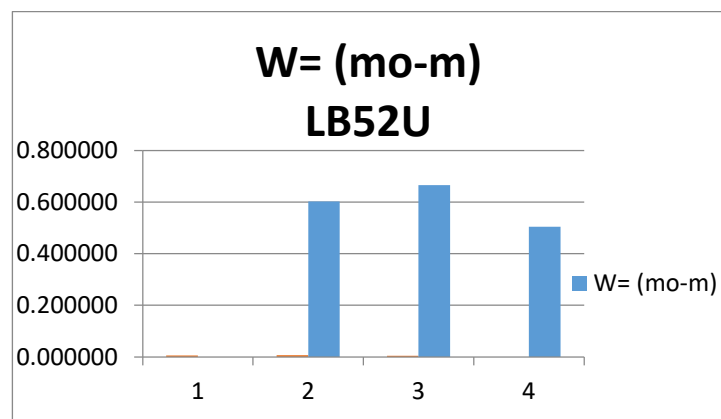
$$= 0,827 \text{ mm/y}$$

Dari percobaan yang telah dilakukan didapatkan hasil yang nilai laju korosi CPR sebanyak milimeter/tahunnya yang terisi pada Tabel 6

data nilai CPR hasil uji korosi					
Sampel	mo (gr)	m (gr)	W= (mo- m)	rata-rata	CPR (mm/yr)
LB52U 1	183.4835	183.4775	0.006019		
LB52U 2	178.9106	178.9039	0.006655	0.005907	1.027
LB52U 3	183.4331	183.4281	0.005047		
RC52U 1	203.7576	203.7532	0.004441		
RC52U 2	210.9515	210.9470	0.004505	0.0044405	0.772
RC52U 3	206.5928	206.5884	0.004376		
LB52U + Atl E-6013 1	181.6423	181.6380	0.004274		
LB52U + Atl E-6013 2	189.7482	189.7441	0.004071	0.004416	0.768
LB52U + Atl E-6013 3	188.5607	188.5558	0.004903		
RC52U + Atl E-6013 1	154.334	154.3295	0.004483		
RC52U + Atl E-6013 2	166.268	166.2632	0.004830	0.004754	0.827
RC52U + Atl E-6013 3	181.1589	181.1540	0.004950		

Tabel 6. Dari Uji Korosi Basah Didapatkan Nilai CPR

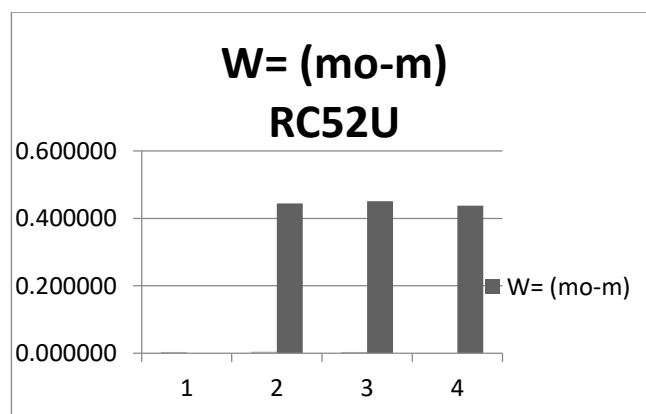
Tabel 6 menunjukkan nilai CPR pada uji korosi basah yang mana sampel yang sudah direndam dalam cairan HCl selama 8 jam. Hasil dari uji korosi spesimen LB52U dan pengurangan dari berat awal ke berat akhir dapat dilihat pada Gambar 21 di bawah ini.



Gambar 21. Grafik LB52U.

Pada grafik pengurangan berat pada spesimen LB52U paling tinggi adalah LB52U 2 dengan 0,006655 gram , kemudian LB52U 3 dengan 0,005047 gram, dan terkecil LB52U 1 dengan 0,006019 gram.

