

Analisis Pengaruh Daya Laser Marking Terhadap Laju Korosi AISI 304 Stainless Steel

Hendi Lilih wijayanto⁽¹⁾, Muh. Azis albar J⁽²⁾, Yusdianto⁽³⁾, Angga Tegar Setiawan⁽⁴⁾, Aditya Perdana Putra⁽⁵⁾

Politeknik Industri Logam Morowali,
Padabaho, Kec. Bahodopi, Kabupaten Morowali, Sulawesi Tengah, Indonesia

Email: ¹hendilw@gmail.com, ²azis.albar.j@gmail.com, ³yusdianto@pilm.ac.id
⁴angga@pilm.ac.id, ⁵aadityaperdanaputra@gmail.com

Tersedia Online di

<http://www.jurnal.unublitar.ac.id/index.php/briliant>

Sejarah Artikel

Diterima 17 Juli 2023
Direvisi 16 Agustus 2023
Disetujui 16 Agustus 2023
Dipublikasikan 16 Agustus 2023

Keywords:

Fiber laser marking, AISI 304 stainless steel, marking quality, corrosion rate

Abstract: *The purpose of this study is to determine the effect of power on marking quality, namely groove geometry and marking visibility and corrosion rate on AISI 304 stainless steel fiber laser marking material in corrosive seawater media. This is important because based on the results of the analysis report from the information department, the results of fork and spoon products experience corrosion, especially in the area of laser marking results. In this study, the surface of AISI 304 stainless steel material is given laser marking treatment with power variations, namely 20 and 60 W. The results of SEM testing will be carried out to obtain data on the results of groove geometry and visibility of the marking results. Furthermore, the AISI 304 stainless steel material from the marking is immersed in corrosive sea water media for a span of 60, 90 and 120 days to measure the corrosion rate that occurs. As a result, the AISI 304 stainless steel marking material is also subjected to SEM observation to determine the type of corrosion and surface morphology of the laser marking results due to the influence of corrosion that occurs. It is expected that the results of this study will be able to provide recommendations for work process parameters in laser marking that can be applied to spoon and fork products as optimal parameters for improving the quality of better marking results.*

Kata Kunci:

Fiber laser marking, AISI 304 stainless steel, kualitas marking, laju korosi

Corresponding Author:

Name:
Hendi Lilih wijayanto
Email:
hendilw@gmail.com

Abstrak: Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh daya terhadap kualitas marking yaitu geometri alur dan visibilitas marking serta laju korosi pada material AISI 304 stainless steel fiber laser marking pada media korosif air laut. Hal tersebut menjadi penting dikarenakan berdasarkan hasil analysis report dari departemen informasi hasil produk garpu dan sendok mengalami korosi terutama pada area hasil marking laser. Dalam penelitian ini permukaan material AISI 304 stainless steel diberikan perlakuan laser marking dengan variasi daya/daya yaitu 20 dan 60 W. Hasil dari akan dilakukan pengujian SEM untuk mendapatkan data hasil geometri alur dan visibilitas hasil marking. Selanjutnya material AISI 304 stainless steel hasil marking dilakukan perendaman pada media korosif air laut selama rentang waktu 60, 90 dan 120 hari untuk mengukur laju korosi yang terjadi. Hasilnya material AISI 304 stainless steel hasil marking juga dilakukan pengamatan SEM untuk mengetahui jenis korosi serta morfologi permukaan hasil laser marking akibat pengaruh dari korosi yang terjadi. Harapannya hasil dari penelitian ini mampu memberikan rekomendasi parameter proses kerja pada laser marking yang dapat bisa diterapkan pada produk sendok dan garpu sebagai parameter optimal untuk peningkatan mutu hasil marking yang lebih baik.

