

**ANALISA KETAHANAN KOROSI DAN WAKTU PRODUKSI
PADA PEMBUATAN PIPA PENYALUR TAHAN KOROSI
DENGAN METODE CLP DAN MLP**

JURNAL TUGAS AKHIR

**FIRMAN BHAKTIWINAYA
12322902**



**PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI
FAKULTAS TEKNIK DAN DESAIN
INSTITUT TEKNOLOGI SAINS BANDUNG
BEKASI
FEBRUARI 2024**

ANALISA KETAHANAN KOROSI DAN WAKTU PRODUKSI PADA PEMBUATAN PIPA PENYALUR TAHAN KOROSI DENGAN METODE CLP DAN MLP

Firman Bhaktiwinaya¹⁾

¹⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik dan Desain, Institut Teknologi Sains Bandung

ABSTRAK

Dalam bidang metalurgi, pipa penyalur tahan korosi memainkan peran penting dalam transportasi cairan, gas, dan bahan lainnya dalam berbagai industri. Dua jenis pipa penyalur tahan korosi yang umum digunakan dalam industri minyak dan gas adalah Mechanical Line Pipe (MLP) dan Clad Line Pipe (CLP). MLP adalah jenis pipa penyalur tahan korosi yang terdiri dari dua pipa yang digabungkan menjadi satu dengan metode mechanical, sementara CLP terdiri dari pipa bahan dasar dengan lapisan bahan tahan korosi yang diwelding dipermukaan dalam pipa. Makalah ini bertujuan untuk menganalisis siklus waktu proses manufaktur dan ketahanan terhadap korosi pada MLP dan CLP, dengan fokus pada perbandingan dua jenis pipa penyalur.

Metode pengumpulan data waktu produksi diambil dari hasil pengamatan langsung dan mengacu laporan teknis manufaktur pipa dengan metode MLP dan CLP. Sedangkan data ketahanan korosi diambil dari hasil uji korosi yang mengacu pada standar ASTM G48 Method A Edition 2015. Selanjutnya akan dianalisa perbedaan ketahanan korosi dan waktu produksi dari kedua metode tersebut. Dalam penelitian ini akan ditampilkan foto makro dari sample yang sudah diuji korosi untuk mendukung analisa. Kriteria keberhasilan dalam penelitian ini adalah tercapainya hasil dari laju korosi untuk kategori total berat yang hilang $\leq 4 \text{ g/m}^2/24 \text{ jam}$ (atau laju korosi $\leq 0.17 \text{ mm/tahun}$) dan waktu proses produksi MLP < Waktu Proses Produksi CLP. Dari hasil uji korosi didapatkan rata rata laju korosi sebesar 0.26 mm/tahun untuk CLP dan juga MLP. Karakteristik dari Photo Makro menunjukkan bahwa tidak ada "pitting corrosion" yang terjadi setelah pengujian korosi. Sedangkan, hasil perbandingan waktu produksi antara CLP dan MLP didapatkan 6.2:1

KATA KUNCI: Metalurgi, Mechanical Line Pipe, Clad Line Pipe, Proses Manufaktur.

I. PENDAHULUAN

Tingginya permintaan untuk pipa transportasi fluida yang tahan korosi di bawah laut telah menimbulkan minat pada pipa penyalur yang tahan korosi (Aur'elien P'epin, 2019). Clad Line Pipe dan Mechanical Line Pipe seringkali digunakan di industry Minyak dan Gas terutama untuk konstruksi di bawah laut untuk menyalurkan cairan atau gas yang bersifat korosif (Asle Venås a ,2018). Karena biaya yang tinggi dari Pipa penyalur tahan korosi dengan metode Clad Line Pipe, maka Pipa Penyalur Mechanical Line Pipe (MLP) telah dikembangkan sebagai alternatif yang efisien secara biaya untuk pipa penyalur tahan korosi (Xuesheng, W, 2004, Fan, X., Wang, 2020).

Pipa Penyalur secara umum biasanya terbuat dari baja karbon atau baja paduan rendah dan di produksi dalam berbagai macam ukuran dan ketebalan untuk memenuhi persyaratan aplikasi tertentu. Beberapa standard yang umum digunakan untuk pipa penyalur meliputi API 5L, ASTM A106, ASTM A53 dan ASTM A33. Standar ini menentukan komposisi kimia, sifat mekanik dan persyaratan pengujian untuk pipa serta metode manufaktur dan inspeksi. (AS/NZS 2885.1:2018) Untuk CLP dan MLP ada beberapa tambahan standar khusus yang digunakan seperti API 5LD, API 5LC dan/atau DNV OS F101. Standar ini lebih mengkhhususkan beberapa persyaratan dan

pengujian untuk pipa dan metode manufaktur dari CLP dan MLP. (AS/NZS 2885.1:2018)

CLP dan MLP adalah dua jenis pipa baja yang digunakan untuk mengangkut fluida dalam industri minyak dan gas. Meskipun keduanya dirancang untuk menahan lingkungan yang keras dan menyalurkan cairan atau gas yang korosif, namun berbeda dalam konstruksi manufaktur dan bahan yang digunakan. Meskipun keduanya dirancang untuk menahan lingkungan yang keras dan menyalurkan cairan atau gas yang korosif, namun berbeda dalam konstruksi manufaktur dan bahan yang digunakan.

Pada Clad Line Pipe (CLP) terjadi ikatan antara lapisan paduan tahan korosi dengan pipa carbon steel secara metalurgi. Lapisan paduan tahan korosi (CRA) memberikan ketahanan terhadap korosi dan retakan, sementara pipa baja karbon memberikan kekuatan pendukung.

Pada Mechanical Line Pipe (MLP), Pipa Liner CRA dimasukkan kedalam pipa baja karbon kemudian dilakukan proses pengembangan pipa liner CRA sehingga celah diantara Pipa liner dengan pipa baja karbon relatif kecil dan memenuhi persyaratan yang diatur. Kemudian dibagian ujung dari pipa baja karbon dilakukan proses weld overlay untuk menutup batas antara Pipa liner supaya tidak terjadi kebocoran dan untuk memudahkan ketika proses penyambungan di bawah laut.

