

Pengaruh Prematur *Curing* dan Persiapan Logam Baja Carbon Terhadap Daya Adhesi Pada Pengaplikasian *Multilayer Coat Epoxy* dan *Polyurethane*

Muhammad Andika Rizki¹

¹Program Studi Teknik Metalurgi, Fakultas Teknologi dan Desain, Institut Teknologi Sains Bandung
rizki.andikaa@hotmail.com

Abstrak

Baja karbon merupakan material yang memiliki komposisi utama berupa besi, sehingga rentan terhadap korosi ketika terpapar dengan lingkungan. Sifat besi yang reaktif menjadikan struktur baja dapat terdegradasi dengan cepat terutama bila berhadapan dengan lingkungan korosif yang memiliki kadar NaCl tinggi pada udara seperti di area lepas pantai atau di daerah pesisir. Untuk mengantisipasi degradasi yang terjadi pada baja, umumnya pencegahan dilakukan dengan melapisi baja dengan lapisan polimer yang berfungsi sebagai penghalang agar baja tidak memiliki kontak langsung dengan lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa kualitatif Pull-off test sistem coating epoksi berdasarkan karakteristik *dolly face* menunjukkan bahwa preparasi permukaan menghindari kegagalan pada lapisan primer. Membuktikan bahwa Pull-off test sistem coating epoksi berdasarkan karakteristik *dolly face* menunjukkan bahwa waktu curing mengurangi tingkat kegagalan antar lapisan, performa kuantitatif Pull-off test sistem coating epoksi berdasarkan nilai pull-off strength sampel dengan permukaan *prepared* dan *unprepared* berbanding lurus dengan waktu curing lapisan primer serta membuktikan *Degree of Cure* sistem coating epoksi berdasarkan analisa kuantitatif gugus amina *crosslinking* berbanding lurus dengan waktu curing lapisan primer.

Kata kunci: Baja karbon, korosi, epoksi, pelapisan baja, preparasi permukaan, kohesi, adhesi, cat.

Abstract

Carbon steel is a material that has a main composition of iron, making it susceptible to corrosion when exposed to the environment. The reactive nature of iron makes the steel structure quickly degrade, especially when dealing with corrosive environments that have high levels of NaCl in the air such as in offshore areas or in coastal areas. To anticipate the degradation that occurs in steel, prevention is generally carried out by coating the steel with a polymer layer that functions as a barrier so that the steel does not experience direct contact with the environment. This study aims to qualitatively analyze the Pull-off test of epoxy coating system based on the dolly face characteristics which shows that the surface preparation avoids the failure of the primary coating. Proving that Pull-off test of epoxy coating system based on dolly face characteristics shows that curing time reduces the failure rate between layers, quantitative performance of Pull-off test of epoxy coating system based on pull-off strength value of samples with prepared and unprepared surfaces is directly proportional to curing time of primary layer, and proving Degree of Cure of epoxy coating system based on quantitative analysis of crosslinking amine groups is directly proportional to curing time of primary layer.

Keywords: Carbon steel, corrosion, epoxy, electroplating, surface preparation, cohesion, adhesion, paint.

PENDAHULUAN

Sejak awal berkembangnya industri bangunan lepas pantai, jembatan dan jalur pipa hingga saat ini, terdapat banyak sektor industri yang mengandalkan kekuatan pondasinya dengan struktur menggunakan bahan baja karbon. Penggunaan baja karbon sendiri masih menjadi pilihan utama berdasarkan kekuatannya dan ketersediaan material yang mudah untuk didapatkan, namun baja karbon memiliki kelemahan pada masalah reaktifitasnya dengan lingkungan ketika digunakan sebagai pondasi struktur, dimana baja karbon merupakan material yang memiliki komposisi utama berupa besi, sehingga rentan terhadap korosi ketika terpapar dengan lingkungan. Sifat besi yang reaktif menjadikan struktur baja dapat terdegradasi dengan cepat terutama bila berhadapan dengan lingkungan korosif yang memiliki kadar NaCl tinggi pada udara seperti di area lepas pantai atau di daerah pesisir. Untuk mengantisipasi degradasi yang terjadi pada baja, umumnya pencegahan dilakukan dengan melapisi baja dengan lapisan polimer yang berfungsi sebagai penghalang agar baja tidak memiliki kontak langsung dengan lingkungan.

Sebagaimana penulis sampaikan pada paragraf sebelumnya, untuk mencegah agar dapat menghambat laju korosi pada struktur baja, maka dilakukan pelapisan permukaan terhadap permukaan baja yang biasanya menggunakan cat berbahan dasar *epoxy*, agar lapisan cat ini dapat melindungi permukaan baja dengan optimal, maka ada beberapa faktor penting yang akan mempengaruhi performa dari lapisan cat tersebut diantaranya adalah persiapan permukaan baja dan juga *curing time* dari material cat saat diaplikasikan terhadap permukaan baja, jika faktor-faktor penting tersebut tidak diperhatikan, performa dari cat tidak akan bekerja dengan maksimal dan dapat menyebabkan terjadinya kegagalan prematur yang menyebabkan struktur baja tidak terlindungi, kegagalan prematur akan berpengaruh besar terhadap usia dari struktur baja dikarenakan baja akan mengalami korosi dan dapat berakibat fatal pada struktur bangunan secara keseluruhan.

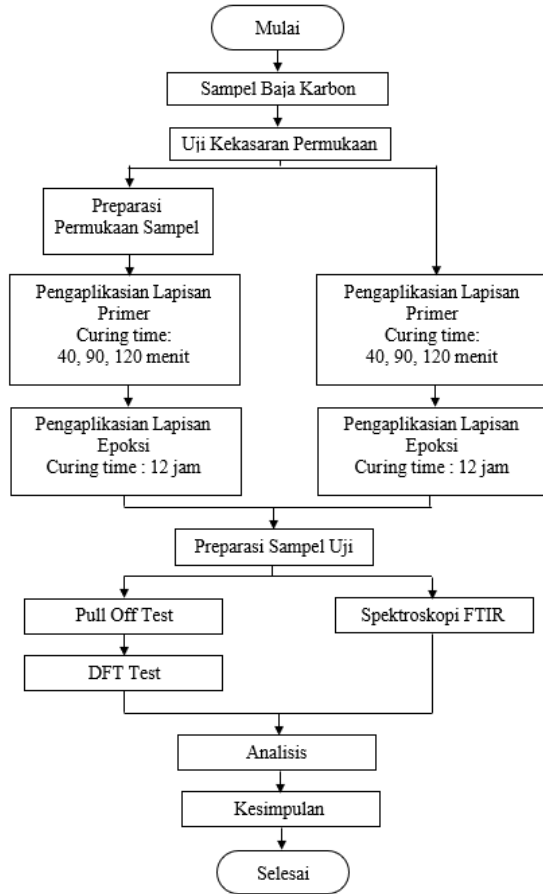
Berdasarkan studi, daya adhesi antara permukaan baja dan lapisan cat merupakan faktor penentu keberhasilan dalam proses pelapisan cat, dimana interferensi molekul antara permukaan baja dan cat menghasilkan daya adhesi yang diperoleh dari kekasaran permukaan baja. Dikarenakan permukaan yang kasar dan tidak merata, cat akan membasahi dan mengunci kedalam profil permukaan. Dari beberapa literatur yang penulis sunting, para ahli seringkali menganalogikan fakta ini dengan *velcro* pada pakaian, dimana permukaan yang kasar dan bersifat lebih keras akan mengunci cat yang berbentuk cairan.

