



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisis Pengaruh *Sandblasting* Garnett, Aluminium Oxide, dan Silica dengan Parameter Tekanan pada Ketetapan Sudut Tertentu Terhadap *Coating Adhesion* Baja A36

Rivaldi Francius Hutauryuk ¹⁾ Untung Budiarto ²⁾ Wilma Amiruddin ³⁾

Laboratorium Teknologi Material, Las, dan Produksi Kapal

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

e-mail :rivaldifranciushtk@students.undip.ac.id

Abstrak

Baja ASTM A36 banyak digunakan pada konstruksi kapal tetapi rentan terhadap korosi sehingga diperlukan perlindungan tambahan berupa pelapisan (*coating*). Untuk mengatasi permasalahan tersebut, metode pelapisan (*coating*) dengan persiapan permukaan (*surface preparation*) melalui *sandblasting* menjadi penting untuk meningkatkan daya rekat dan guna lapisan pelindung. Metode yang digunakan untuk penelitian adalah memvariasikan tekanan blasting (5 bar, 6 bar, 7 bar) dengan ketetapan sudut pada setiap material abrasif (Garnett, Alox, Silica). Output atau hasil pada penelitian ini berupa data pengujian kekasaran permukaan dan kekuatan daya rekat adhesi cat pada permukaan baja ASTM A36. Metode yang digunakan adalah eksperimen nyata (*real experiment*) dengan proses *blasting manual*, diikuti pengujian kekasaran permukaan (ASTM D4417) dan daya rekat adhesi menggunakan *pull-off test* (ASTM D4541). Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis material abrasif, tekanan, dan sudut penyemprotan berpengaruh signifikan terhadap nilai kekasaran dan daya rekat coating. Material Alox menghasilkan pengaruh paling kuat terhadap peningkatan daya rekat dan pada tekanan 7 bar pada sudut 60° menghasilkan kekasaran permukaan tertinggi sebesar 71,8 μm , misalnya pada material Garnett bernilai 59,1 μm dibandingkan 5 bar sudut 45° dengan nilai 42,3 μm dan 6 bar dengan nilai 47 μm . Secara umum, peningkatan tekanan penyemprotan cenderung meningkatkan nilai kekasaran, yang berbanding lurus dengan kekuatan lapisan adhesi.

Kata Kunci : Surface Preparation, Coating, Sandblasting, Kekuatan Adhesi, Surface Roughness.

1. PENDAHULUAN

Banyaknya penggunaan material pada pembuatan transportasi laut tidak terlepas dari pemanfaatan baja, besi, aluminium, dan material logam lainnya. Umumnya, Material besi maupun baja telah dikenal dan digunakan sejak awal abad ke-19 sebagai bahan konstruksi utama, dengan karakteristik yang memiliki sejumlah keunggulan sekaligus keterbatasan. Namun demikian, baja menempati urutan pertama sebagai material utama dalam pembuatan komponen bangunan kapal, mesin utama, maupun mesin bantu kapal. Hal ini disebabkan oleh keunggulan baja, yaitu kekuatannya yang tinggi, ketersediaan bahan yang

melimpah, sifat mekanis yang baik, fleksibilitas (*versatility*), serta nilai ekonomis yang lebih rendah dibandingkan dengan material lainnya.

Meskipun baja memiliki banyak keunggulan, kelemahan utamanya adalah sifatnya yang mudah mengalami korosi. Proses korosi menjadi aspek penting yang harus diperhatikan dalam pemilihan material, karena dapat menimbulkan kerugian besar apabila tidak dikendalikan. Salah satu faktor yang mempercepat laju korosi adalah lingkungan dengan kadar garam tinggi yang dapat meningkatkan tingkat korosi pada baja.

Sebagai ilustrasi, pada kapal jenis tanker, tangki berfungsi sebagai wadah penyimpanan fluida seperti minyak mentah (*crude oil*), yang

berpotensi menimbulkan korosi pada permukaan dinding tangki. Seiring perkembangan teknologi di bidang korosi dan pengendaliannya, berbagai metode telah dikembangkan untuk memperlambat laju korosi. Salah satu metode tersebut adalah proses pelapisan (*coating*). Tujuan dari proses pelapisan adalah menutupi permukaan material atau substrat agar terlindung dari paparan lingkungan yang dapat menimbulkan korosi. Keberhasilan proses pelapisan sangat dipengaruhi oleh tahap persiapan permukaan, karena tahap ini menentukan kekuatan adhesi lapisan terhadap material dasar.

Masalah utama yang sering ditemui dalam industri perkapalan terkait material antara lain adalah *fracture*, korosi, dan *fatigue*. Namun, dalam penelitian ini fokus pembahasan diarahkan pada fenomena korosi. Dampak yang ditimbulkan akibat korosi perlu dikaji lebih lanjut melalui pengujian dan penelitian agar dapat dikembangkan metode untuk menurunkan laju korosi serta meningkatkan perlindungan material. Kerusakan akibat korosi dapat memperpendek usia pakai material, bahkan ketika tidak terjadi *fatigue* atau *fracture* pada konstruksi kapal. Korosi juga menjadi perhatian penting di berbagai sektor industri karena dapat menyebabkan kerugian besar, seperti kebocoran, ledakan pada pipa atau bejana bertekanan, serta peningkatan biaya perawatan dan inspeksi berkala pada konstruksi [1]. Salah satu upaya pencegahan korosi pada material logam seperti baja adalah melalui proses pengecatan (*painting*).

Korosi pada logam merupakan fenomena yang tidak dapat dihindari, tetapi tindakan pencegahan dan pengendalian dapat dilakukan untuk meningkatkan durabilitas material [2]. Salah satu metode yang banyak digunakan untuk melindungi material dari korosi adalah penerapan lapisan *coating* yang dirancang khusus untuk menahan proses korosi. Ketahanan lapisan *coating* bergantung pada kekuatan daya lekatnya terhadap permukaan material. Peningkatan daya lekat *coating* akan memperpanjang umur pakai lapisan tersebut [3]. Sebaliknya, apabila daya rekat *coating* rendah, maka usia penggunaan lapisan juga akan menurun. Berbagai faktor memengaruhi daya lekat *coating*, salah satunya adalah ketebalan lapisan. Meskipun lapisan yang lebih tebal sering dianggap memberikan perlindungan lebih baik, hal tersebut tidak selalu benar.