Berdasarkan laporan teknis proses manufaktur pipa penyalur (Firman:2021), proses pembuatan pipa penyalur tahan korosi memakai metode CLP memakan waktu lebih kurang 7 hari sampai dengan 14 hari untuk 1 batang pipa dengan diameter 10-12” dengan ketebalan pipa baja karbon 12.5 mm dan lapisan paduan tahan korosi 3 mm. Untuk pembuatan pipa penyalur sepanjang 1 kilo meter dengan alokasi mesin welding sebanyak 5 mesin. Maka dibutuhkan waktu 119 – 238 hari. Dari sini bisa ditarik kesimpulan kalau proses pembuatan Pipe penyalur tahan korosi dengan metode ini sangat tidak efektif kalau ditinjau dari waktu pembuatan. Berdasarkan uraian di atas, perlu dilakukan penelitian dalam rangka membandingkan ketahanan korosi dan waktu produksi antara metode CLP dan MLP.

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan diatas, maka perumusan masalah yang akan diangkat untuk mengarahkan penelitian ini yaitu:

1. Proses pembuatan Pipa CLP membutuhkan waktu pembuatan 7-14 hari. Sehingga mengakibatkan proses produksi minyak dan gas bumi menjadi terhambat / lebih lambat.

Yang pada akhirnya akan berpengaruh terhadap waktu ROI (return of investment) yang lebih lama. Proses pembuatan Pipa MLP bisa menjadi alternatif karena proses nya lebih cepat.

2. Perlu pembuktian bahwa daya tahan korosi dari MLP bisa sama dengan atau lebih baik dari CLP

Tujuan penulisan Tugas Akhir ini sebagai berikut.

1. Mengetahui perbandingan waktu pembuatan CLP dan MLP
2. Mengetahui perbandingan laju korosi dari CLP dan MLP ditinjau dari hasil Uji Korosi berdasarkan ASTM G48 Method A (Ferric Chloride Pitting Test) dengan nilai maksimum Maximum allowable weight loss: $\leq 4 \text{ g/m}^2/24 \text{ jam}$ (atau 0.17 mm/tahun).
3. Mengetahui keberadaan pitting corrosion dari hasil foto makro dari CLP dan MLP.

Dengan terselesaikannya Tugas Akhir ini diharapkan dapat menjadi bahan referensi dalam mendesain Pipa penyalur tahan korosi agar mendapatkan efisiensi waktu dan lolos kriteria laju korosi sesuai standar DNVGL-ST-F101 dan ASTM G48 Method A (Ferric Chloride Pitting Test) dengan nilai maksimum berat yang hilang yang diijinkan: $\leq 4 \text{ g/m}^2/24 \text{ jam}$ (atau 0.17 mm/tahun).

II. TINJAUAN PUSTAKA

Definisi Clad Line Pipe and Mechanical Line Pipe

Clad Line Pipes adalah perpaduan antara Pipa baja karbon atau pipa baja paduan rendah dengan lapisan CRA (Corrosion-Resistant Alloy) atau lapisan paduan tahan korosi dan menyatu secara metalurgi. Lapisan CRA akan menyatu secara metalurgi didalam internal dari Pipa baja karbon atau pipa dengan baja paduan rendah disebut sebagai logam dasar atau backing steel.

Lapisan CRA biasanya disebut sebagai bahan pelapis. Ini memberikan keuntungan ekonomis pada pipa berdiameter besar dan berat karena lapisan CRA yang relatif tipis tidak hanya mempertahankan sifat tahan korosi yang ditingkatkan tetapi juga mengurangi biaya hingga minimum. Pipa baja berlapis CRA secara luas digunakan dalam sistem transportasi pipa di industri minyak dan gas alam. Penggunaannya juga meluas pada aplikasi kelautan, pabrik kimia, pembangkit listrik, dan sebagainya.

MLP adalah jenis dari Pipa penyalur yang terdiri dari dua logam yang berbeda yang digabungkan secara mekanikal ekspan. Pipa bagian luarnya adalah pipa baja karbon dan pipa bagian

dalam nya yang lebih tipis adalah Pipa dengan material tahan korosi atau yang lebih dikenal dengan sebutan CRA (Corrosion resistant alloy). Pipa CRA akan memberikan ketahanan yang diinginkan sedangkan pipa bagian luar akan memberikan kekuatan dan ketangguhan. Kedua material ini digabungkan dan diertatkan secara mekanikal dengan proses ekspan. Kemudian di bagian kedua ujung pipa dilakukan proses weld overlay untuk memepermudah penyambungan ketika pemasangan pipe penyalur.

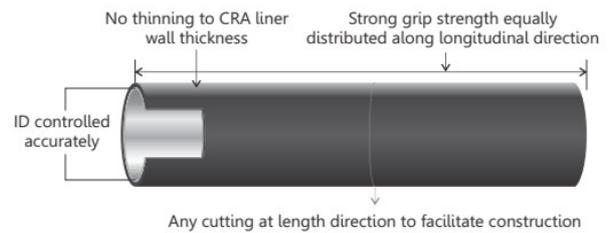
Perbedaan utama dari CLP dan MLP adalah material yang digunakan pada bagian lapisan dalam pipa serta proses produksi dari kedua material tersebut. Secara garis besar, berikut ini adalah perbandingan antara CLP dan MLP:

Clad Pipe:

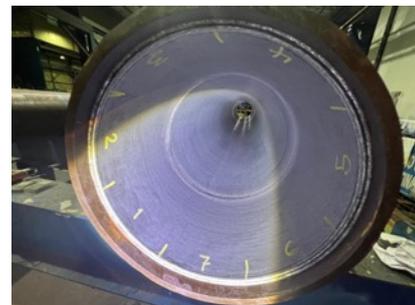
- Menggunakan paduan tahan korosi atau lebih dikenal dengan *corrosion-resistant alloy* (CRA) sebagai material lapisan yang secara metalurgi menyatu antara CRA dengan Pipa baja karbon sebagai *backing Pipe*.
- Ikatan yang terjadi antara CRA dengan Pipa baja karbon bisa melalui proses *Explosion Bonding*” atau dengan proses pengelasan atau yang lebih sering dikenal sebagai *weld overlay*”.
- Cocok untuk dioperasikan di temperature tinggi dan juga tekanan tinggi
- Kendala proses produksi memerlukan tenaga kerja yang memilii skill tinggi. Misalkan welding operator.