Curing time, merupakan istilah yang digunakan pada industri pelapisan pencegahan korosi pada logam adalah proses dimana cairan cat membutuhkan waktu tunggu hingga perlakuan selanjutnya dapat dilakukan, cat yang kering tidak berarti *curing time* sudah tercapai. Monomer-monomer pada cat tersebut membutuhkan waktu untuk berpolimerisasi sehingga cat yang kering belum tidak berarti sudah membentuk ikatan polimer secara sempurna, terutama cat yang memiliki *volume solid* yang rendah. Kandungan pelarut dalam cat biasanya berkisar diantara 40%-55% dari volume keseluruhan cat itu sendiri, jika pelarut tidak berepavorasi secara sempurna maka pelarut akan terperangkap dan proses polimerisasi akan terhambat.

Penulis menjadikan penelitian ini sebagai landasan penentuan tugas akhir penulis karena berdasarkan beberapa kasus yang terjadi di lapangan dimana penulis bekerja, adanya kandungan pelarut yang terperangkap pada saat proses pengeringan cat dan adanya ketidak sempurnaan dalam melakukan persiapan permukaan dapat menyebabkan kegagalan prematur pada pelapisan struktur baja sehingga tujuan utama cat pelapis yang berfungsi sebagai pencegah korosi tidak dapat bekerja secara maksimal. Oleh karena itu penulis ingin membuktikan keterkaitan dari beberapa parameter seperti kekasaran dan kebersihan permukaan serta pengaplikasian antar lapisan dengan variabel waktu tunggu dan tingkat kekeringan cat saat melakukan aplikasi lapisan kedua.

METODOLOGI PENELITIAN

Diagram Alir



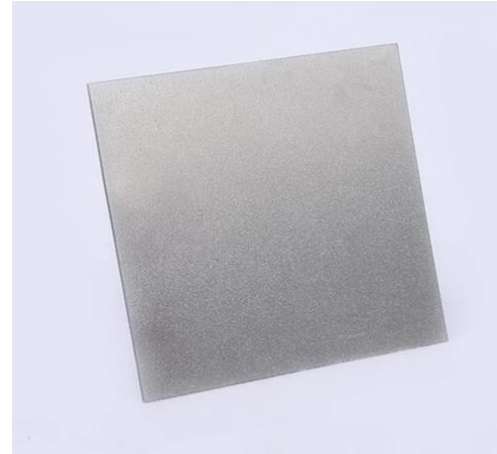
Sample Baja Karbon

Pada penelitian ini dibuat 6 buah sampel uji yang diberi penamaan berdasarkan perlakuan curing time terhadap sampel yang dapat dilihat pada **Tabel 3.1**.

Pelat baja karbon yang digunakan pada penelitian ini memiliki kode standar ISO 12944-5 berbentuk pelat dengan dimensi 30x30x10 cm dan dapat dilihat pada **Gambar 3.1**. Sampel yang digunakan merupakan standar material yang digunakan pada struktur bangunan lepas pantai. Pelat baja dengan permukaan rata ini yang nantinya disebut **Panel 1**, **Panel 2**, dan **Panel 3**, akan diberikan pelapisan dan diuji menggunakan metode Pull Off Test dan juga spektroskopi FTIR.

Tabel 3.1 Penamaan Sampel

Curing Time Primer (menit)	Prepared Surface	Unprepared Surface
40	P40	NP40
90	P90	NP90
120	P120	NP120



Gambar 3.1 Sampel Pelat Baja Karbon

Preparasi Permukaan Sampel

Proses preparasi permukaan sampel adalah serangkaian tahapan yang dilakukan untuk mempersiapkan sampel sebelum dilakukan penelitian atau analisis.

Tahap pertama yang dilakukan adalah pencucian menggunakan alkohol sebagai pelarut untuk menghilangkan kotoran seperti debu atau minyak pada permukaan. Pencucian ini dilakukan dengan menggunakan lap pembersih yang diberikan alkohol dan diusapkan pada permukaan sampel pelat secara merata. Dibiarkan sampel pelat untuk mengering pada udara terbuka selama sekitar 5-10 menit.

Tiga buah sampel yaitu **Panel 1**, **Panel 2**, dan **Panel 3** dibagi menjadi dua bagian yaitu,

- **Panel 1:** bagian kiri untuk **P40** dan bagian kanan untuk **NP40**
- **Panel 2:** bagian kiri untuk **P90** dan bagian kanan untuk **NP90**
- **Panel 3:** bagian kiri untuk **P120** dan bagian kanan untuk **NP120**. Sampel bagian **NP40**, **NP90**, dan **NP120**, tidak dilakukan preparasi sampel dan ditutup menggunakan masking tape.

Preparasi permukaan sampel dilakukan terhadap sampel **P40**, **P90**, dan **P120** dengan proses sandblasting untuk menghilangkan lapisan karat dan kotoran lainnya mengikuti standar visual ISO 8501-1.

Preparasi secara abrasif dilakukan dengan menembakkan partikel padat halus berupa GMA garnet dengan tekanan tinggi pada permukaan sampel sehingga terjadi gesekan dan mengikis. Setelah proses sandblasting dilakukan hingga terlihat permukaan sampel yang homogen, udara bertekanan tinggi disemprotkan untuk membersihkan dari sisa-sisa media blasting yang digunakan. Masking tape penutup **NP40**, **NP90**, dan **NP120** dilepaskan untuk membuka seluruh permukaan setiap panel.

Hasil dari preparasi permukaan dikonfirmasi dengan melihat kekasaran permukaan pelat baja menggunakan metode roughness measurement sebelum dan setelah proses *blasting*. Alat yang digunakan berupa *Mobile roughness measuring instrument* MarSurf PS 10 (sesuai ASTM D4417 *Method B*).