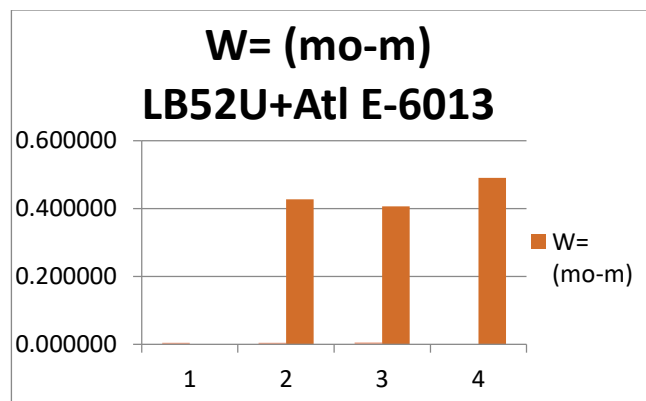
Hasil dari uji korosi spesimen RC52U dan pengurangan dari berat awal ke berat akhir dapat dilihat pada pada Gambar 22 di bawah ini.



Gambar 22. Grafik RC52U

Pada grafik pengurangan berat pada spesimen RC52U paling tinggi adalah RC52U 2 dengan 0,004505 gram , kemudian RC52U 1 dengan 0,004441 gram, dan terkecil RC52U 3 dengan 0,004376 gram.

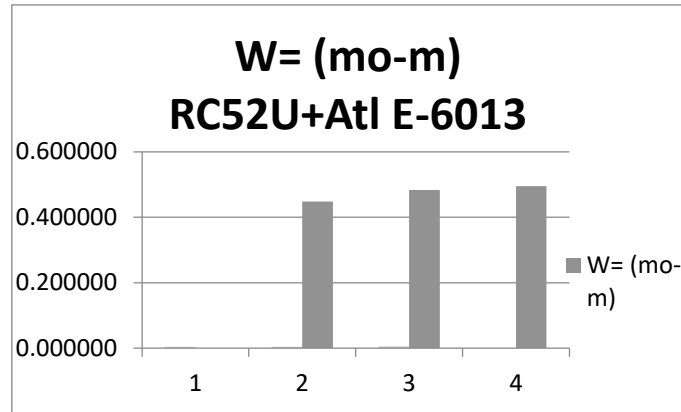
Hasil dari uji korosi spesimen LB52U+E-6013 dan pengurangan dari berat awal ke berat akhir dapat dilihat pada pada Gambar 23 di bawah ini.



Gambar 23. Grafik LB52U+E-6013.

Pada grafik pengurangan berat pada spesimen LB52U + Atlantic E-6013 paling tinggi adalah LB52U+Atl 3 dengan 0,004903 gram , kemudian LB52U+Atl1 dengan 0,004274 gram, dan terkecil LB52U+Atl2 dengan 0,004071 gram.

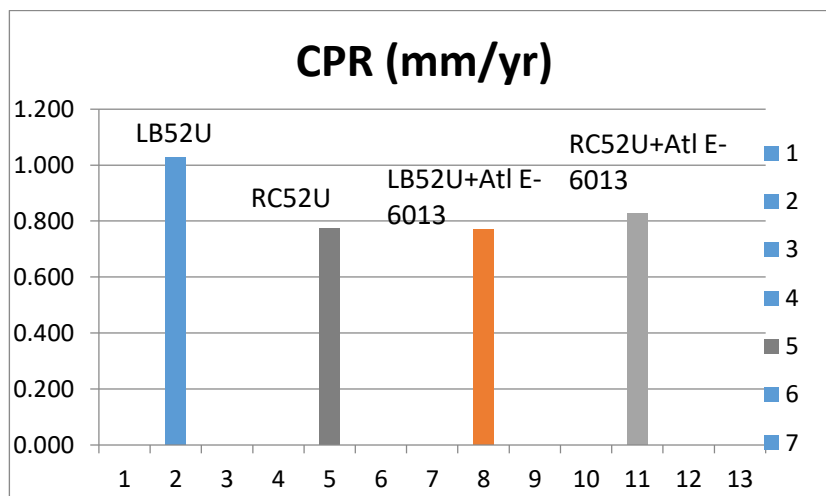
Hasil dari uji korosi spesimen RC52U+E-6013 dan pengurangan dari berat awal ke berat akhir dapat dilihat pada Gambar 18 di bawah ini.