Lined Pipe:

- Untuk bagian lapisan dalam, lebih banyak menggunakan non metalik material seperti PTFE, rubber, glass, or fiber-reinforced plastic (FRP). Tetapi dalam kajian ini, Penulis menggunakan Corrosion Rensitive alloy sebagai bagian dari inner pipe nya atau lebih dikenal sebagai *Liner*.
- Ikatan yang terjadi antara Pipa CRA dengan Pipa Baja karbon (Backing Pipe) adalah secara mekanikal. Bisa menggunakan Lem perekat ataupun tidak.
- Bisa dioperasikan di temperature tinggi dan juga tekanan tinggi. Tetapi untuk MLP yang menggunakan non logam, hanya bisa dioperasikan di tempat dengan kondisi teperature dan tekanan rendah.
- Memungkinkan terjadinya kebocoran disambungan antara liner pipe dengan baja karbon terutama pada ujung pipa. (<http://tiptopm.com/news/shownews128.html>)



Gambar Mechanical Line Pipe



Gambar Clad Line Pipe

III. PERANCANGAN PERCOBAAN

3.1 Variabel Penelitian

Variabel bebas dan variabel terikat dalam penelitian ini tercantum dalam Tabel 3.1

Tabel 3. 1 Variabel Penelitian

Variabel Bebas	Variabel Terikat
Jenis Metode Pembuatan Pipa Penyalur Tahan Korosi MLP dan CLP	Waktu Proses
	Laju Korosi
	Foto Makro

3.2 Rancangan Percobaan

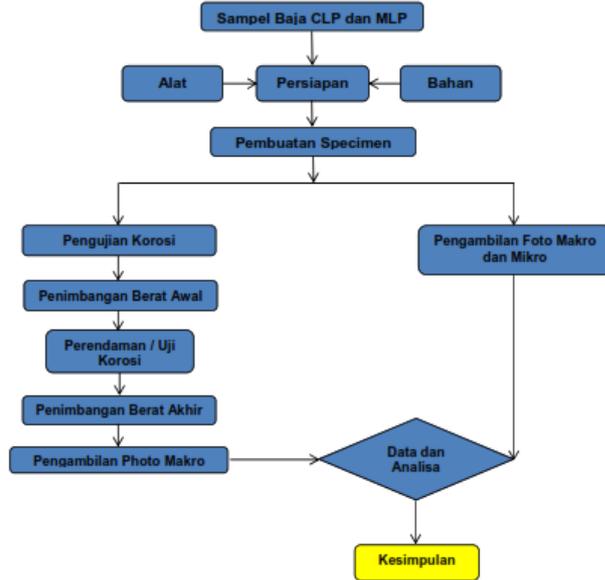
Rancangan percobaan dalam penelitian ini, ditampilkan dalam Tabel 3.2

Tabel 3. 2 Rancangan Percobaan

No. sampel	CLP			MLP		
	Berat Awal	Berat Akhir	Photo Makro	Berat Awal	Berat Akhir	Photo Makro
1	CA01	CB01	CF01	MA01	MB01	MF01
2	CA02	CB02	CF02	MA02	MB02	MF02
3	CA03	CB03	CF03	MA03	MB03	MF03
4	CA04	CB04	CF04	MA04	MB04	MF04
5	CA05	CB05	CF05	MA05	MB05	MF05
Parameter Uji Korosi		Weight Loss $\leq 4 \text{ g/m}^2/24 \text{ jam}$ (atau 0.17 mm/tahun)				

3.3 Prosedure Percobaan

Prosedur percobaan dalam penelitian ini, ditampilkan dalam gambar 3.1



Gambar 3. 1 Diagram prosedur Percobaan

3.4 Alat dan Bahan

Alat dan bahan penelitian yang digunakan penulis untuk melakukan pengujian korosi adalah sebagai berikut:

Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam pengujian korosi adalah alat alat yang digunakan untuk proses persiapan bahan sampel uji korosi sampai dengan peralatan yang digunakan ketika proses uji korosi sampai dengan selesai pengujian korosi. Peralatan pengujian yang digunakan ditampilkan dalam tabel 3.3

Tabel 3. 3 Peralatan Pengujian Korosi

No	Nama Alat	Jumlah Alat (unit)	Keterangan
1	Caliper digital / Jangka sorong digital	1	
2	Timbangan Digital dengan tingkat presisi 3 digit belakang koma	1	
3	Microscope	1 Set	
4	Camera	1	
5	Oven Listrik dengan Pengatur Temperatur	1 Set	
6	Glass Cradle	1	
7	Glassware corrosion	1	

Bahan-bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam pengujian korosi adalah alat alat yang digunakan untuk proses persiapan bahan sampel uji korosi sampai dengan peralatan yang digunakan ketika proses uji korosi sampai dengan selesai pengujian korosi. Peralatan pengujian yang digunakan ditampilkan dalam tabel 3.4

Tabel 3. 4 Bahan Bahan Pengujian Korosi

No	Nama Alat	Jumlah Alat (unit)	Keterangan
1	CLP Test Coupon Ukuran 50 mm x 25 mm	5	
2	MLP Test Coupon Ukuran 50 mm x 25 mm	5	
3	Kertas Amplas 120 Mesh	1	
4	Acetone	1	
5	Cairan Pickling HNO3 dan HF	1	
6	Larutan Ferric chloride	1	
7	Tissue	1	
8	Sarung Tangan Karet	1	

Pengujian

Prosedur pengujian korosi yang dilakukan adalah *Ferric Chloride Pitting Test* berdasarkan standar ASTM G48 Metode A edisi tahun 2015.

IV. PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan waktu pembuatan Pipa Penyalur metoda CLP

Perhitungan waktu pembuatan Pipa penyalur dengan metoda CLP dapat diketahui dengan cara melakukan pengamatan secara langsung proses produksi dan melakukan wawancara beberapa pekerja yang terlihat secara langsung. Selain pengamatan secara langsung, Penulis juga membandingkan hasil hasil yang bisa didapatkan melalui rumus perhitungan seperti proses welding. Proses welding bisa diperkirakan waktu nya dengan menggunakan rumus heat input ataupun dengan pengamatan secara langsung. Data data pembuatan CLP tercantum dalam table 4.1.