Keberhasilan proses pelapisan sangat ditentukan oleh tahapan persiapan permukaan, karena tahap ini memengaruhi kekuatan perekat lapisan terhadap substrat [4]. Umumnya, metode pembersihan yang digunakan di galangan kapal adalah *abrasive blasting*, yaitu proses penembakan partikel abrasif ke permukaan material untuk

menciptakan tingkat kekasaran tertentu. Dengan pemilihan material abrasif yang tepat, daya lekat cat dapat meningkat. Misalnya, pada penggunaan material abrasif aluminium dengan konsentrasi 10% dan sudut penyemprotan 90° , diperoleh nilai kekuatan adhesi sebesar 12,9367 MPa. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin besar sudut penyemprotan, semakin tinggi nilai kekasaran permukaan yang berbanding lurus dengan nilai *pull-off test* [5].

Penelitian lain berjudul “*Pengaruh Variasi Sudut dan Tekanan Penyemprotan pada Proses Abrasive Blasting terhadap Kekasarahan Permukaan Material Baja ASTM A36*” menyatakan bahwa semakin besar tekanan dan sudut *blasting* yang digunakan, maka semakin tinggi pula nilai kekasaran permukaan yang dihasilkan [6].

Sementara itu, penelitian lain berjudul “*Analisis Pengaruh Proses Blasting terhadap Kekuatan Adhesive pada Coating Sambungan Pipa*” menganalisis metode pengujian adhesi dengan membandingkan spesimen yang dipersiapkan menggunakan tiga metode, yaitu *Near White Metal Blasting*, *Power Tool Cleaning*, dan *Hand Tool Cleaning*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin tinggi tingkat kebersihan dan kekasaran permukaan, semakin baik pula kekuatan adhesinya [7]. Perbedaan metode persiapan permukaan menghasilkan tingkat kebersihan dan standar yang berbeda, sehingga tidak dapat disamakan antar metode *surface preparation*.

Dalam penelitian ini, perbedaan utama dibandingkan penelitian sebelumnya terletak pada perlakuan terhadap material baja ASTM A36 yang disemprotkan menggunakan tiga variasi material abrasif dengan satu variasi sudut penyemprotan. Alasan pemilihan satu sudut berbeda untuk setiap jenis material abrasif didasarkan pada pernyataan bahwa tekanan *blasting* dan ukuran *mesh* material abrasif memiliki korelasi dalam menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih dalam. Selain itu, penggunaan satu sudut tetap tetapi berbeda untuk setiap material abrasif dimaksudkan untuk menganalisis kekuatan adhesi *coating* pada baja ASTM A36 secara lebih spesifik.

2. METODE

Dalam pengumpulan data pada penelitian ini terdiri dari dua jenis, yakni :

1. Data *Primer*

Subjek penelitian, informan, atau peneliti sendiri merupakan sumber data *primer*, yang terkadang disebut sebagai data fundamental.

2. Data *Sekunder*

Data sekunder merupakan kumpulan data yang dikumpulkan oleh penulis dari literatur, jurnal, internet, dan penelitian sebelumnya tentang subjek yang relevan.

Baja ASTM A36 Dikenal memiliki kekuatan tinggi, kemampuan menanggung beban berat, daya tahan terhadap gaya dan tekanan. Angka 36 ini merujuk pada kekuatan luluh minimum (*minimum yield strength*) dari baja ini, yaitu 36.000 psi (*pounds per square inch*) atau sekitar 250 MPa (*megapascals*). Kekuatan luluh adalah batas tegangan di mana material mulai mengalami deformasi permanen.

Tabel 1. Kandungan Baja ASTM A36 [8]

<i>Element</i>	<i>Value</i>
<i>Karbon (C)</i>	0,013% - 0,017%
<i>Mangan (Mn)</i>	0,079% - 0,094%
<i>Fosfor (P)</i>	0,016% - 0,011%
<i>Silikon (Si)</i>	0,016%
<i>Sulfur (S)</i>	0,005%

2.1. Persiapan Permukaan

Proses menghilangkan kotoran dari permukaan substrat dikenal sebagai persiapan permukaan. "Pra" (sebelum) dan "perlakuan" (proses atau perlakuan) adalah dua interpretasi yang mungkin dari struktur pra perlakuan. Dengan demikian, pra perlakuan adalah prosedur pertama yang diterapkan pada suatu material sebelum pengecatan.

Umumnya ada dua metode dalam pembersihan permukaan, metode mekanik dan kimiawi. Pada metode mekanik terdiri dari:

1. Pembersihan dengan mesin
2. Pembersihan dengan peralatan tangan
3. Pembersihan dengan metode *blasting*

2.2. *Blasting*

Sandblasting ialah teknik yang digunakan di galangan kapal untuk membersihkan lambung kapal saat sedang diperbaiki atau saat kapal baru sedang dibangun. Nama lain untuk *sandblasting* adalah pembersihan dengan metode *abrasive blasting* [19]. Terdapat faktor atau parameter-parameter yang memengaruhi *sandblasting*, diantaranya:

1. Ukuran mesh atau butiran *abrasive*
2. Bentuk butiran *abrasive*
3. Kekasaran permukaan butiran *abrasive*
4. Tekanan penyemprotan
5. Jarak penyemprotan

6. Durasi Penyemprotan
7. Sudut penyemprotan

Terdapat dua macam blasting yaitu *dry blasting* dan *wet blasting*. Benda yang berbahan besi serta tidak beresiko terjadinya kebakaran atau meledak menggunakan metode *dry blasting*, sebaliknya pada metode *wet blasting* cenderung diaplikasikan pada material yang beresiko terbakar atau terletak pada tangki bahan bakar atau kilang minyak. Pada penelitian kali ini menggunakan : *Silica*, *Garnet*, dan *Alumunium Oxide*.

Pengujian ini dilakukan dengan memvariasikan tiga faktor utama: jenis bahan abrasif (pasir *silica*, *garnett*, dan *alox*), tingkat tekanan semprot (5, 6, dan 7 bar), dan ketetapan sudut semprot (45°, 60°, dan 90°) terhadap spesimen uji.