Pengaplikasian Lapisan Epoksi Primer

Pelapisan epoksi diaplikasikan terhadap sampel panel yang sudah disiapkan. Digunakan lapisan epoksi primer dengan merek Interzinc[®] 52 yang merupakan epoksi kaya kandungan seng yang memiliki kandungan sesuai SSPC Paint 20. Pencampuran epoksi dan curing agent dilakukan berdasarkan rekomendasi produsen produk.

Langkah pertama yang dilakukan terhadap pengaplikasian lapisan epoksi adalah mempersiapkan alat semprot atau spray gun untuk metode *airless* spray. Ukuran *spray gun tip* yang digunakan adalah 421 dimana angka 4 merupakan lebar kipas saat cat disemprotkan dalam satuan inci, sedangkan angka 21 merupakan diameter nozzle dalam satuan seperseribu inci, dengan tekanan 3,000psi.

Epoksi primer disemprotkan secara merata terhadap **Panel 1**, **Panel 2**, dan **Panel 3**. Dipastikan gerakan arah dan jarak yang konsisten untuk mendapatkan ketebalan lapisan yang homogen sekitar 75-125

microns mengikuti standar produsen produk. Terlihat produk lapisan primer akan memiliki warna abu-abu yang tidak memiliki kilau. Setelah lapisan epoksi diaplikasikan, permukaan dibiarkan mengering dan dicatat waktu curing time **Panel 1**, **Panel 2**, dan **Panel 3**, selama 40, 90, dan 120 menit secara berturut-turut untuk dilanjutkan tahap selanjutnya.

Pengaplikasian Lapisan Epoksi Top Coat

Metode pengaplikasian lapisan epoksi top coat juga menggunakan *airless* top coat juga menggunakan *airless* top coat juga menggunakan *airless* spray dengan ukuran *spray gun tip* yang digunakan adalah 524 dan tekanan 3,000psi. Digunakan epoksi top coat dengan merek Intergard 475HS yang merupakan two-step epoksi. Pencampuran epoksi dan curing agent dilakukan dengan perbandingan mengikuti rekomendasi produsen produk.

Pelapisan epoksi top coat merupakan tahap yang dilakukan setelah pengaplikasian primer dengan curing time yang berbeda. Sampel **Panel 1**, **Panel 2**, dan **Panel 3** langsung diaplikasikan lapisan epoksi top coat setelah waktu curing time masing-masing tercapai. Diberikan waktu untuk pengeringan lapisan epoksi selama 12 jam untuk setiap sampel. Dipastikan lapisan epoksi diaplikasikan secara merata dengan produk permukaan homogen yang mengkilap.

Pull Off Test

Lapisan yang sudah diberikan pada sampel akan diuji kekuatan perekatannya menggunakan Pull Off Test yang dilakukan berdasarkan standar ASTM D4541 kekuatan rekat coating menggunakan adhesion tester. Langkah-langkah yang dilakukan dalam melakukan Pull Off Test adalah sebagai berikut:

1. Persiapan Permukaan

Permukaan yang diuji harus dibersihkan terlebih dahulu untuk menghindari kegagalan pengujian yang diakibatkan oleh kotoran.

2. Pemilihan *loading fixture*

Fixture untuk pengujian coating pada substrat logam adalah menggunakan dolly berukuran standar 20mm.

3. Perekatan loading fixture

Perekatan dilakukan antara dolly dan juga permukaan sampel uji. Lem perekat yang digunakan berdasarkan standar adalah *two component epoxy* yang diberikan pada wajah dolly kemudian ditempelkan kepada sampel. Diberikan tekanan konstan terhadap dolly dan permukaan sampel. Waktu diberikan untuk perekat mengeras dan kering.

4. Pemasangan alat uji

Sebelum pemasangan alat uji, diberikan substrate ring untuk menahan beban yang akan diberikan alat. Kemudian dipasangkan alat uji kepada loading fixture.

5. Pemberian beban.

Pengujian dapat dimulai dengan pemberian beban secara perlahan dan bertahap hingga terjadi pelepasan antara dolly dan permukaan sampel.

6. Pencatatan hasil kuantitatif dan kualitatif pengujian

Catat beban maksimum yang diberikan terhadap sampel dan observasi hasil wajah dolly yang terlepas setelah pengujian.

DFT Test

Dry Film Thickness (DFT) Test mengukur ketebalan lapisan kering yang telah teraplikasikan kepada permukaan menggunakan alat Elcometer 456. Alat dikalibrasikan dengan mengukur standar kalibrasi ketebalan yang sudah diketahui dan mengatur alat untuk sesuai dengan ketebalan tersebut. Pengukuran dilakukan sebagai nilai ketebalan sebelum dan sesudah pengujian Pull Off Test dengan menempelkan *probe* Elcometer 456 pada permukaan sample yang bersih dan kering. Ketebalan lapisan selain pada area dolly dianggap sebagai nilai sebelum Pull Off Test. Ketebalan lapisan ditampilkan pada layar Elcometer 456 dalam satuan micron (μm).

Spektroskopi FTIR

Spektroskopi FTIR yang dipilih adalah dengan metode pellet KBR sebagai matriks sampel. Menggunakan instrumen merek Bruker-Tensor II analisis dilakukan

dengan mengikuti langkah-langkah sebagai berikut:

1. Pengambilan sampel

Lapisan coating pada P40, P90 dan P120, dikikis sampai pada substrat baja karbon. Hasil kikisan yang masih berbentuk serpihan harus dihaluskan menjadi serbuk. Digunakan mortar dan pestle untuk menggerus sample hingga menjadi serbuk halus.

2. Preparasi spesimen uji FTIR

Dicampurkan serbuk sampel dan serbuk KBR dengan perbandingan yang sesuai. Perbandingan yang digunakan adalah 5% sampel dan 95% KBR. Setelah pencampuran sampel dan KBR dilakukan, campuran dimasukkan dalam sebuah alat pellet press dan dibentuk menjadi sebuah pellet.

3. Analisis FTIR

Sample pellet KBR yang terbentuk diletakkan pada pellet holder dan dipaparkan terhadap sinar IR. Rentan sinar inframerah yang digunakan adalah $4000\text{-}500\text{cm}^{-1}$ Direkam transmisi yang diberikan oleh sampel pada spektrometer FTIR.