No	Tahapan pekerjaan	Metode pengambilan data	Waktu Pengerjaan		
			Menit	Jam	Hari
1	Release from Store CS Pipe	Pengamatan Langsung	20	0.3	0.01
2	Incoming Inspection	Pengamatan Langsung	60	1.0	0.04
3	Cutting Plan (If Any)	Pengamatan Langsung	0	0.0	0.00
4	Blasting	Pengamatan Langsung	30	0.5	0.02
5	Visual Inspection (After Blasting)	Pengamatan Langsung	40	0.7	0.03
6	Ultrasonic Thickness gauging before Weld Overlay	Pengamatan Langsung	60	1.0	0.04
7	Weld Overlay	Pengamatan Langsung	10080	168.0	7.00
8	Final Machining 100-150mm	Pengamatan Langsung	420	7.0	0.29
9	Ultrasonic Thickness gauging After Weld Overlay	Pengamatan Langsung	60	1.0	0.04
10	Liquid Penetrant Testing(1)	Pengamatan Langsung	300	5.0	0.21
11	Manual Ultrasonic Transverse & Longitudinal	Pengamatan Langsung	180	3.0	0.13
12	Ultrasonic Testing LD (1)	Pengamatan Langsung	120	2.0	0.08
13	Radiographic Testing (1) Both End 100-150mm	Pengamatan Langsung	180	3.0	0.13
14	CRA overlay thk check Both End	Pengamatan Langsung	20	0.3	0.01
15	FDC + Magnetism + CRA Thickness 20.50mm	Pengamatan Langsung	60	1.0	0.04
16	FVI Inspections By Borescope + Marking	Pengamatan Langsung	120	2.0	0.08
17	Packing + IRN + MRB	Pengamatan Langsung	40	0.7	0.03
18	Release for shipment from Storage	Pengamatan Langsung	30	0.5	0.02
Total Time			11740	197.0	8.21

4.2 Perhitungan waktu pembuatan Pipa Penyalur metoda MLP

Perhitungan waktu pembuatan Pipa penyalur dengan metoda LP lebih kompleks dibandingkan dengan Metode CLP hal ini dikarenakan tahapan pekerjaan dalam proses MLP lebih banyak tahapan pekerjaan nya dibandingkan dengan CLP. Namun pada kenyataannya waktu yang pengerjaan dari tiap tahapan sangatlah sebentar/cepat. Karena itu ketika dikalkulasikan secara menyeluruh, waktu yang dibutuhkan untuk memproduksi satu batang pipa MLP kurang dari 2 hari. Secara garis besar ada dua tahapan proses yang mendasar. Yang pertama adalah proses produksi Pipa liner dan tahapan proses produksi MLP (Assembli dengan Pipa Liner). Adapun detail waktu pengerjaan dari tiap tahapan bisa dilihat secara detail di tabel 4.2 and tabel 4.3

No	Tahapan pekerjaan	Metode pengambilan data	Waktu Pengerjaan		
			Menit	Jam	Hari
1	Release from Store CS Pipe	Pengamatan Langsung	15	0.25	0.01
2	Incoming Inspection	Pengamatan Langsung	45	0.75	0.03
3	Cutting Plan	Pengamatan Langsung	30	0.50	0.02
4	De coil	Pengamatan Langsung	25	0.42	0.02
5	CRA Strip Inspection & UT Thk Check	Pengamatan Langsung	30	0.50	0.02
6	Crimping	Pengamatan Langsung	30	0.50	0.02
7	Cold Forming	Pengamatan Langsung	30	0.50	0.02
8	PAW	Pengamatan Langsung	40	0.67	0.03
9	Liner Calibration (Go No Go)	Pengamatan Langsung	20	0.33	0.01
10	Visual Inspection bore scope	Pengamatan Langsung	30	0.50	0.02
11	Liner Repair - Visual Imperfection (If Any)	Pengamatan Langsung	60	1.00	0.04
12	Liner Cold Cutting	Pengamatan Langsung	30	0.50	0.02
13	CRA Liner Pipe Thickness check	Pengamatan Langsung	30	0.50	0.02
14	Blasting	Pengamatan Langsung	20	0.33	0.01
15	Liner Re Calibration (Go No Go)	Pengamatan Langsung	20	0.33	0.01
16	DRT on Liner Long Seam Weld	Pengamatan Langsung	30	0.50	0.02
17	Liner Repair - Sub Surface Imperfection	Pengamatan Langsung	40	0.67	0.03
18	FDC	Pengamatan Langsung	20	0.33	0.01
Total Time			545.00	9.08	0.38

No	Tahapan pekerjaan	Metode pengambilan data	Waktu Pengerjaan		
			Menit	Jam	Hari
1	Release from Store CS Pipe	Pengamatan Langsung	20	0.33	0.01
2	Incoming Inspection	Pengamatan Langsung	60	1.00	0.04
3	Liner Pipe Cutting to Length	Pengamatan Langsung	30	0.50	0.02
4	Chamfering and Grinding (Liner)	Pengamatan Langsung	30	0.50	0.02
5	CRA Liner Pipe Thickness Check after Ground Flushed	Pengamatan Langsung	30	0.50	0.02
6	CS ID Blasting	Pengamatan Langsung	30	0.50	0.02
7	Visual Inspection (After Blasting)	Pengamatan Langsung	40	0.67	0.03
8	Telescopic Assembly	Pengamatan Langsung	30	0.50	0.02
9	Ends Expansion	Pengamatan Langsung	30	0.50	0.02
10	Temporary Transition Weld	Pengamatan Langsung	50	0.83	0.03
11	Vacuum and Laser Welding	Pengamatan Langsung	40	0.67	0.03
12	High Pressure Expansion + Hydrotest	Pengamatan Langsung	60	1.00	0.04
13	Cut Back of Liner	Pengamatan Langsung	45	0.75	0.03
14	Ends Expansion (If required) Gap Checking	Pengamatan Langsung	20	0.33	0.01
15	UT Thickness Check - Cut Back	Pengamatan Langsung	30	0.50	0.02
16	Transition Weld + Weld Overlay on Pipe Ends 100-150mm	Pengamatan Langsung	450	7.50	0.31
17	Liner Ends Expansion (If required)	Pengamatan Langsung	10	0.17	0.01
18	Clad Ends Calibration (If Applicable)	Pengamatan Langsung	10	0.17	0.01
19	Final Machining 100-150mm	Pengamatan Langsung	420	7.00	0.29
20	Radiographic Testing (1)	Pengamatan Langsung	180	3.00	0.13
21	Liquid Penetrant Testing(1)	Pengamatan Langsung	40	0.67	0.03
22	Ultrasonic Testing LD (1)	Pengamatan Langsung	30	0.50	0.02
23	Manual Ultrasonic Transverse & Longitudinal	Pengamatan Langsung	60	1.00	0.04
24	ECT- Liner Long Seam Weld(1)	Pengamatan Langsung	60	1.00	0.04
25	CRA Liner thk check 4 loc closed to FDC + Magnetism + CRA Thickness 20, 50mm	Pengamatan Langsung	30	0.50	0.02
26	Black Varnish & Color Coding	Pengamatan Langsung	40	0.67	0.03
27	Black Varnish & Color Coding	Pengamatan Langsung	30	0.50	0.02
28	FVI Inspections By Borescope + Marking	Pengamatan Langsung	60	1.00	0.04
29	Packing + IRN + MRB	Pengamatan Langsung	30	0.50	0.02
Total Time			1995.00	33.25	1.39