2.3. *Abrasive*

Terdapat Macam - macam material Abrasive antara lain [9] :

- Steel Grit
- Aluminum Oxide
- Garnet
- Silica
- Steel Shot
- Glassbeads
- VolcanicAsh
- Coalslag
- Siliconcarbide

Terdapat densitas, kekasaran permukaan, *mesh size* butiran pada masing – masing material abrasive diatas, yakni :

Tabel 2. Macam-macam *Material Abrasive* [10]

<i>Abrasive Material</i>	<i>Mesh Sizes (µm)</i>	<i>Hardness (MOHS)</i>	<i>Density (g/ml)</i>
<i>Silica Sand</i>	6-270	5-6	2,65
<i>Garnett</i>	8-300	7-8	3,5-4,3
<i>Coal Slag</i>	12-80	6-7,5	2,7
<i>Aluminum Oxide</i>	16-220	7-8	2
<i>Steel Shot</i>	7-200	8	7
<i>Volcanic Sand</i>	12-120	5,5-6,5	1,6
<i>Steel Grit</i>	10-235	8-9	7

2.4. *Coating*

Dalam lingkungan yang memiliki potensi korosi tinggi dan memerlukan perlindungan berlapis terhadap korosi, dibutuhkan sistem

pelapisan yang efektif. Oleh karena itu, proses pelapisan harus dilakukan secara bertahap, dimulai dari *primer coat*, kemudian *intermediate coat*, dan diakhiri dengan *Topcoat*. Pada penelitian kali ini hanya layer pertama pada coat atau disebut *primer coating*.

Lapisan dasar berbasis epoksi dengan ketebalan yang memenuhi standar minimum cat akan diaplikasikan pada spesimen uji. Jika menggunakan lapisan tanpa anti-fouling, ketebalannya minimal harus 100 μm [11]. Sebelum pengecatan, kondisi lingkungan harus dinilai sesuai dengan ASTM E-337 [12]. Beberapa kriteria pengecatan harus dipenuhi, dan jika kriteria ini tidak terpenuhi, aplikasi cat harus ditunda.

2.5. Standar Preparasi Permukaan

Penelitian ini menetapkan standar ISO 8501-1 (*Preparation of Steel Substrates Before Application of Paints and Related Products*) sebagai acuan utama untuk penilaian kebersihan permukaan pasca-*blasting*. Standar tersebut mendefinisikan beberapa tingkatan kebersihan secara visual, antara lain Sa-1, Sa-2, Sa-2 $\frac{1}{2}$, dan Sa-3, yang masing-masing diwakili oleh kriteria warna spesifik. Pemilihan tingkat Sa-2 $\frac{1}{2}$ didasarkan pada ketentuannya sebagai syarat kebersihan minimum dalam standar ISO 8501-1.



Gambar 1. Tahap kondisi material sebelum *blasting*

Kondisi standar Baja sebelum dilakukan *blasting* pada grade A, yang artinya mill scale yang melekat pada permukaan baja lebih dominan.



Gambar 2. Tahap kondisi material setelah *blasting*

Hasil *blasting* terlihat pada gambar 2 bahwa *blasting* mencapai tingkat Sa-3.

Terdapat tingkatan hasil *blasting* yang dihasilkan pada standar ISO 8501:

- Sa-1 / SSPCSP-7 *Light Blast-cleaning*
- Sa-2 / SSPCSP-6 *Thorough Blast-cleaning*
- Sa-2 $\frac{1}{2}$ / SSPCSP-10 *Very thorough blast-cleaning*
- Sa-3 / SSPCSP-5 *Blasting to Visually clean steel*

Pada penelitian kali ini penulis melakukan kebersihan permukaan material dengan minimal tingkat kebersihan Sa-2 $\frac{1}{2}$ sesuai dengan rekomendasi technical data sheet produk cat.

2.6. Pengujian Tingkat Kekasarahan Permukaan

ASTM D-4417 merupakan standar yang digunakan pada pengujian tingkat kekasaran. DeFelsko Surface profile gauge adalah alat untuk menganalisa tingkat kekasaran permukaan. Pengujian ini dilakukan guna membaca lembah dan puncak atau profile permukaan yang telah diberikan perlakuan *sandblasting*.

2.7. Pengecekan Dry film thickness & Wet film thickness

Untuk mengetahui kondisi cat yang akan terjadi pada saat proses pengeringan nantinya maka diperlukan pengecekan kondisi basah pada saat proses pelapisan cat berlangsung. standar untuk melakukan ISO2808[13].

Wet film comb gauge adalah salah satu alat uji yang mana tiap sisinya memiliki gerigi atau semacam sisir yang panjangnya berbeda untuk mengukur kedalam cat ketika masih basah. Setelah cat dalam keadaan solid, selanjutnya melakukan pengujian dengan alat DeFelsko untuk mengetahui ketebalan cat pada kondisi kering. Acuan yang digunakan pada pengujian DFT ini adalah ISO [14]

2.8. Pengujian Pull Off Test

Pengujian adhesi dilakukan untuk menilai kekuatan rekat atau daya ikat antara lapisan cat dengan substratnya. Pada penelitian ini digunakan standar ASTM D4541, yang secara umum diterapkan pada metode *pull-off test* untuk mengukur kekuatan lepas lapisan menggunakan alat uji adhesi portabel.

Prosedur selanjutnya meliputi aplikasi perekat pada *dolly* hingga seluruh permukaannya terlapis secara homogen. *Dolly* lalu dilekatkan pada substrat uji dengan memberikan tekanan untuk menjamin adhesi yang kuat. Proses pengeringan (*curing*) lem *epoxy* dibiarkan berlangsung selama 24 jam untuk mencapai kondisi optimal. Pengujian pada satu spesimen dilakukan dengan menempelkan *dolly* pada tiga titik terpisah, dengan setiap titik pengujian memerlukan area permukaan datar minimal 50x50 mm.