Gambar 24. Grafik RC52U+E-6013

Pada grafik pengurangan berat pada spesimen RC52U + Atlantic E-6013 paling tinggi adalah RC52U+Atl 3 dengan 0,004950 gram , kemudian RC52U+Atl 2 dengan 0,004830 gram, dan terkecil RC52U+Atl 1 dengan 0,004483 gram.

Dari beberapa nilai CPR tertinggi dari masing-masing spesimen maka dapat dibuatkan grafik nilai tertinggi hingga terendah sebagai hasil pembandingan kualitas dari pengujian uji korosi pada material elektrode las. Hasil dari pengujian Uji korosi pada semua spesimen dapat dilihat pada Gambar 25 di bawah ini.



Gambar 25. Grafik nilai CPR.

Pada grafik nilai CPR diatas diketahui bahwa nilai CPR tertinggi adalah LB52U sebesar 1,027 mm/year dan terendah LB52U + Atl E-6013 sebesar 0,768 mm/year. Dengan demikian hasil perhitungan dari nilai laju korosi untuk pengelasan pada logam pipa STPG370 dengan media pendingin udara dan dengan material elektroda LB52U adalah 1,026 mm/year. Nilai laju korosi untuk material elektroda RC52U adalah 0,772 mm/year. Nilai laju korosi untuk material kombinasi elektroda LB52U+ Atlantic E-6013 adalah 0,768 mm/year. Dan yang terakhir Nilai laju korosi material kombinasi elektroda RC52U+ Atlantic E-6013 adalah 0,827 mm/year. Hal ini mengindikasikan bahwa jenis material elektroda juga berpengaruh terhadap kekuatan benda kerja terhadap korosi. Dan jenis elektroda Atlantic E-6013 yang banyak direkomendasikan dipakai dalam proses fabrikasi konstruksi maritim dan pekerjaan lepas pantai sehingga lebih tahan terhadap korosi. Disamping itu faktor lain yakni kompetensi welder dan keadaan sekitar lingkungan kerja saat produksi juga berpengaruh terhadap kualitas pekerjaan. Apabila laju korosi dapat dihambat, maka bisa meningkatkan kualitas sebuah

produk manufaktur logam. Peran media pendingin/PWHT (*post welding heat treatment*) juga berpengaruh dalam usaha penghambatan laju korosi [17]. Mengingat media pendingin logam yang peneliti gunakan yaitu udara. Lain halnya jika menggunakan air atau oli.

IV. SIMPULAN

Dari percobaan uji korosi yang sudah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Laju korosi paling tinggi yakni elektroda LB52U dengan nilai 1,026 mm/year dan nilai laju korosi paling rendah adalah LB52U + Atl E-6013 dengan nilai 0,767 mm/year.
2. Untuk menanggulangi atau mengurangi serangan korosi pembersihan material logam benda kerja perlu dilakukan agar terhindar dari kotoran logam yang menempel dan mengakibatkan oksidasi sehingga memicu karat serta penambahan cairan pelapis misal galvanis, campuran tembaga dan cat dasar logam/meni jadi solusi agar pipa bisa bertahan lama.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya peneliti haturkan kepada:

1. Segenap Dosen pengajar Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sidoarjo yang telah memberikan ilmu dan wawasan yang bermanfaat
2. Kedua orangtua dan orang-orang terkasih yang selalu memberikan motivasi demi terselesainya penelitian.
3. Supervisi/Kepala bengkel pipa dan welding MO/EO, Divisi Kapal Niaga PT. PAL INDONESIA bapak M.Nur dan bapak Khabib Sholeh yang telah memberikan kesempatan kepada peneliti untuk menjalankan penelitian selama beberapa minggu di lokasi kerja dan memberikan kemudahan dalam support material dan alat berupa material pipa, perlengkapan pengelasan sehingga penelitian biasa terlaksana.
4. Rekan-rekan kerja dan mahasiswa yang telah memberikan motivasi dan dukungan.