4.3 Perbandingan waktu pembuatan Pipa Penyalur metoda CLP & MLP

Dari perbandingan kedua proses antara CLP dan MLP, ada komponen yang paling lama proses pengerjaannya. Tahapan pekerjaan yang paling lama adalah proses manufaktur, contohnya weld overlay.

Sedangkan proses MLP tidak memerlukan weld overlay sepanjang pipa melainkan hanya dibagian ujung dari pipa sejauh 100-150 mm. Karena itu proses weld overlay yang dilakukan lebih sedikit juga lebih sebentar waktu pengerjaannya.

Selain itu, Proses MLP memerlukan waktu tambahan untuk fabrikasi Pipa Liner ayng tentunya memakan waktu tersendiri yang tidak dijumpai prosesnya di CLP. Dari perbedaan waktu pengerjaan proses welding, didapatkan perbedaan yang cukup jauh yang mengakibatkan proses pengerjaan CLP menjadi lebih lama dibandingkan dengan MLP. Apabila perbandingan hanya berdasarkan proses weld overlay, maka didapatkan perbandingan sebesar 80:1. Akan tetapi karena banyaknya proses proses manufaktur ataupun proses pengecekan pada proses MLP mengakibatkan perbandingan proses antara MLP dengan CLP menjadi lebih kecil.

Perbandingan waktu pembuatan Pipa penyalur CLP dan MLP bisa dilihat di tabel 4.4

Tahapan	CLP (hari)	MLP (hari)
Preparation	0.06	0.18
Manufacturing Process	8.38	0.24
NDT and Final Inspection	0.77	1.07
Total	9.21	1.49

Dari tabel diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa waktu pembuatan pipa penyalur CLP enam kali lebih lama dibandingkan dengan pembuatan pipa penyalur dengan metoda MLP dengan perbandingan 6.2 : 1.

4.4 Hasil Pengujian Korosi

Specimen uji korosi diambil dari sampel material MLP dengan standar API 5L X65 QOS + FD + Lined 825 + End 625 W.O; 250 mm OD; 20.62 Min Clad WT: 3.0; Weld overlay 100 mm.

Pengujian Korosi terdiri dari 4 tahapan utama yaitu Persiapan spesimen uji, Penimbangan spesimen sebelum uji korosi, Uji korosi (Perendaman), Penimbangan setelah uji korosi.

Persiapan spesimen dimulai dengan pemotongan sampel, sampai dipotong dengan

ukuran 25 x 50 cm lalu dilakukan proses poles dengan amplas ukuran 120 mesh. Sampel kemudian dibersihkan dengan air, setelah itu dibersihkan lagi dengan acetone dan kemudian dikeringkan diudara terbuka. Sampel kemudian dipikling dalam larutan Nitric Acid pada suhu 60 derajat Celsius selama 5 menit dan di passivated selama 24 jam. Setelah proses "Passivated", dilakukan pengukuran spesimen dan juga penimbangan spesimen dengan masing masing spesimen dilakukan lima kali penimbangan.

Data data hasil penimbangan berat spesimen sebelum uji korosi bisa dilihat di table 4.5 sedangkan data hasil penimbangan berat spesimen setelah uji korosi bisa dilihat di tabel 4.6

Tabel 4. 5 Data hasil penimbangan sebelum Uji Korosi CLP dan MLP

No	Jumlah Spesimen	Data Penimbangan Sebelum Test					
		1	2	3	4	5	Average
1	CLP #1	14,199	14,199	14,199	14,199	14,199	14,1990
2	CLP #2	14,584	14,585	14,585	14,585	14,585	14,5848
3	CLP #3	17,797	17,797	17,797	17,797	17,797	17,7970
4	CLP #4	15,715	15,715	15,715	15,715	15,715	15,7150
5	CLP #5	16,922	16,922	16,922	16,922	16,922	16,9220
6	MLP #1	28,000	28,000	27,999	28,000	28,000	27,9998
7	MLP #2	28,620	28,620	28,620	28,619	28,620	28,6198
8	MLP #3	29,605	29,606	29,605	29,605	29,605	29,6052
9	MLP #4	29,256	29,256	29,256	29,256	29,256	29,2560
10	MLP #5	29,778	29,779	29,779	29,779	29,779	29,7788

Tabel 4. 6 Data hasil penimbangan Setelah Uji Korosi CLP dan MLP

No	Jumlah Spesimen	Data Penimbangan Setelah Test					
		1	2	3	4	5	Average
1	CLP #1	14,197	14,198	14,198	14,197	14,197	14,1974
2	CLP #2	14,584	14,584	14,584	14,583	14,584	14,5838
3	CLP #3	17,795	17,795	17,795	17,795	17,796	17,7952
4	CLP #4	15,713	15,713	15,713	15,714	15,713	15,7132
5	CLP #5	16,919	16,920	16,920	16,920	16,920	16,9198
6	MLP #1	27,998	27,998	27,999	27,998	27,998	27,9982
7	MLP #2	28,617	28,617	28,617	28,617	28,617	28,6170
8	MLP #3	29,603	29,603	29,603	29,603	29,603	29,6030
9	MLP #4	29,255	29,256	29,256	29,256	29,256	29,2558
10	MLP #5	29,777	29,776	29,777	29,776	29,776	29,7764

Dari data hasil pengukuran dan penimbangan, kemudian dilakukan pengolahan data supaya bisa didapatkan berat masa yang hilang dan juga laju korosi yang sesuai dengan data. Data perhitungan laju korosi untuk masing masing spesimen, bisa dilihat di tabel 4.7 dan tabel 4.8.