4. Interpretasi spektrum

Hasil data yang didapatkan kemudian dianalisis dan interpretasi dalam sebuah spektrum FTIR.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Preparasi Permukaan

Preparasi permukaan terhadap pelat baja digunakan untuk mendapatkan angka kekasaran permukaan tertentu. Pertama, untuk mengetahui angka kekasaran pelat tanpa perlakuan preparasi apapun, dilakukan pengukuran kekasaran dengan MarSurf PS 10 pada pelat NP40, NP90, dan NP120. Angka Ra dan Rz yang dihasilkan adalah $3.011\mu\text{m}$ dan $10.568\mu\text{m}$ untuk NP40, $2.956\mu\text{m}$ dan $9.522\mu\text{m}$ untuk NP90, serta $2.992\mu\text{m}$ dan $9.764\mu\text{m}$ untuk NP120. Selanjutnya, setelah preparasi permukaan, didapatkan nilai kekasaran permukaan sebagai berikut, 12.874 dan 64.868 untuk P40, 11.415 dan 62.172 untuk P90, dan yang

terakhir 10.634 dan 61.647 untuk pelat P120. Angka yang didapat, ditabulasikan pada **Tabel 3.2**. **Gambar 3.2**, **Gambar 3.3**, **Gambar 3.4**, **Gambar 3.5**, **Gambar 3.6**, **Gambar 3.7** memuat gambar tampilan hasil perangkat MarSurf kepada ketiga pelat.

Tabel 3.2 Hasil Kekasaran Permukaan Sampel

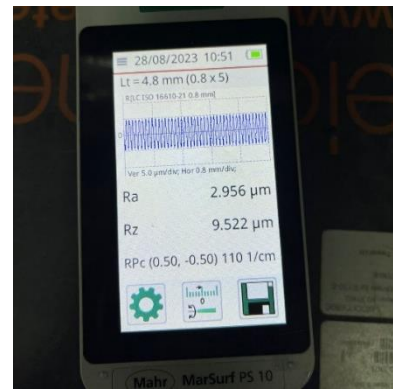
Sampel	Ra sebelum (μm)	Ra setelah (μm)	Rz Sebelum (μm)	Rz setelah (μm)	Catatan
NP40	3.011	-	10.568	-	Pelat 1
P40	3.011	12.874	10.568	64.868	
NP90	2.956	-	9.522	-	Pelat 2
P90	2.956	11.415	9.522	62.172	
NP120	2.992	--	9.764	-	Pelat 3
P120	2.992	10.634	9.764	61.647	



Gambar 3.2 Hasil Pengujian MarSurf PS 10 NP40



Gambar 3.3 Hasil Pengujian MarSurf PS 10 P40



Gambar 3.4 Hasil Pengujian MarSurf PS 10 NP90



Gambar 3.5 Hasil Pengujian MarSurf PS 10 P90



Gambar 3.6 Hasil Pengujian MarSurf PS 10 NP120



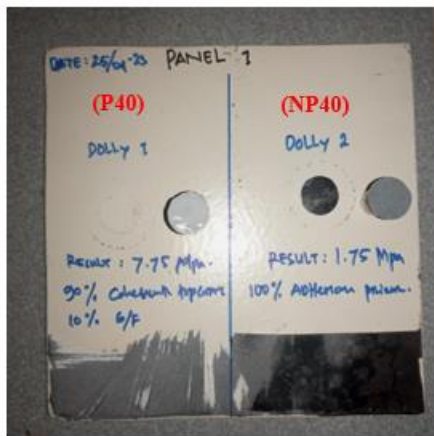
Gambar 3.7 Hasil Pengujian MarSurf PS 10 P120

Pull Off Test

Hasil yang didapatkan dari Pull Off Test berupa kekuatan rekat antara lapisan dan ikatan pada permukaan sampel. Data yang didapatkan berupa gaya maksimum yang diberikan untuk dapat melepaskan lapisan dari substratnya dalam satuan MPa.

- **Panel 1**

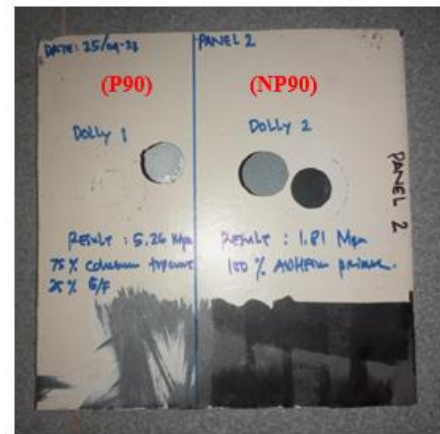
Hasil yang didapatkan pada sampel Panel 1 prepared surface adalah sebesar 7.75 MPa dengan wajah dolly 90% *Cohesion*, 10% *Glue Failure* dan unprepared surface adalah sebesar 1.75 MPa dengan wajah dolly 100% *Adhesion* yang masing-masing dinamakan **P40** dan **NP40**.



Gambar 3.8 Hasil Pull Off Test Panel 1

- **Panel 2**

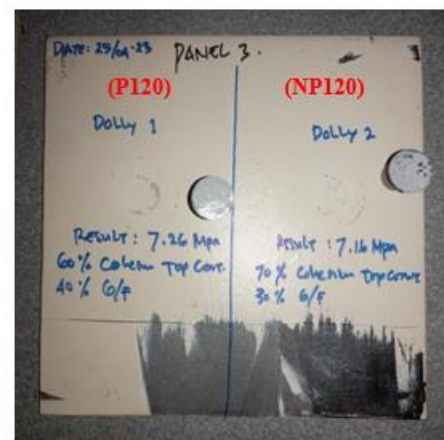
Hasil yang didapatkan pada sampel Panel 2 prepared surface adalah sebesar 5.26 MPa dengan wajah dolly 75% *Cohesion*, 25% *Glue Failure* dan unprepared surface adalah sebesar 1.81 MPa dengan wajah dolly 100% *Adhesion* yang masing-masing dinamakan **P90** dan **NP90**.



Gambar 3.9 Hasil Pull Off Test Panel 2

- **Panel 3**

Hasil yang didapatkan pada sampel Panel 3 prepared surface adalah sebesar 7.26 MPa dengan wajah dolly 60% *Cohesion*, 40% *Glue Failure* dan unprepared surface adalah sebesar 7.16 MPa dengan wajah dolly 70% *Cohesion*, 30% *Glue Failure* yang masing-masing dinamakan **P120** dan **NP120**.