2.9. Lokasi Penelitian

Pelaksanaan penelitian mulai dari surface preparation sampai pengujian yaitu berlokasi di CV. Cipta Agung Surabaya, Jawa Timur.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Pasca Sandblasting

Metode *sandblasting* menggunakan pasir *garnett*, *silica*, dan *aluminium oxide* pada tekanan antara 5 dan 7 bar. Penelitian ini melakukan proses

sandblasting dengan menggunakan material abrasif *garnet*, *aluminium oxide*, dan *silica*, dengan standar kebersihan yang ditetapkan adalah SA 3 sesuai dengan standar ISO 8501-1 atau SP 10 (SSPC-SP).



Gambar 3. Hasil *sandblasting* SA-3

Hasil inspeksi visual pada Gambar 3. menunjukkan bahwa seluruh permukaan material telah mencapai tingkat kebersihan Sa 3 grade B. Grafik tersebut juga menggambarkan bagaimana berbagai material abrasif yang digunakan dalam proses *sandblasting* menghasilkan warna permukaan yang bervariasi, namun tetap mempertahankan tingkat kebersihan yang sama. Menurut standar ISO 8501-1, tingkat kebersihan Sa 3 (logam putih) adalah sebagai berikut: permukaan material setelah *sandblasting* bebas dari minyak, gemuk, debu, dan kotoran asing lainnya, serta kerak pabrik, karat, residu cat, dan kontaminan lainnya.

3.2. Hasil Pengamatan *Sandblasting*

Tingkat kebersihan atau cleanliness yang direkomendasikan dalam technical data sheet minimum sebesar Sa 2 yang mengacu pada ISO 8501-1. Pada aktualisasi setelah dilakukan proses *sandblasting* tingkat kebersihan atau cleanliness sebesar Sa 3.

3.3. Analisis Pengaruh Jenis Material Abrasif Terhadap Kekasaran Permukaan

Material baja A36 yang telah melalui proses *sandblasting* dengan tingkat *cleanliness* SA-3 sesuai dengan standar ISO 8501-1. Pengukuran dilakukan di tiga titik pada permukaan material, kemudian diambil nilai rata-ratanya. Pengujian dibagi menjadi tiga kelompok utama berdasarkan ketetapan sudut blasting: 45°, 60°, dan 90°. Setiap spesimen material abrasif diuji sebanyak tiga kali (terlihat dari tiga baris data untuk setiap spesimen). Nilai dari ketiga titik ini kemudian dirata-ratakan untuk mendapatkan nilai R_{ave} . Nilai kekasaran akhir untuk setiap kondisi, yaitu R_a (μm), adalah nilai rata-rata dari ketiga hasil R_{ave} .

Tabel 3. Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Spesimen Garnet (Sudut 45°)

Tabel 4. Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Spesimen Alox (Sudut 60°)

Tekanan (bar)	Spesimen	Kode Spesimen	Spot Surface Roughness (μm)			Ra
			1	2	3	
5	<i>Garnett</i> (A ₁ - A ₂ - A ₃)	A ₁	47	35	41	42,3
		A ₂	46	50	41	
		A ₃	38	40	43	
6	<i>Garnett</i> (B ₁ - B ₂ - B ₃)	B ₁	54	52	50	47
		B ₂	46	44	48	
		B ₃	46	41	42	
7	<i>Garnett</i> (C ₁ - C ₂ - C ₃)	C ₁	40	40	40	59,1
		C ₂	74	70	72	
		C ₃	60	64	72	

Tabel 5. Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Spesimen Silica (Sudut 90°)

Tekanan (bar)	Spesimen	Kode Spesimen	Spot Surface Roughness (μm)			Ra
			1	2	3	
5	<i>Alox</i> (A ₁ - A ₂ - A ₃)	A ₁	64	58	70	59,2
		A ₂	57	78	74	
		A ₃	40	48	44	
6	<i>Alox</i> (B ₁ - B ₂ - B ₃)	B ₁	80	60	75	67,4
		B ₂	58	66	56	
		B ₃	66	86	60	
7	<i>Alox</i> (C ₁ - C ₂ - C ₃)	C ₁	82	88	89	71,8
		C ₂	60	65	64	
		C ₃	70	68	60	

3.4. Hasil Pengukuran *Micromatic Condition*

Proses korosi pada bahan biasanya dipengaruhi oleh karakteristik mekanis dari bahan tersebut serta seberapa baik pelapisan yang

Tekanan (bar)	Spesimen	Kode Spesimen	Spot Surface Roughness (μm)			Ra
			1	2	3	
5	<i>Silica</i> (A ₁ - A ₂ - A ₃)	A ₁	30	38	22	26,7
		A ₂	20	18	34	
		A ₃	20	24	34	
6	<i>Silica</i> (B ₁ - B ₂ - B ₃)	B ₁	30	48	22	27,8
		B ₂	20	18	34	
		B ₃	20	24	34	
7	<i>Silica</i> (C ₁ - C ₂ - C ₃)	C ₁	40	38	22	31,9
		C ₂	39	32	36	
		C ₃	24	28	28	

diterapkan. Namun, ada faktor lain yang juga memiliki peranan penting, yaitu kondisi iklim dan lingkungan di sekitar bahan. Dalam proses ini, tujuan utamanya adalah untuk mengukur kelembaban relatif dan suhu titik embun. Pengukuran ini sangat penting untuk memperbaiki proses pelapisan. Berikut adalah hasil yang diperoleh dari pengukuran *wet bulb* dan *dry bulb*:

Tabel 5. *Micromatic Condition*

Keterangan	Hasil	Rekomendasi	Kondisi
<i>Wet Bulb</i>	26.6 °C	>5	Memenuhi
<i>Dry Bulb</i>	30.7 °C	>5	Memenuhi
<i>Relative Humidity</i>	0.721	<85% Rh	Memenuhi
Suhu Material	29.9 °C	>5	Memenuhi
<i>Dew Point</i>	24 °C	< Suhu Baja -3 °C	Memenuhi

3.5. Aplikasi Coating

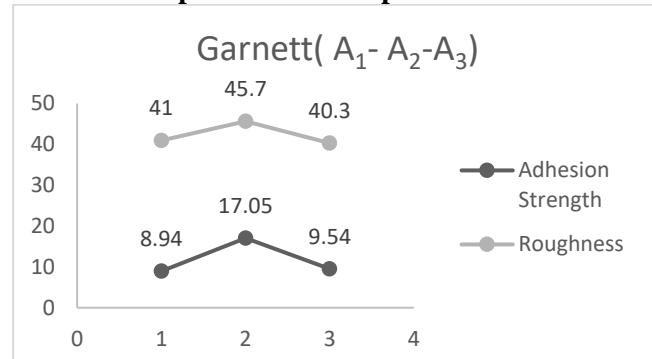
Aplikasi *coating painting* dilakukan menggunakan *conventional spray* yang dilakukan di CV. Cipta Agung Surabaya. Material *painting* menggunakan jenis primer JOTAMASTIC 80 RED produk Jotun dengan keterangan *volume solid* sebesar 73% (+/-2) dengan mixing ratio base : hardener sama dengan 79 : 21 serta pengaplikasian menggunakan *thinning* 20%.