Tabel 4. 7 Perhitungan laju korosi sampel CLP

No	Data specimen	CLP #1	CLP #2	CLP #3	CLP #4	CLP #5
1	Surface Area (mm ²)	2736,55	2817,11	2801,96	2787,73	2790,54
2	Surface Area (cm ²)	27,3655	28,1711	28,0196	27,8773	27,9054
3	Weight Lost sample (Gr)	0,0016	0,001	0,0018	0,0018	0,0022
4	Mass Loss Corrosion rate (Gr/m ² /24 h)	0,585	0,355	0,642	0,646	0,788
5	Konstanta (K)	87600	87600	87600	87600	87600
6	Density (g/cm ³)	8,44	8,44	8,44	8,44	8,44
7	Corrosion Rate (mm/y)	0,025	0,015	0,028	0,028	0,034

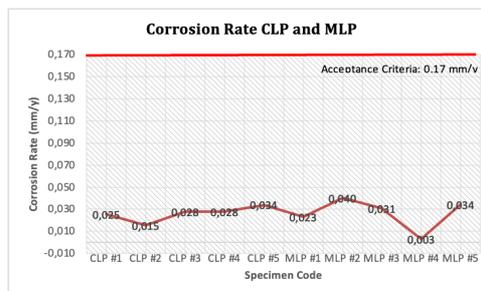
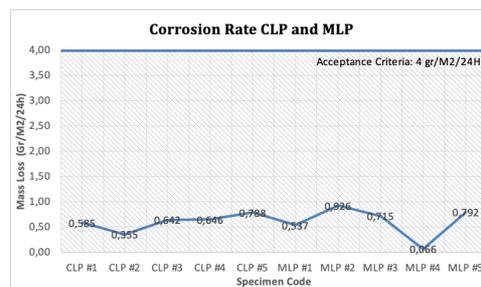
Tabel 4. 8 Perhitungan laju korosi sampel MLP

No	Data specimen	MLP #1	MLP #2	MLP #3	MLP #4	MLP #5
1	Surface Area (mm ²)	2980,87	3024,02	3077,35	3015,42	3030,46
2	Surface Area (cm ²)	29,8087	30,2402	30,7735	30,1542	30,3046
3	Weight Lost sample (Gr)	0,0016	0,0028	0,0022	0,0002	0,0024
4	Mass Loss Corrosion rate (Gr/m ² /24 h)	0,537	0,926	0,715	0,066	0,792
5	Konstanta (K)	87600	87600	87600	87600	87600
6	Density (g/cm ³)	8,44	8,44	8,44	8,44	8,44
7	Corrosion Rate (mm/y)	0,023	0,040	0,031	0,003	0,034

Dari data hasil pengukuran dan penimbangan, kemudian dilakukan pengolahan data supaya bisa didapatkan berat masa yang hilang dan juga laju korosi yang sesuai dengan data. Data perhitungan laju korosi untuk masing masing spesimen, bisa dilihat di tabel 4.7 dan tabel 4.8.

Tabel 4. 9 Perbandingan hasil uji korosi metoda CLP dan MLP

No.	CLP			MLP			
	Berat Awal (Gr)	Berat Akhir (Gr)	Laju Korosi (mm/Tahun)	Berat Awal (Gr)	Berat Akhir (Gr)	Laju Korosi (mm/Tahun)	
1	14.1990	14.1974	0.025	27.9998	27.9982	0.023	
2	14.5848	14.5838	0.015	28.6198	28.6170	0.040	
3	17.7970	17.7952	0.028	29.6052	29.6030	0.031	
4	15.7150	15.7132	0.028	29.2560	29.2558	0.003	
5	16.9220	16.9198	0.034	29.7788	29.7764	0.034	
Rata rata Laju Korosi			0.026	Rata rata Laju Korosi			0.026
Parameter Uji Korosi: Weight Loss ≤ 4 g/m ² /24 jam (atau 0.17 mm/tahun)							



Dari tabel 4.9 dan chart diatas dapat kita lihat bahwa hasil rata rata laju korosi dari beberapa spesimen MLP, didapatkan informasi bahwa rata rata laju korosi lebih dari kriteria uji korosi dengan kata lain nilai uji korosi yang didapatkan dibawah dari 0.17 mm/tahun. Kenapa ini bisa terjadi, Penulis memberikan beberapa analisa bahwa Laju korosi MLP seharusnya memang tidak jauh berbeda dengan CLP dikarena material CRA yang sama juga karena semua proses produksi termasuk juga proses pengecekan telah dilakukan dengan baik dan telah lolos kriteria dari masing masing tahapan proses produksi. Kegagalan / ketidak lolosan kriteria disetiap tahapan produksi, akan mengakibatkan kegagalan diproses pengujian merusak dan juga

pengujian korosi. Contoh yang bisa dilihat adalah seperti proses weld overlay alloy 625 (Inconel). Apabila proses weld overlay tidak dikontrol dengan baik maka ada kemungkinan terjadinya dilution dari Fe diarea “fusion zone / Dilution Zone”. Fe dari base metal bisa masuk ke area dilution zone bahkan bisa mempengaruhi unsur kimia dari Weld overlay. Dengan naiknya kandungan Fe di area dilution zone memungkinkan terjadinya kegagalan ketika proses pengujian korosi karena tingkat Fe yang tinggi di spesimen uji korosi.