Gambar 3.10 Hasil Pull Off Test Panel 3

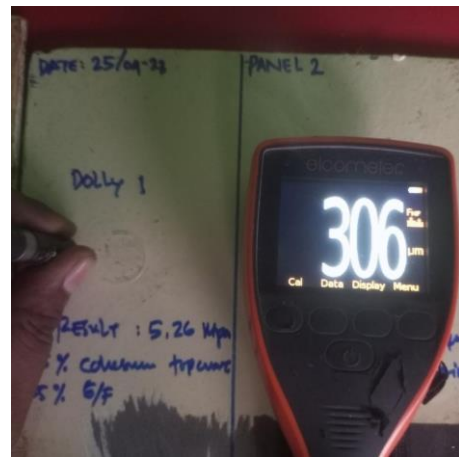
DFT Test

Hasil DFT Test merupakan ketebalan coating pada panel P40, P90, dan P120 dan ketebalan coating sesudah penarikan dolly pada pengujian Pull Off Test setiap panel. Didapatkan nilai ketebalan sebesar 287 μm untuk P40, 306 μm untuk P90, dan 321 μm untuk P120. Selanjutnya nilai ketebalan setelah Pull Off Test adalah sebesar 258 μm untuk P40, 289 μm untuk P90 dan, 304 μm untuk P120. Nilai DFT ditabulasikan dapat dilihat pada Tabel 3.3 dengan selisih ketebalan sebelum dan sesudah penarikan

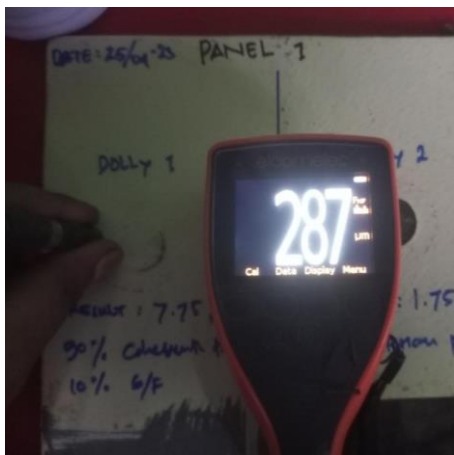
dolly Pull Off Test. Gambar hasil DFT Test dapat dilihat pada **Gambar 3.11, Gambar 3.12, Gambar 3.13, Gambar 3.14, Gambar 3.15, Gambar 3.16.**

Tabel 3.3 Hasil *Dry Film Thickness* Test

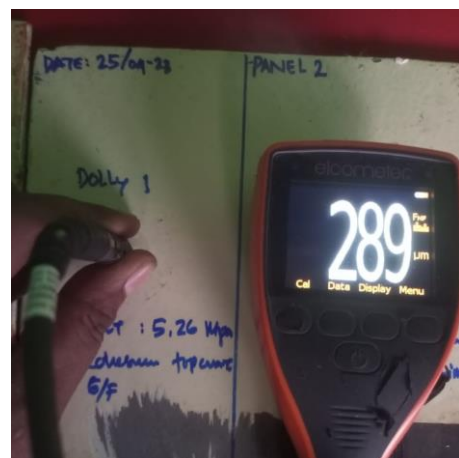
Sampel	Ketebalan Sebelum	Ketebalan Sesudah	Selisih Ketebalan	% Selisih Ketebalan
P40	287 μm	258 μm	29 μm	10.1
P90	306 μm	289 μm	17 μm	5.5
P120	321 μm	304 μm	17 μm	5.3



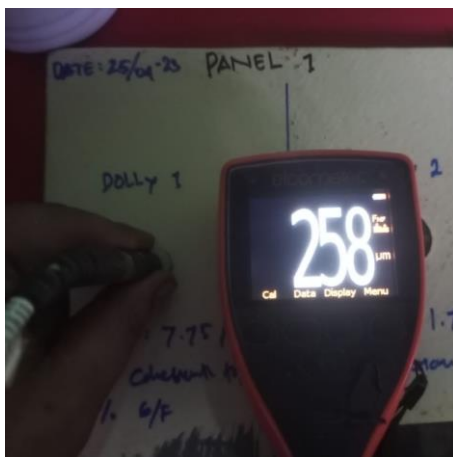
Gambar 3.13 Hasil *Dry Film Thickness* Test untuk ketebalan sebelum pada sampel P90



Gambar 3.11 Hasil *Dry Film Thickness* Test untuk ketebalan sebelum pada sampel P40



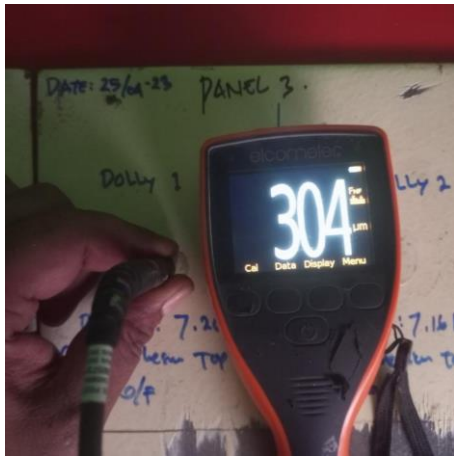
Gambar 3.14 Hasil *Dry Film Thickness* Test untuk ketebalan sesudah pada sampel P90



Gambar 3.12 Hasil *Dry Film Thickness* Test untuk ketebalan sesudah pada sampel P40



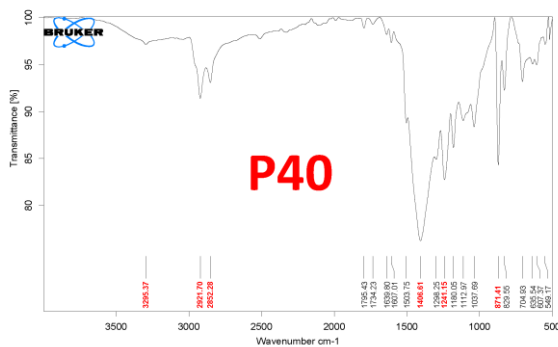
Gambar 3.15 Hasil *Dry Film Thickness* Test untuk ketebalan sebelum pada sampel P120



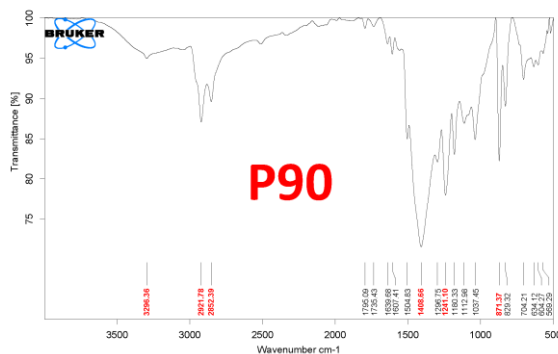
Gambar 3.16 Hasil *Dry Film Thickness Test* untuk ketebalan sesudah pada sampel P120

Spektroskopi FTIR

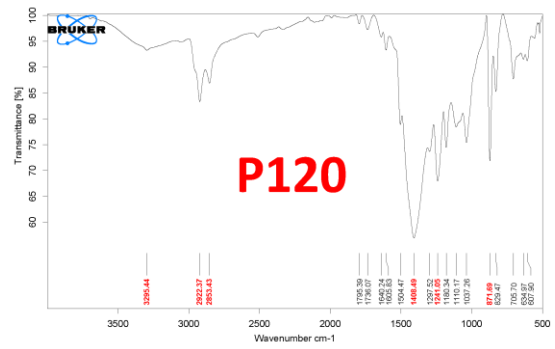
Hasil analisa yang didapatkan dari spektroskopi FTIR adalah indentifikasi gugus fungsi pada sampel berdasarkan spektrum inframerah yang dihasilkan. Dalam konteks penelitian ini, spektroskopi FTIR digunakan untuk identifikasi kualitatif dan kuantitatif dari sampel coating. Dilakukan analisis FTIR pada sampel **P40**, **P90**, dan **P120**.