3.6. Uji WFT dan DFT

Prosedur berikutnya adalah melakukan pengecekan nilai WFT (*Wet Film Thickness*) dari material yang telah dilapisi dengan cat. Tujuan utama dari proses ini adalah untuk mengevaluasi apakah ketebalan cat yang telah diterapkan sesuai dengan persyaratan yang tertera dalam lampiran *technical data sheet*. Pengecekan ini dilakukan saat cat masih dalam keadaan basah, menggunakan alat yang disebut *wet film comb*.

DFT (μm)	Volume Solid (%)	WFT (μm)
60	73%	90
70	73%	105
80	73%	121
90	73%	136

3.7. Analisis Pengaruh Kekasarahan Permukaan Terhadap Pull-off Test Spesimen Garnet



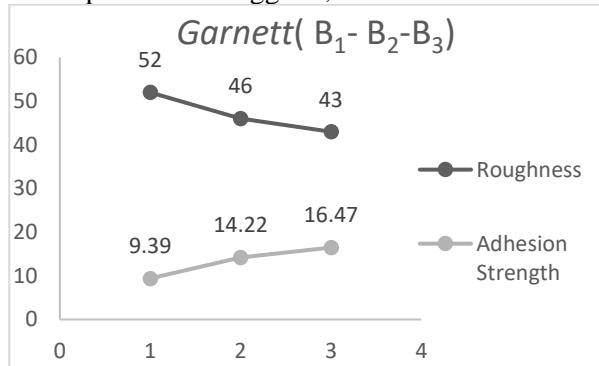
Gambar 4. Grafik Pengaruh Kekasarahan Permukaan dengan Kekuatan Adhesi pada *Garnett* 5 bar

Berdasarkan gambar 4.9, terlihat adanya kecenderungan bahwa kenaikan kekasaran permukaan diikuti dengan peningkatan kekuatan adhesi. Pada *Garnett* 1A, nilai kekasaran permukaan sebesar 41 μm menghasilkan kekuatan adhesi sebesar 8,94 MPa. Ketika kekasaran permukaan meningkat menjadi 45,7 μm, kekuatan adhesi juga mengalami peningkatan signifikan hingga mencapai nilai tertinggi yaitu 17,05 MPa. Namun, pada saat kekasaran permukaan menurun menjadi 40,3 μm, kekuatan adhesi juga ikut turun ke 9,54 MPa. Grafik ini menunjukkan bahwa terdapat hubungan positif antara kekasaran permukaan dan kekuatan adhesi.

Kekasarahan yang lebih tinggi cenderung meningkatkan kekuatan adhesi karena semakin luas area kontak dan semakin baik *interlocking* mekanis yang terbentuk antara substrat dan lapisan pelapis. Akan tetapi, ketika kekasaran menurun, kekuatan adhesi juga ikut menurun, menandakan bahwa kekasaran permukaan berperan penting dalam menentukan kualitas daya lekat lapisan.

Tabel 6. Hasil DFT dan WFT

Sejalan dengan hasil penelitian yang menyatakan bahwa kekuatan adhesi yang tinggi akan menandakan kekasaran permukaan dalam pada profil permukaan tersebut. Berdasarkan gambar 4.10, terlihat adanya hubungan berbanding terbalik antara kekasaran permukaan dan kekuatan adhesi. Pada titik pertama, nilai kekasaran permukaan sebesar $52 \mu\text{m}$ menghasilkan kekuatan adhesi $9,39 \text{ MPa}$. Ketika kekasaran permukaan menurun menjadi $46 \mu\text{m}$, kekuatan adhesi justru meningkat ke $14,22 \text{ MPa}$. Penurunan kekasaran permukaan lebih lanjut menjadi $43 \mu\text{m}$ kembali diikuti peningkatan kekuatan adhesi hingga mencapai nilai tertinggi $16,47 \text{ MPa}$.



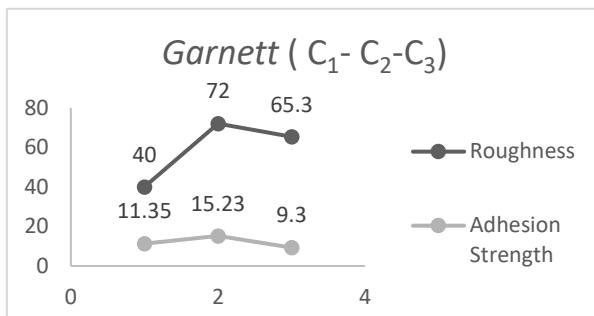
Gambar 5. Grafik Pengaruh Kekasaran Permukaan dengan Kekuatan Adhesi pada *Garnett* 6 bar

Sedangkan pada tekanan 6 bar pada gambar 5 terdapat suatu temuan, ini menunjukkan bahwa penurunan kekasaran permukaan justru meningkatkan kekuatan adhesi. Hal ini dapat dijelaskan bahwa meskipun permukaan yang kasar dapat meningkatkan area kontak, kekasaran yang terlalu tinggi berpotensi menciptakan profil permukaan yang tidak seragam, menyebabkan terbentuknya rongga atau titik lemah yang justru mengurangi kekuatan adhesi. Sebaliknya, ketika kekasaran menurun ke tingkat yang lebih moderat, ikatan mekanis menjadi lebih efektif sehingga kekuatan adhesi meningkat.