PENDAHULUAN

Di era teknologi yang semakin maju, pemanfaatan teknologi laser bukanlah menjadi hal yang awam bagi pelaku industri khususnya industri manufaktur (Qi et al., 2003)(Huang et al., 2023). Saat ini teknologi laser dimanfaatkan seperti untuk pemotongan material dan pengelasan (Kim et al., 2024). Namun yang terbaru laser yang merupakan penguatan gelombang cahaya dengan intensitas dan kecepatan yang sangat tinggi mencapai *nanosecond* (10^{-9}) sampai *femtosecond* (10^{-15}) (Cholkar et al., 2023) dimanfaatkan untuk kegunaan lain yaitu *marking*/pemberian identitas pada permukaan material atau produk tertentu, ablasi/menghilangkan material sisa dari permukaan material, dan *machining*/proses permesinan untuk membentuk suatu produk (Leone et al., 2010) (Jia et al., 2024).

Laser *marking* merupakan metode baru yang digunakan untuk memberikan tanda/label yang bertujuan untuk mengidentifikasi produk (Toleti et al., 2024; Xu et al., 2023). Banyak cara *marking* yang bisa dilakukan antara lain laser *annealing*, *ink-marking*, *mechanical engraving*, *coloration*, *electro-chemical* (Qi et al., 2003) dsb. Keuntungan laser *marking* dibandingkan dengan metode *marking* konvensional yaitu tidak membutuhkan *tools*/peralatan, perangkat dapat bekerja secara otomatis, bebas menentukan bentuk dan karakter *marking* (Korakana et al., 2020a). Laser yang banyak digunakan di industri untuk *marking* yaitu TEA CO₂ lasers, *pulsed* atau *Q-switched* Nd:YAG laser dan *excimer* laser (Korakana et al., 2020b).

Pada beberapa tahun kebelakang, perihal laser *marking* telah banyak diteliti dan dikembangkan. C. Leone dkk (Leone et al., 2010) melakukan penelitian terhadap *laser marking* untuk menentukan relasi antara parameter kerja laser seperti frekuensi, *scanning speed* dan intensitas arus terhadap visibilitas *marking* pada baja AISI 304 menggunakan laser jenis Nd-YAG. M. Svantner dkk (Svantner et al., 2016) menggunakan YAG laser dan laser fiber untuk mengetahui hubungan antara parameter laser dan kekasaran permukaan hasil laser *marking*. Morfologi permukaan warna laser di analisa menggunakan pengamatan pada mikroskop optik dan SEM. Kekasaran diukur dengan menggunakan tester hommel profilometer yang tegak lurus arah lintasan laser (Kostyuk et al., 2025). Lalu dilakukan pula tes laju korosi dengan menggunakan *salt spray test* pada rentang waktu pengamatan 24, 48, 72, 96 dan 120 hari. Eurico dkk (Pieretti et al., 2015) melakukan penelitian mengenai pengaruh laser *marking* yaitu pulse energi dan kecepatan *marking* pada ketahanan korosi ASTM F139 austenit *stainless steel* yang telah di-*marking* permukaannya dengan menggunakan YAG laser menggunakan metode elektrokimia proses. Hasilnya pada permukaan *stainless steel* yang telah di-*marking*. Semakin tinggi nilai pulse energi dan kecepatan *marking* maka semakin terlihat bekas *marking* yang ditinggalkan. Faktor intensitas laser YAG adalah parameter kerja yang paling berpengaruh terhadap ketahanan korosi. Hal ini dikarenakan akibat rusaknya lapisan pasif film pada material. Tadeja dkk (Kosec et al., 2019) melakukan penelitian laju korosi pada paduan logam titanium yang sudah di-*marking* di lingkungan agresif dengan variabel yang diteliti dan dilihat pengaruhnya terhadap intensitas daya, kecepatan terhadap elektrokimia, spektroskopik, laju korosi dan analisis mikrostruktur hasil laser *marking* permukaan spesimen. Berdasarkan hasil Analisa SEM dan XPS, intensitas daya yang besar dan kecepatan yang rendah menghasilkan perubahan kimia pada permukaan material yang sudah di-*marking* menghasilkan lapisan oksida yang stabil dan tahan terhadap lingkungan korosif (Chen et al., 2023).