V. REFERENSI

- [1] PT PAL INDONESIA, "Profil Perusahaan-PT PAL Indonesia," PT PAL INDONESIA web page. [Online]. Available: <https://www.pal.co.id/dewan-direksi-3/>
- [2] C. Pratiwi, "7. BAB VI (Piping System)," pp. 213–285, 2018.
- [3] B. W. Ziliwu and M. Tumpu, "Perawatan Sistem Pendingin," *Akselerator J. Sains Terap. dan Teknol.*, vol. 1, no. 1, pp. 11–19, 2020.
- [4] A. Suprayoga and M. Mulyadi, "Experimental Study on AA6005-T6 Material Welded with Friction Stir Welding Using Impact Test," *Indones. J. Innov. Stud.*, vol. 13, pp. 1–10, 2021, doi: 10.21070/ijins.v13i.532.
- [5] ALLPRO, "Pengelasan SMAW." [Online]. Available: <https://www.allpro.co.id/pengelasan/smaw/>
- [6] H. Wiryosumarto and T. Okumura, "Teknologi Pengelasan Logam," *Teknol. Pengelasan Logam*, vol. 8, 2000.
- [7] Aisyah, "Perubahan Struktur Mikro dan Sifat Mekanik pada Pengelasan Drum Baja Karbon Wadah Limbah Radioaktif," *Pus. Teknol. Limbah Radioaktif-BATAN*, pp. 159–174, 2011.
- [8] Azwinur1, "PENGARUH JENIS ELEKTRODA PENGELASAN SMAW TERHADAP SIFAT MEKANIK MATERIAL SS400," pp. 19–25.
- [9] N. Steel, "Manufacturers of a Diverse Range of Hv-600," *21 Sept. 2023*, p. 1, 2014.
- [10] Metro Rekayasa, "kawat las kobelco," metrorekayasa.com. Accessed: Oct. 26, 2023. [Online]. Available: <https://metrorekayasa.com/products/welding-consumables/welding-electrode-kobelco-kawat-las-kobelco/>
- [11] T. Natasya, M. E. Khairafah, M. S. Br Sembiring, and L. N. Hutabarat, "Corrosion Factors on Nail," *Indones. J. Chem. Sci. Technol.*, vol. 5, no. 1, p. 47, 2022, doi: 10.24114/ijcst.v5i1.33159.
- [12] M. Ash and I. Ash, *Handbook of Corrosion inhibitors*, vol. 98, no. 10. 2000. [Online]. Available: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0026057600834455>
- [13] H. S. 1) Syohan Demega Perdhana1, Imam Rochani2, "Studi laju korosi pada plat," vol. 3, no. 2, 2002.
- [14] A. Ngatin, Y. Tonapa, R. Regiyanti, and R. Karomi, "Elektroplating Flash Chrome Pada Baja Karbon Rendah," *Pros. Semin. Nas. Kim. UNY 2017*, vol. 21, no. 4, pp. 183–188, 2017.
- [15] Wanlei, "PIPA STPG370." Accessed: Oct. 25, 2023. [Online]. Available: <http://id.weldsteelpipe.com/steel-pipe/seamless-steel-pipe/stpg370-seamless-steel-pipe.html>
- [16] P. H. Tjahjanti and H. Bramantyo, "Analysis of corrosion penetration rate (CPR) of exhaust ford laser assembled in 1997 which was coated with chrome (Cr)," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1555, no. September, pp. 44–47, 2013, doi: 10.1063/1.4820990.

- [17] L. D. Yuono and U. S. Dharma, "Pengaruh Pendinginan Cepat Terhadap Laju Korosi Hasil Pengelasan Baja Aisi 1045," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 6, no. 1, pp. 76–83, 2017, doi: 10.24127/trb.v6i1.469.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.