Gambar 3.17 Spektrum FTIR P40



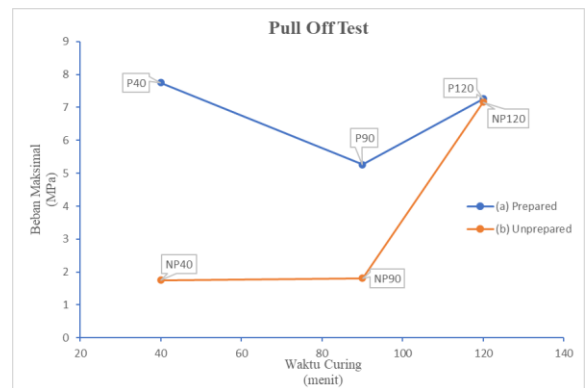
Gambar 3.18 Spektrum FTIR P90



Gambar 3.19 Spektrum FTIR P120

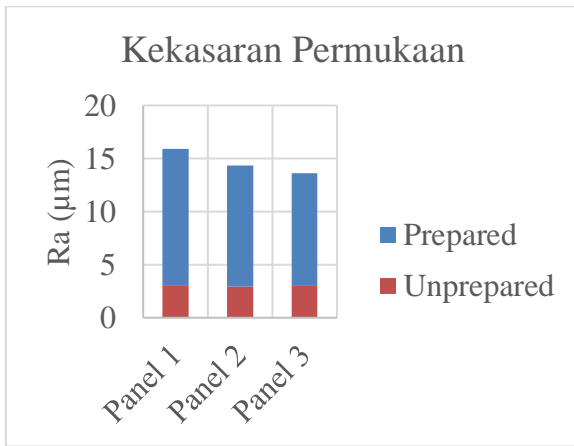
Pengaruh preparasi permukaan terhadap pull off strength

Telah dilakukan pengujian pull off test terhadap seluruh sampel uji untuk menguji daya rekat dari lapisan primer dan juga coating epoksi. Dibuatkan grafik data beban maksimal yang didapatkan setiap sampel yang dapat dilihat pada **Gambar 4.1**.



Gambar 4.1 Grafik Hasil Pull Off Test Sampel

Nilai dari seluruh sampel Prepared (**P40**, **P90**, dan **P120**) memiliki beban maksimal yang lebih tinggi dibandingkan dengan sample Non-Prepared (**NP40**, **NP90**, dan **NP120**) menunjukkan pengaruh dari proses sandblasting pada peningkatan daya rekat lapisan. Dengan hasil dolly face pada sampel unprepared menunjukkan daya rekat antara permukaan substrat dan primer yang lemah.



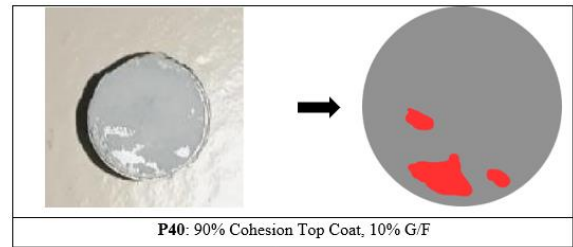
Gambar 4.2 Grafik Kekasaran Permukaan Sampel

Kekasaran permukaan diukur menggunakan alat MarSurf PS 10 yang mendapatkan nilai Ra dan Rz pada sampel. Nilai Ra merupakan rata-rata kekasaran permukaan sedangkan nilai Rz merupakan jarak vertikal antara titik tertinggi dan titik terendah pada sampel. Nilai Ra sebelum preparasi permukaan pada setiap Panel 1, Panel 2, dan Panel adalah 3.011µm, 2.956µm, dan 2.992µm, dengan selanjutnya nilai Ra setelah preparasi permukaan adalah 12.874µm, 11.415µm, dan 10.634µm. Sedangkan nilai Rz sebelum preparasi permukaan pada setiap Panel 1, Panel 2, dan Panel 3 adalah 10.568µm, 9.522µm, dan 9.764µm, dengan selanjutnya nilai Rz setelah preparasi permukaan adalah 64.868µm, 62.172µm, dan 61.647µm. Nilai kekasaran tersebut mengkonfirmasi bahwa preparasi permukaan meningkatkan kekasaran permukaan

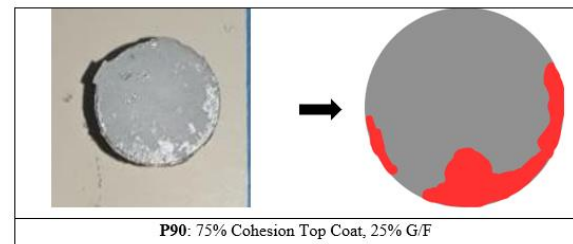
Pengaruh waktu curing terhadap pull off strength sampel unprepared

Hasil sampel tanpa preparasi permukaan yaitu **NP40**, **NP90**, dan **NP120** menjadi perbandingan untuk waktu curing lapisan primer. Hasil Pull Off Test dari **NP40** dan **NP90** relatif sama dengan beban maksimal 1.75 MPa dan 1.81 MPa. Peningkatan terlihat signifikan pada sampel NP120 dengan beban maksimal 7.16 MPa. Terbukti bahwa diantara sampel dengan waktu curing yang berbeda didapatkan kekuatan beban maksimal paling tinggi oleh sampel NP120 dengan waktu curing 120 menit

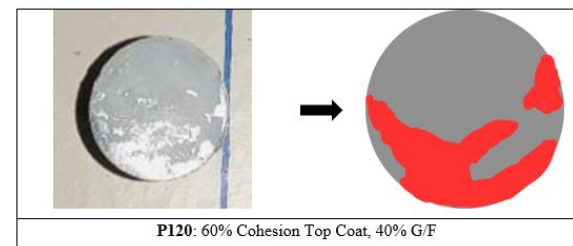
Pengaruh waktu curing terhadap kualitas lapisan sampel prepared