Politeknik Industri Logam Morowali bekerjasama dengan mengembangkan produk dari *stainless steel* tipe S30400 grade 2B sebagai bahan pembuatan peralatan makan berupa sendok dan garpu. Proses produksi diawali dengan proses *stamping* lembaran plat *stainless steel* menjadi bentuk sendok dan garpu, dilanjutkan dengan *polishing* untuk mengkilapkan permukaan sendok dan garpu, diakhiri dengan proses penandaan/laser *marking* pada permukaan sendok dan garpu. Walaupun telah menggunakan material tahan karat sebagai akibat dari proses penandaan/laser *marking* dilaporkan berdasarkan hasil *analysis report* dari departemen informasi hasil produk sendok dan garpu masih mengalami korosi terutama pada area hasil *marking* laser. Oleh karena itulah diperlukan kajian yang mendalam terhadap fenomena korosi yang terjadi dengan jenis dan tipe laser *marking* yang digunakan yaitu *fiber laser marking* (Pandey & Doloi, 2022). Parameter

kerja laser digunakan yaitu daya/daya terhadap laju korosi pada baja *stainless steel* 304 di lingkungan korosif (Xiang et al., 2022). Sehingga hasil penelitian ini bisa memberikan rekomendasi parameter proses kerja pada laser *marking* yang dapat bisa diterapkan pada produk sendok dan garpu sebagai parameter optimal untuk mencapai produktivitas hasil kerja yang memuaskan dengan kualitas hasil pengerjaan yang baik serta tahan terhadap korosifitas.

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode eksperimen (He et al., 2024). Eksperimen dimulai dari studi literatur yakni mencari sumber-sumber informasi yang ada sangkut pautnya dengan penelitian yang peneliti lakukan serta melakukan percobaan awal mengenai kinerja desain proses kerja parameter laser *marking* yang hendak dilakukan. Pada sub bab ini berisi tentang bagaimana eksperimen berjalan serta alat dan bahan yang dibutuhkan.

Bahan Penelitian

1) AISI 304 *Stainless steel*

Material yang digunakan adalah material AISI 304 *stainless steel* S30400 *grade* 2B yang merupakan salah satu jenis dari baja *stainless steel* dengan jenis baja tahan karat austenitic yang merupakan material bahan baku pembuatan sendok dan garpu (de Oliveira et al., 2024; Gupta et al., 2024; Singh et al., 2024)

2) Air Laut

Sebagai media korosif adalah media korosif air laut yang digunakan sebagai media perendaman *stainless steel* (Kasha et al., 2023; Zhang, 2020). Hasil laser *marking* dengan variasi lama waktu perendaman untuk menghitung laju korosi yang terjadi diambil bibir pantai di bagian selatan tepatnya di Desa Bete-bete, Kecamatan Bahodopi, Kabupaten Morowali, Provinsi Sulawesi tengah.

3) Aquades/Alkohol

4) Kain Majun

Peralatan Penelitian

Adapun peralatan yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut :

1) Laser *marking* MAX M5 Box 20W

Jenis mesin laser : Fiber Laser Machine
 Daya : <100 W
 Wavelength : 1064 nm
 Area Marking : 10 x 10 cm
 Marking speed : 600-1000 char/min
 Life time : 100.000 hours

2) Neraca Analitik

Neraca analitik digunakan untuk menimbang material hasil laser *marking* setelah perendaman (Merino et al., 2022; Schiavon et al., 2012).