Selain itu pada gambar 6, menunjukkan pola hubungan yang tidak linier antara kekasaran permukaan dan kekuatan adhesi. Pada titik pertama, kekasaran permukaan sebesar $40 \mu\text{m}$ menghasilkan kekuatan adhesi sebesar $11,35 \text{ MPa}$. Ketika kekasaran permukaan meningkat drastis menjadi $72 \mu\text{m}$, kekuatan adhesi juga naik menjadi $15,23 \text{ MPa}$, menunjukkan adanya efek positif pada peningkatan kekasaran. Namun, saat kekasaran permukaan menurun sedikit menjadi $65,3 \mu\text{m}$, kekuatan adhesi justru turun tajam ke $9,3 \text{ MPa}$.

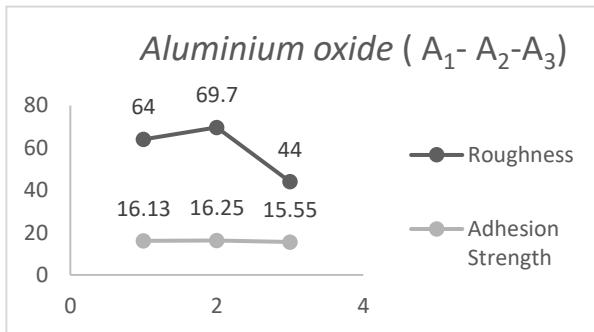
Fenomena ini menunjukkan bahwa peningkatan kekasaran tidak selalu diikuti peningkatan kekuatan adhesi secara konsisten. Kenaikan kekasaran permukaan dari rendah ke tinggi sempat meningkatkan kekuatan adhesi,

tetapi setelah melewati titik tertentu, kekuatan adhesi justru menurun meskipun kekasaran permukaan tetap tinggi.



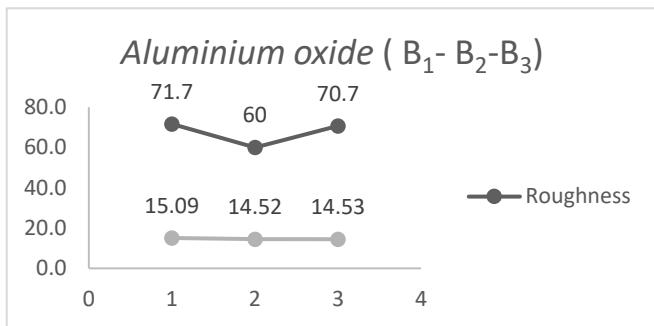
Gambar 6. Grafik Pengaruh Kekasaran Permukaan dengan Kekuatan Adhesi pada *Garnett* 7 bar

3.8. Analisis Pengaruh Kekasaran Permukaan Terhadap Pull-off Test Spesimen Aluminium Oxide



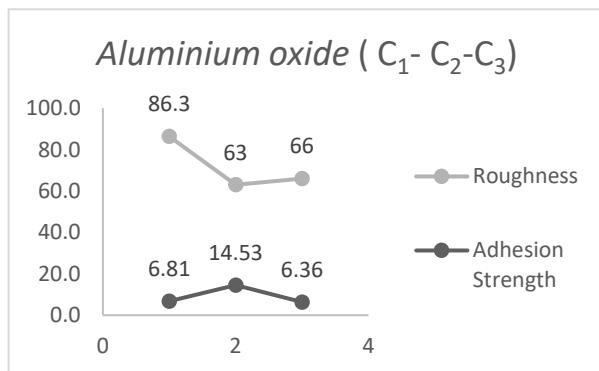
Gambar 7. Grafik Pengaruh Kekasaran Permukaan dengan Kekuatan Adhesi pada *Alox* 5 Bar

Sampel Alox ($A_1 - A_2 - A_3$) pada gambar 7 nilai kekasaran permukaan mengalami fluktuasi dengan peningkatan dari $64 \mu\text{m}$ menjadi $69,7 \mu\text{m}$, kemudian menurun hingga $44 \mu\text{m}$. Sementara itu, nilai kekuatan adhesi relatif stabil dengan kisaran $15,55 - 16,25 \text{ MPa}$. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan maupun penurunan kekasaran permukaan tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan adhesi. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa perubahan kekasaran permukaan pada proses ini tidak berbanding lurus dengan kekuatan adhesi, sehingga terdapat faktor lain yang lebih berperan dalam menentukan kuat adhesi lapisan.



Gambar 8. Grafik Pengaruh Kekasaran Permukaan dengan Kekuatan Adhesi pada *Alox 6 Bar*

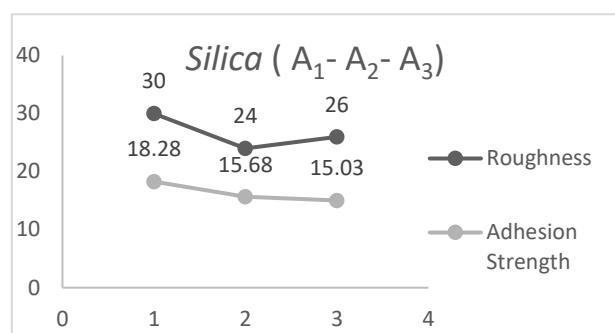
Pada gambar 8 sampel Alox ($B_1 - B_2 - B_3$), nilai kekasaran permukaan mengalami penurunan dari $71,7 \mu\text{m}$ menjadi $60 \mu\text{m}$, kemudian meningkat kembali menjadi $70,7 \mu\text{m}$. Perubahan tersebut diikuti oleh nilai kekuatan adhesi yang relatif stabil, yaitu dari $15,09 \text{ MPa}$ turun menjadi $14,52 \text{ MPa}$ dan sedikit meningkat kembali menjadi $14,53 \text{ MPa}$. Hal ini menunjukkan bahwa penurunan kekasaran permukaan cenderung menurunkan kekuatan adhesi, tetapi peningkatan kekasaran permukaan tidak memberikan kenaikan yang signifikan terhadap kekuatan adhesi.