Sama halnya ketika proses weld overlay Stainless steel. Proses welding harus dikontrol dan diharapkan bisa secepat mungkin supaya menghindari pendinginan lambat sehingga proses dilution lebih sedikit terjadi. Ada salah satu kriteria yang sangat dikontrol ketika melakukan proses weld overlay SS-316L yaitu jumlah maksimum dari Ferrite number. Beberapa klien mensyaratkan maksimum ferrite number 5%, hal ini untuk menjaga struktur austenite tetap terbentuk. Dengan tingginya ferrit didalam material SS 316L akan mengakibatkan material lebih mudah terjadinya korosi.

4.5 Hasil Pengujian Mikroskop Optik (Photo Makro dan Mikro)

a. Foto Makro

Ada dua pengambilan photo makro yang dilakukan. Pengambilan foto makro pada sampel uji korosi dan pengambilan foto makro pada spesimen yang disiapkan khusus untuk uji makro. Tujuan pengambilan photo makro pada sampel Uji korosi adalah untuk memastikan tidak adanya cacat pitting terutama setelah proses uji korosi. Sedangkan sampel khusus uji makro dimaksudkan untuk memastikan tidak adanya cacat pengelasan seperti “lack of fusion atau lack of penetration”

Berikut adalah sampel photo makro yang diambil sebelum dan sesudah Uji korosi pada nomer sampel sbb: CT717-MLP-001-00079 (HN 192914) CT717-825-623-0300-00851 (HN 512486) MLP #1. bisa dilihat di table 4.7

Berdasarkan hasil foto makro dibawah, tidak ditemukan adanya penampakan dari pitting pada permukaan spesimen setelah uji korosi, baik dari permukaan atas ataupun permukaan bagian bawahnya. Dengan demikian dapat disimpulkan kalau pengujian foto makro telah lolos uji kriteria.

Tabel 4. 10 Hasil Uji Makro pada MLP setelah uji korosi

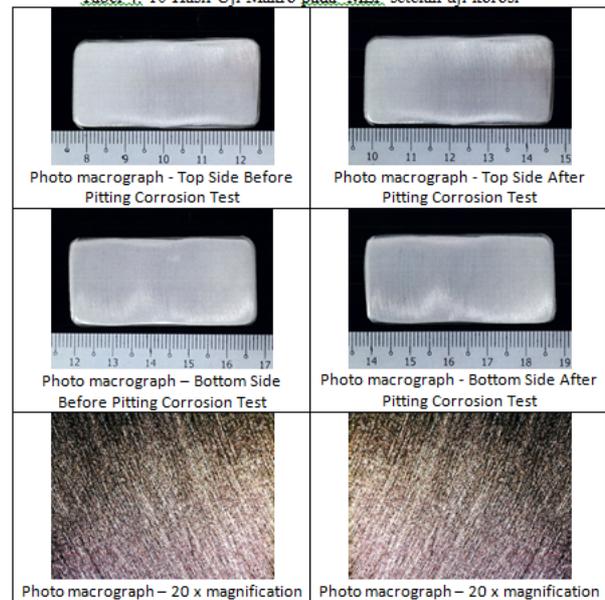


Foto makro juga diambil pada spesimen yang sudah dilakukan uji kekerasan dengan pembesaran 5x pembesaran, dengan tujuan untuk memastikan apakah ada cacat welding dan juga untuk memastikan ketebalan dari CRA yang disyaratkan. Sample ID: CT717-MLP-001-00136 (HN 192917); CT717-825-623-0300-01051 (HN 512620); Lokasi pengambilan sampel untuk foto makro dibawah adalah sbb:



Gambar 4. 3 Foto makro 10x pembesaran – Transition Weld

Etching solution for carbon & High alloy steel: [Ratio HCl:HN03:H2O runs 2:1:1].
Etching solution for Nickel & Nickel alloy: [Ratio HN03:H2O 1:1].



Gambar 4. 4 Foto makro 10x pembesaran – Liner Long seam weld

Etching solution for Nickel & Nickel alloy: [Ratio HN03:H2O 1:1].



Gambar 4. 5 Foto makro 10x pembesaran – Weld overlay (Orientasi 0°)

Etching solution for carbon & High alloy steel: [Ratio HCl:HN03:H2O runs 2:1:1].
Etching solution for Nickel & Nickel alloy: [Ratio HN03:H2O 1:1].



Gambar 4. 6 – Foto makro 10x pembesaran – Weld overlay (Orientasi 120°)

Etching solution for carbon & High alloy steel: [Ratio HCl:HN03:H2O runs 2:1:1].
Etching solution for Nickel & Nickel alloy: [Ratio HN03:H2O 1:1].



Gambar 4. 7 Foto makro 10x pembesaran – Weld overlay (Orientasi 240°)
Etching solution for carbon & High alloy steel: [Ratio HCl:H₂SO₄:H₂O runs 2:1:1].
Etching solution for Nickel & Nickel alloy: [Ratio HNO₃:H₂O 1:1].

Berdasarkan hasil foto makro diatas, tidak ditemukan adanya penampakan dari cacat welding seperti “lack of fusion atau Lack of penetration” memang pada beberapa foto diatas ada bagian gelap antara Baja Karbon dan CRA itu disebabkan perbedaan kedalaman akibat proses etsa.

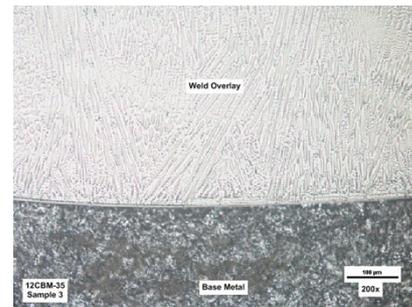
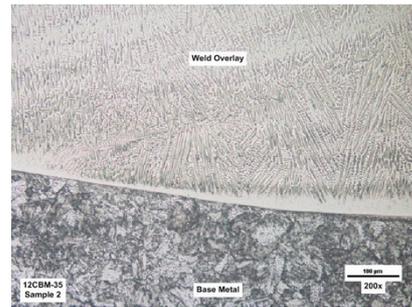
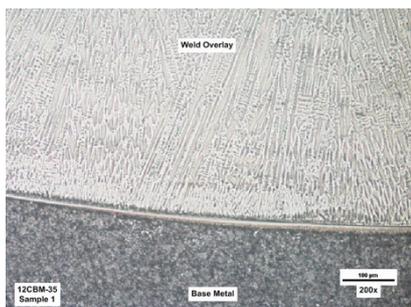
b. Foto Mikro

Pengujian foto mikro dilakukan pada beberapa spesimen dengan maksud dan tujuan tertentu. Total ada 8 buah spesimen untuk pengujian mikro. 3 diantaranya adalah untuk pengecekan ketebalan dari CRA pada tahap akhir. Dan lima sampel dikhususkan untuk pengujian mikro dengan maksud untuk memastikan tidak adanya fasa sigma (Sigma Phase) dan fasa intermetallic (Intermetallic Phase) antara CRA Weld overlay/Liner dan Baja karbon. Kriteria dari foto mikro yang disaratkan oleh standar dan permintaan klien adalah tidak adanya Sigma phase dan Intermetallic phase.