Gambar 4.3 Hasil Dolly Face **P40**

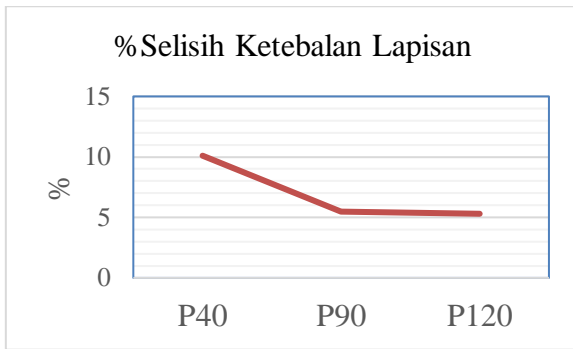


Gambar 4.4 Hasil Dolly Face **P90**



Gambar 4.5 Hasil Dolly Face **P120**

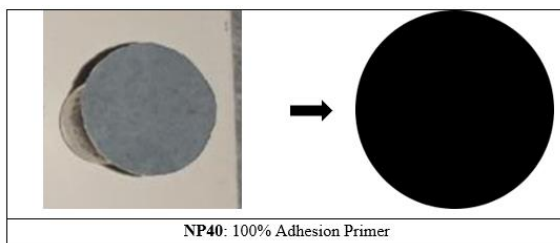
Melihat sampel prepared menunjukkan hasil yang tidak linear dan dianggap tidak sesuai hipotesis bahwa waktu curing berbanding lurus dengan performa dari lapisan coating. Namun karakteristik dari hasil dolly face pada Pull Off Test menunjukkan kelemahan pada parameter yang diuji. Hasil dolly face sampel **P40** memiliki 90% Top coat cohesion, sampel **P90** 75% top coat cohesion, dan sampel **P120** 60% top coat cohesion. Presentase G/F atau glue failure menunjukkan kegagalan yang terjadi pada perekat dolly dan lapisan.



Gambar 4.6 Grafik %Selisih Ketebalan Lapisan Sampel

Hasil pengujian DFT mendapatkan nilai ketebalan dari lapisan P40, P90, dan P120 pada sebelum dan sesudah Pull Off Test. Nilai ketebalan sebelum dan setelah Pull Off Test, sebesar 287 μ m menjadi 258 μ m untuk P40, 306 μ m menjadi 289 μ m untuk P90, dan 321 μ m menjadi 304 μ m untuk P120. Melihat nilai ketebalan sebelum dan sesudah Pull Off Test sample P40, P90 dan P120 didapatkan selisih ketebalan masing-masing 10.1%, 5.5%, dan 5.3%. Selisih ketebalan lapisan terindikasi menurun dengan bertambahnya waktu curing yang berarti lebih sedikit terangkatnya lapisan oleh dolly. Dari data tersebut ada tingkat durabilitas yang didapatkan berbanding lurus dengan waktu curing time lapisan.

Perbandingan hasil prepared dan unprepared (P40 dan NP40)

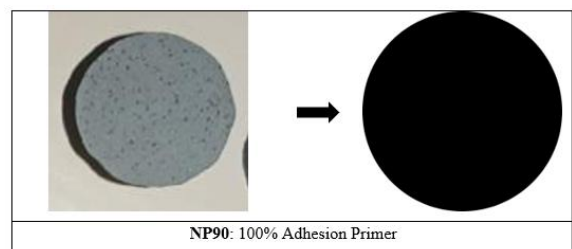


Gambar 4.7 Hasil Dolly Face NP40

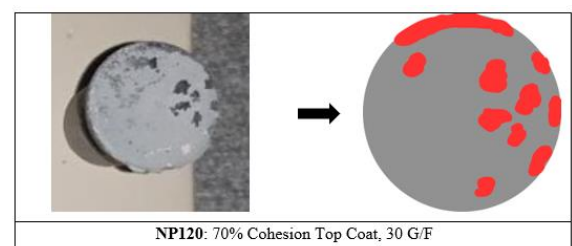
Hasil ideal terlihat pada perbandingan P40 dan NP40 dengan menunjukkan keuntungan dari preparasi permukaan pada sampel. Sampel P40 dan NP40 memiliki nilai Ra dengan perbedaan kekasaran permukaan yang signifikan. Data tersebut didukung kembali dengan karakteristik dolly face pada kedua sampel. Sampel NP40 mendapatkan hasil

100% Adhesion yang berarti mengalami pelepasan lapisan secara adhesi antara primer dan substrat. Sedangkan Sampel P40 mendapatkan hasil berupa 90% Cohesion dimana kegagalan terjadi pada lapisan top coat saja, bukan antara primer dan substrat. Menandakan daya rekat lapisan ke substrat yang lebih unggul pada sampel P40 dibandingkan dengan NP40. Mengulang bahwa tujuan dari preparasi permukaan adalah untuk meningkatkan daya rekat dengan menghasilkan permukaan yang ideal tanpa adanya kontaminan. Performa coating secara langsung akan terpengaruhi pada interface adhesi lapisan dan substrat. Tanpa preparasi tersebut, permukaan akan memiliki daya rekat yang lebih rendah sehingga terjadi kegagalan prematur ketika diaplikasikan sebuah lapisan. Fenomena yang serupa tetap terjadi pada NP90 dengan kegagalan adhesi seluruhnya mengungkapkannya permukaan substrat.

Perbedaan kualitas lapisan prepared dan unprepared dengan waktu curing 120 menit (P120 dan NP120)



Gambar 4.8 Hasil Dolly Face NP90

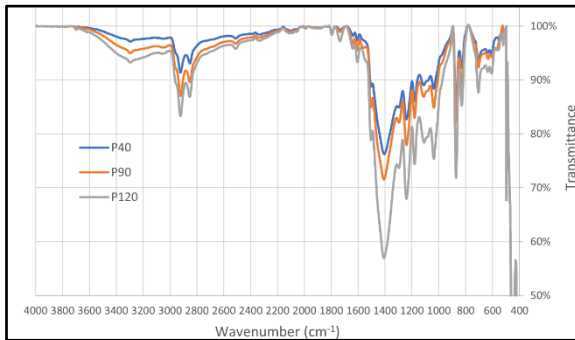


Gambar 4.9 Hasil Dolly Face NP120

Berdasarkan Gambar 4.1, hasil dari P120 dan NP120 memberikan angka beban maksimal yang hampir identik dengan perbedaan hanya 0.10 MPa. Hal tersebut dapat memberi kesimpulan bahwa performa lapisan dapat dicapai dengan mengaplikasikan waktu curing primer selama 120 menit, dan waktu proses dapat dipangkas

dengan mentiadakan proses preparasi permukaan. Walau demikian, analisis kualitatif dari dolly face memberikan perbedaan performa masing-masing sampel. Pelepasan yang terlihat pada sampel adalah kegagalan kohesi dengan presentase yang berbeda. Sampel **P120** dengan 60% Cohesion, dan **NP120** dengan 70% Cohesion. Disebutkan sebelumnya bahwa kegagalan kohesi yang lebih rendah menandakan daya rekat antar lapisan yang lebih baik. Selisih kualitas lapisan tersebut menjadi faktor reliabilitas lapisan pada jangka panjang. Dengan demikian proses preparasi permukaan tetap menjadi opsi yang menunjukkan keunggulan performa.