Gambar 9. Grafik Pengaruh Kekasaran Permukaan dengan Kekuatan Adhesi pada *Alox 7 Bar*

Pada gambar 9 sampel Alox ($C_1 - C_2 - C_3$) nilai kekasaran permukaan mengalami penurunan dari $86,3 \mu\text{m}$ menjadi $63 \mu\text{m}$, kemudian meningkat kembali menjadi $66 \mu\text{m}$. Perubahan tersebut diikuti dengan pola kekuatan adhesi yang berlawanan arah, yaitu dari $6,81 \text{ MPa}$ meningkat tajam menjadi $14,53 \text{ MPa}$, kemudian menurun kembali menjadi $6,36 \text{ MPa}$. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan atau penurunan kekasaran permukaan tidak selalu diikuti oleh perubahan kekuatan adhesi secara searah. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa hubungan antara kekasaran permukaan dan kekuatan adhesi pada sampel ini tidak linier, sehingga faktor lain di luar kekasaran permukaan kemungkinan lebih dominan dalam memengaruhi kuat adhesi lapisan.

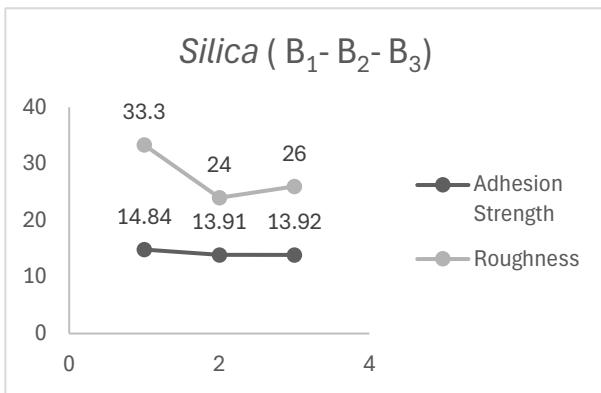
3.9. Analisis Pengaruh Kekasaran Permukaan Terhadap Pull-off Test Spesimen Silica



Gambar 10. Grafik Pengaruh Kekasaran Permukaan dengan Kekuatan Adhesi pada *Silica 5 Bar*

Pada gambar 10, hasil pengujian menunjukkan bahwa pada spesimen *Silica* ($A_1 - A_2 - A_3$), nilai kekasaran permukaan dan kekuatan adhesi memiliki kecenderungan hubungan yang searah pada tahap awal, di mana penurunan kekasaran permukaan diikuti oleh penurunan kekuatan adhesi. Namun demikian, pada kondisi berikutnya, meskipun nilai kekasaran permukaan mengalami peningkatan, kekuatan adhesi justru tidak meningkat dan cenderung menurun. Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan kekasaran permukaan tidak selalu berbanding lurus dengan peningkatan kekuatan adhesi, sehingga terdapat faktor lain yang turut memengaruhi mekanisme ikatan adhesif pada permukaan hasil perlakuan abrasif.

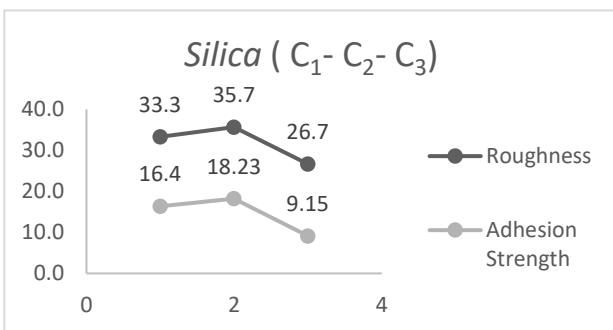
Sedangkan pada gambar 11, spesimen Silica hasil pengujian menunjukkan bahwa pada spesimen *Silica* ($B_1 - B_2 - B_3$), penurunan nilai *kekasaran permukaan* dari $33,3$ menjadi 24 diikuti oleh penurunan *kekuatan adhesi* dari $14,84$ menjadi $13,91$, yang mengindikasikan adanya kecenderungan hubungan searah antara kekasaran permukaan dan kekuatan adhesi. Namun, pada kondisi selanjutnya, meskipun *kekasaran permukaan* meningkat kembali menjadi 26 , *kekuatan adhesi* tidak mengalami kenaikan yang signifikan dan relatif stabil pada kisaran $13,9$. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan kekasaran permukaan tidak selalu diikuti oleh peningkatan kekuatan adhesi, sehingga terdapat faktor lain yang memengaruhi mekanisme ikatan pada permukaan hasil perlakuan abrasif.



Gambar 11. Grafik Pengaruh Kekasaran Permukaan dengan Kekuatan Adhesi pada Silica 6 Bar

Berdasarkan hasil pengujian yang ditampilkan pada Gambar 12 Silica (C₁- C₂-C₃) terlihat adanya keterkaitan yang jelas antara parameter kekasaran permukaan dengan kekuatan adhesi. Nilai kekasaran permukaan mengalami peningkatan dari 33,3 menjadi 35,7, kemudian menurun pada titik berikutnya menjadi 26,7. Pola perubahan ini sejalan dengan nilai kekuatan adhesi, yang awalnya meningkat dari 16,4 menjadi 18,23, namun kemudian menurun signifikan hingga mencapai 9,15.

Kecenderungan tersebut menunjukkan bahwa peningkatan kekasaran permukaan diikuti dengan meningkatnya kekuatan adhesi. Hal ini dapat dijelaskan melalui mekanisme ikatan mekanis, di mana permukaan yang lebih kasar menyediakan area kontak yang lebih besar bagi lapisan pelapis untuk menempel, sehingga menghasilkan kekuatan adhesi yang lebih tinggi. Sebaliknya, ketika kekasaran menurun, area kontak berkurang sehingga kekuatan adhesi ikut menurun. Dengan demikian, hasil penelitian ini mendukung asumsi bahwa kekasaran permukaan merupakan faktor penting dalam menentukan kekuatan adhesi sesuai dengan penelitian terdahulu [42][45][46].



Gambar 12. Grafik Pengaruh Kekasaran Permukaan dengan Kekuatan Adhesi pada Silica 6 Bar

Penelitian ini menegaskan bahwa pentingnya mengaplikasikan pembersihan permukaan dari kotoran, karat, atau sejenisnya yang melekat pada permukaan baja atau benda yang berbahan baja contohnya kapal. Dengan metode *Sandblasting* berbeda dengan metode *Hand Tool Cleaning* meskipun dengan tujuan yang sama tetapi memiliki perbedaan yang jauh, baik dari segi hasil kebersihan permukaan maupun standar yang digunakan pada setiap pembersihan permukaan.