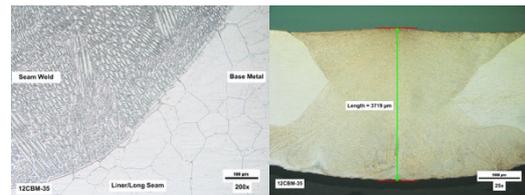
Berikut adalah sampel photo mikro yang diambil dari MLP dengan identifikasi no: CT717-MLP-001-00136 (HN 192917); CT717-825-623-0300-01051 (HN 512620); Lokasi pengambilan sampel untuk masing masing foto mikro dibawah adalah sbb:



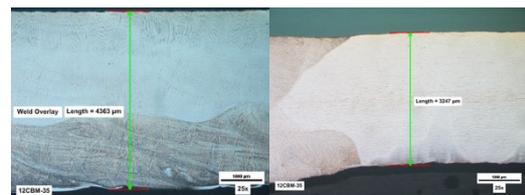
Gambar 4. 8 - Foto mikro 200x pembesaran – Triple Point / transition Weld



Gambar 4. 9 - Foto mikro 200x pembesaran – Weld overlay (Orientasi 0,120,240°)



Gambar 4. 10 Foto mikro 200x pembesaran – Liner Longseam Weld



Gambar 4. 11 Foto mikro 25x pembesaran –CRA Liner and Weld Overlay

Pada gambar foto mikro diatas gambar 4.6 ~ gambar 4.9 tidak terlihat adanya intermetallic phase ataupun sigma phase. Sedangkan pada bagian gambar 4.10~ gambar 4.11, kita mendapatkan informasi ketebalan weld overlay sebesar 4.36 mm, ketebalan dari liner CRA 3.247 mm dan ketebalan dari Liner longseam weld adalah 3.719 mm. dari photo mikro tersebut juga tidak terlihat adanya intermetallic phase and sigma phase. Dengan demikian, foto mikro dari beberapa spesimen diatas sudah lolos kriteria.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengujian korosi dan pengamatan secara langsung proses produksi CLP dan MLP maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

Kesimpulan:

1. Waktu pembuatan pipe penyalur dengan metoda MLP lebih cepat daripada Metoda CLP dengan perbandingan 6.2:1.
2. Hasil dari Pengujian korosi dari beberapa sampel yang diambil dari MLP menunjukkan hasil memuaskan dan lolos uji korosi dengan Berat yang hilang dibawah $\leq 4 \text{ g/m}^2/24 \text{ jam}$.
3. Hasil dari pengujian korosi dari beberapa sampel yang diambil dari MLP juga menunjukkan hasil laju korosi yang memuaskan yaitu dibawah dari 0.17 mm/tahun.
4. Karakteristik dari Photo Makro menunjukkan bahwa tidak ada "pitting corrosion" yang terjadi setelah pengujian korosi.

Saran:

1. Perlu adanya pengujian lainnya (Pengujian Metalografi, Pengujian Mechanical, Pengujian Korosi lainnya) yang lebih komperhensive supaya didapatkan data secara menyeluruh untuk perbandingan antara CLP dan MLP.
2. Perlu adanya pengujian dengan variasi material CRA yang berbeda supaya didapatkan data yang lebih lengkap lagi.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ahmad, Zaky. 2006. *Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control* (1st ed.) Oxford. Elsevier
 - [2] API, 2020, *API Specification 5LD – CRA Clad or Lined Steel Pipe*, Washington: API Publishing Services.
 - [3] ASTM Committee G01, 2015, *G48 – Standard Test Methods for Pitting and Crevice Corrosion Resistance of Stainless Steels and Related Alloys by Use of Ferric Chloride Solution*, Pennsylvania: ASTM International.
 - [4] Asle Venås, Jens P. Tronskar. *Experience with Lined and Clad pipelines*. NACE.GENOA. October 2018
 - [5] Aur'elien P'epin, Tomasz Tkaczyk, Michael Martinez, Noel O'Dowd and Kamran Nikbin "Prediction of Liner wrinkling During High Strain Bending of Mechanically Lined Pipe" Paper Presented at 38th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering June 9th-14th, 2019, Glasgow, Scotland (Aur'elien P'epin, 2019)
 - [6] Daniel Vasilikis, Spyros A. Karamanos. "Mechanical behavior and wrinkling of lined pipes" nternational Journal of Solids and Structures. August 2012
 - [7] DNV GL, 2017, *DNVGL-ST-F101 – Submarine Pipeline Systems*, <http://www.dnvgl.com>, DNV GL AS.
 - [8] Fan, X., Wang, X., & Chen, Q. (2020). *Theoretical and numerical investigations of manufacturing bimetal CRA lined pipes using thermo-hydraulic forming*. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. <https://doi.org/10.1007/s10973-020-09699-4>.
 - [9] Fontana, Mars G.1987. *Corrosion Engineering: Third Edition*. Ohio: Mc-Graw Hill Book Company
 - [10] Heigl, Gernot & Pavlyk, Vitaliy & Aretov, Ivan & McCann, S..(2015). *A New Method of Producing Mechanically Lined Pipe Including Large Diameters*. 10.4043/26100-MS.
 - [11] Palmer, Andrew C., King, Roger. 2008. *Subsea Pipeline Engineering* (2nd ed.). Oklahoma. PennWell Corporation
 - [12] Xuesheng, W., Peining, L., & Ruzhu, W. (2004). *Estimation of residual contact pressure in hydraulically expanded CRAlinedpipe*. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 17(1), 598-601.
-