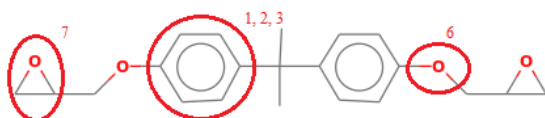
Analisa Derajat Crosslink dengan FTIR



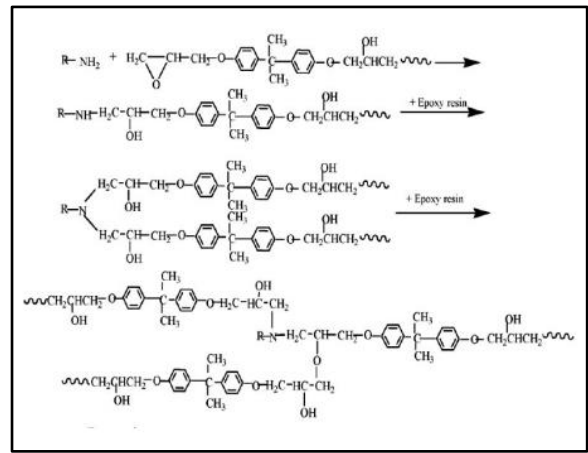
Gambar 4.10 Perbandingan Spektra FTIR sampel **P40**, **P90**, dan **P120**

Tabel 4.1 Hasil karakterisasi FTIR sampel **P40**, **P90**, dan **P120**, dibandingkan dengan epoksi literatur.

No	Hasil Karakterisasi Sampel			Literatur Epoksi	
	P40	P90	P120	Frekuensi IR (cm ⁻¹)	Ikatan Kimia
1	2921	2921	2922	2965-2873	Stretching C-H of CH ₂ and CH aromatic and aliphatic
2	1607	1607	1605	1608	Stretching C=C of aromatic rings
3	1503	1504	1504	1509	Stretching C-C of aromatic
4	1406	1408	1408	1408	Stretching C-H of CH ₂ amine group
5	1298	1296	1297	1294	Stretching C-N of amine group
6	1037	1037	1037	1036	Stretching C-O-C of ethers
7	829	829	829	831	Stretching C-O-C of oxirane group



Gambar 4.11 Karakterisasi frekuensi pada struktur kimia epoksi DGEBA



Gambar 4.12 Proses Crosslinking Amina dengan Epoksi DGEBA

Tabel 4.2 Perbandingan % Transmittansi frekuensi spesifik **P40**, **P90**, **P120**

Sampel	% Transmittance	
	1294 cm ⁻¹	1408 cm ⁻¹
P40	84.9	76.2
P90	82.1	71.5
P120	73.7	57.0

Efek curing time lapisan primer terhadap crosslinking akhir dari lapisan cat epoksi dapat terlihat pada perubahan %transmittansi gugus amina yang menandakan terjadinya crosslinking seperti pada Gambar 4.11. Amina primer bereaksi dengan epoksida untuk membuka cincin dan membentuk amina sekunder. Selanjutnya baik amina primer maupun amina sekunder bereaksi membentuk senyawa eter yang disebut sebagai eterifikasi. *Degree of curing* pada penelitian ini didefinisikan sebagai jumlah amina yang terbentuk hasil *crosslinking* epoksida. Untuk membandingkan *degree of curing*, dilakukan perbandingan %transmittansi pada wavenumber 1294 cm⁻¹ dan 1408 cm⁻¹. Hasil kuantitatif mengikuti hukum Lambert Beer, dimana hubungan antara absorbansi dan transmittansi bersifat terbalik untuk memungkinkan perbandingan jumlah amina. Wavenumber 1408 cm⁻¹ teridentifikasi sebagai ikatan stretching C-H amina yang meningkat pada sampel **P40**, **P90** dan **P120** dengan nilai

%transmitansi secara berturut-turut adalah 76.2% , 71.5% , 57%. Wavenumber 1294 cm⁻¹ teridentifikasi sebagai ikatan stretching C-N amina yang meningkat pada sampe **P40**, **P90** dan **P120** dengan nilai %transmitansi secara berturut-turut 84.9%, 82.1% dan 73.7%.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Proses persiapan permukaan secara abrasif telah meningkatkan kekasaran permukaan untuk pengaplikasian sistem coating.
2. Analisa kualitatif Pull-off test sistem coating epoksi berdasarkan karakteristik *dolly face* menunjukkan bahwa preparasi permukaan menghindarkan kegagalan pada lapisan primer
3. Pull-off test sistem coating epoksi berdasarkan karakteristik *dolly face* dan dari selisih ketebalan lapisan menunjukkan bahwa waktu curing mengurangi tingkat kegagalan antar lapisan.
4. Performa kuantitatif Pull-off test sistem coating epoksi berdasarkan nilai pull-off strength sampel dengan permukaan *prepared* dan *unprepared* berbanding lurus dengan waktu curing lapisan primer.
5. *Degree of Cure* sistem coating epoksi berdasarkan analisa kuantitatif gugus amina *crosslinking* berbanding lurus dengan waktu curing lapisan primer

Saran

1. Untuk mendapatkan fungsi dari waktu curing terhadap pull-off strength dapat dilakukan percobaan dengan menambahkan parameter waktu antara durasi yang telah dilakukan. Sehingga, parameter optimal dapat ditentukan untuk pengaplikasian di lapangan.
2. Untuk analisa *Degree of Cure* dapat digunakan *Differential Scanning Calorimeter* (DSC).
3. Performa sifat mekanik dari sistem coating epoksi dapat dievaluasi lebih

lanjut menggunakan *Taber type abrasion resistance test* sesuai ASTM D4060.

DAFTAR PUSTAKA

1. Munger, Charles G. Corrosion Prevention by Protective Coatings. 1999, Texas, USA, ISBN 1-57590-008-2.
2. National Association of Corrosion Engineers, NACE CIP 1 Manual. 2011, Texas, USA.
3. National Association of Corrosion Engineers, NACE CIP 2 Manual. 2011, Texas, USA.
4. Othman, Nurul H. The Effect of Residual Solvent in Carbon-Based Filler Reinforced Polymer Coating on the Curing Properties, Mechanical and Corrosion Behaviour. 2022. Basel, Switzerland.