Dari hasil penelitian ini juga mendapat hasil yang bagus, dengan parameter yang terukur didapatkan, untuk material *Garnett* sudut 45 dapat menggunakan tekanan 7 bar dan juga berturut-turut berlaku pada material abrasif lainnya yang digunakan pada penelitian ini (*Alox* sudut 60 dan *Silica* sudut 90), dengan tujuan mendapatkan kekasaran permukaan yang tinggi dan adhesi yang bagus dan melekat pada permukaan dan dapat diaplikasikan.

Selain itu dapat dihubungkan ke dalam skala industri dan menyesuaikan standar yang berlaku. Hasil pengukuran kekasaran ini menunjukkan bahwa semakin tinggi tekanan *sandblasting* (7 bar), semakin tinggi nilai Ra, yang berarti lebih mudah mencapai kisaran 30–75 μm seperti disyaratkan IACS. *Pull-off test* (ASTM D4541) yang Anda lakukan langsung sesuai dengan uji adhesi yang direkomendasikan IACS. Dengan demikian, penelitian ini membuktikan bahwa kombinasi tekanan & jenis abrasif berpengaruh langsung terhadap kemungkinan pemenuhan persyaratan IACS dalam inspeksi & *approval* sistem *coating*.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari hasil penelitian, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- Hasil analisis didapatkan bahwa pada material abrasif sendiri memiliki *hardness* dengan ukuran *Mohs* berbeda beda dalam penelitian ini diketahui *Alox* paling besar pada *hardness* dibandingkan material lainnya seperti, *Garnett* dan *Silica*. Pada penelitian ini menghasilkan material abrasive *Alox* paling tinggi kekasaran permukaan yang dihasilkan. Hal ini yang menjadikan jenis material *abrasive* mempengaruhi profil kekasaran permukaan yang dihasilkan. Kekasaran permukaan yang dihasilkan dari proses *sandblasting* atau *shot blasting* secara fundamental ditentukan oleh dua sifat utama dari media abrasif yang digunakan: densitas dan kekerasan (skala *Mohs*). Kedua faktor ini bekerja secara sinergis untuk menghasilkan deformasi plastis dan pengikisan mikro pada permukaan material target. Densitas

mengatur kedalaman dan energi kinetik dari setiap tumbukan, sementara kekerasan menentukan kemampuan partikel untuk menggores dan membentuk profil pada permukaan.

2. Berdasarkan hasil pengujian *sandblasting* menunjukkan bahwa kekerasan permukaan terbesar diperoleh dari tekanan *nozzle* tertinggi yaitu pada tekanan 7 bar untuk semua bahan *sandblast*, *garnett*, *alox* dan *silica* di mana nilai masing-masing dari kekerasan yang dimaksud 59,1 μm untuk *Garnett*, 71,8 μm untuk *Alox*, 31,9 μm untuk Silica.

3. Berdasarkan hasil pengujian kekuatan dari adhesi pada pelapisan permukaan pelat baja atau *coating*, menunjukkan bahwa kekuatan adhesi terbesar pada perlakuan *sandblasting* dengan *garnett* 13,36 MPa, sand blasting dengan *Alox* 15,97 MPa, *sandblasting* dengan *Silica* 16,33 MPa.

4. Hasil analisis regresi sederhana, sebagai berikut: pada material *Silica*, *Alox*, dan *Garnett* dengan kode spesimen ($A_1 - A_2 - A_3$), ($B_1 - B_2 - B_3$),

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. R. Trethewey and J. Chamberlain, *Corrosion for Science and Engineering*. Longman, 1995.
- [2] M. Sidiq, "Studi laju korosi baja karbon dalam media air laut buatan dengan variasi pH dan penambahan inhibitor kalium dikromat," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 21, no. 2, pp. 71–76, 2013. doi: 10.9744/jtm.21.2.71-76.
- [3] S. Khorasanizadeh, A. A. Nourbakhsh, and M. J. Torkamany, "The effects of shot and grit blasting process parameters on steel pipes coating adhesion," *International Journal of Industrial and Manufacturing Engineering*, vol. 4, no. 5, pp. 540–543, 2010. [Online].
- [4] R. Hudson, *Surface Preparation for Coating*. The National Physical Laboratory, 1982.
- [5] T. Y. Rialdo, "Analisis Pengaruh Variasi Ketebalan Cat dan Komposisi Magnesium Karbonat Serbuk pada Campuran *Coating Epoxy* terhadap Kekuatan Adhesi, Metalografi, dan Prediksi Laju Korosi pada Baja ASTM A36," Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2019.
- [6] M. N. P. A. Eza, "Pengaruh Variasi Sudut Dan Tekanan Penyemprotan Pada Proses Abrasive Blasting Terhadap Kekasaran permukaan Material Baja Astm A36," Tugas Akhir, Universitas Diponegoro, Semarang, 2024.
- [7] F. S. Manurung, "Analisis Pengaruh Proses Blasting Terhadap Kekuatan Adhesive Pada Coating Sambungan Pipa," Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2017.
- [8] T. Rochim, *Spesifikasi, Metrologi dan Kontrol Kualitas Geometrik*. Penerbit ITB, 2001.
- [9] ISO 8501-1, "Preparation of steel substrates before application of paints and related products — Visual assessment of surface cleanliness," ISO Int., 2007
- [10] A. W. Momber, *Abrasive Waterjet Cutting*. Springer, 2008.
- [11] A. Hendrawan, Lusiani, and R. Aprilian, "Sandblasting Pada Kapal Mv. Berlian Indah," *Jurnal Saintara*, vol. 4, no. 2, pp. 25–32, 2020.
- [12] Germanischer Lloyd, *Guidelines for Corrosion Protection and Coating System, Edition 2010*. Hamburg: Germanischer Lloyd AG, 2010.
- [13] ISO 2808;2019' "Paints and varnishes — Determination of film thickness." ISO, 2019.
- [14] C. Quatman, "Calculating and Measuring Wet Film Thicknes" KTA, 2017.