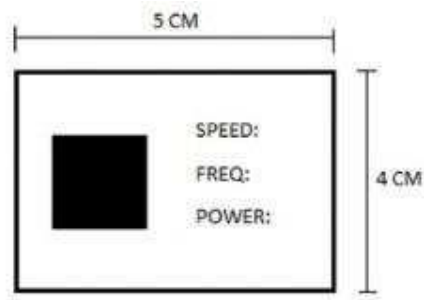
Laser *Marking* AISI 304 *Stainless steel*

Preparasi permukaan dengan perlakuan laser *marking* pada permukaan material AISI 304 *stainless steel* S30400 *grade* 2B dilaksanakan dengan menggunakan laser *marking* tipe MAX M5 Box 20W dengan variasi parameter kerja yaitu daya/daya yang digunakan yaitu 40 W dan 60 W dengan variable tetap yaitu frekuensi 20 kHz dan kecepatan 400 mm/s dan space 0.05 seperti yang terlihat pada tabel di bawah.

Tabel 1. Tabel Parameter Penelitian

Sampel	Speed (mm/s)	Frekuensi (kHz)	Daya (W)
A	400	20	40
B	400	20	60

Untuk dimensi dan *layout* *marking* pada permukaan material dibuat seperti gambar di bawah ini:



Gambar 1. *Layout Marking*

Perendaman media air laut

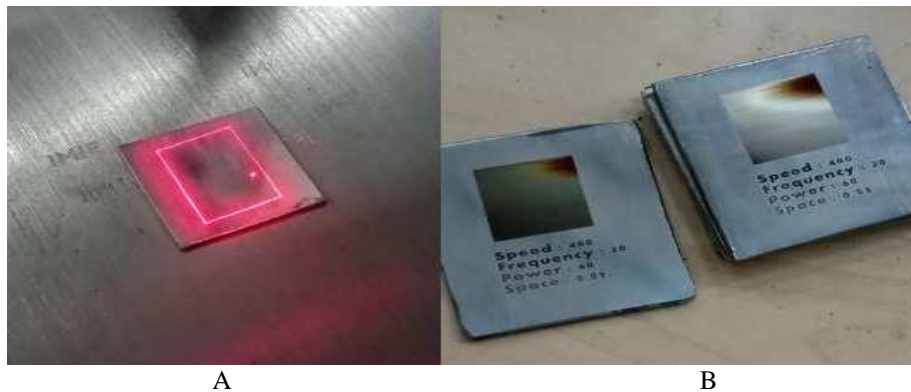
Setelah material di laser marking selanjutnya dilakukan perendaman dengan variasi rendaman yang digunakan adalah 35 hari perendaman untuk kemudian di angkat dari bak perendaman diberishkan dengan aquades/alcohol lalu ditimbang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan Mengetahui pengaruh waktu perendaman terhadap kualitas laser marking dan laju korosi *stainless steel* 304 pada media air laut. namun sebelum itu perlu dilakukan uji pendahuluan.

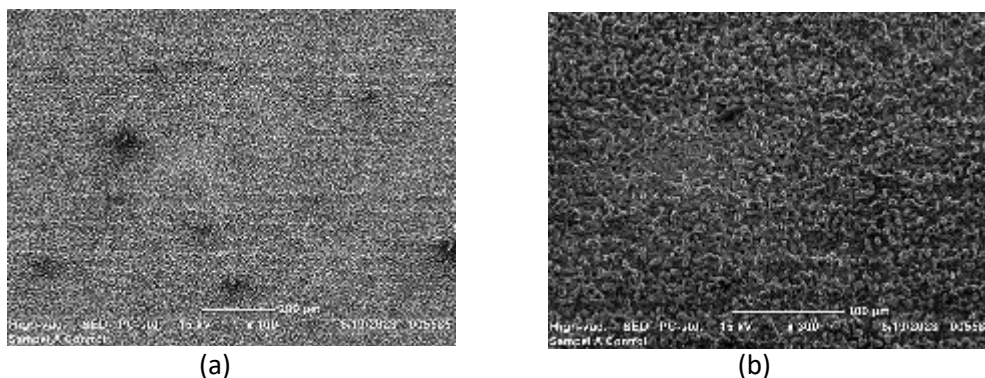
Stainless Steel yang Telah Mengalami Marking Laser

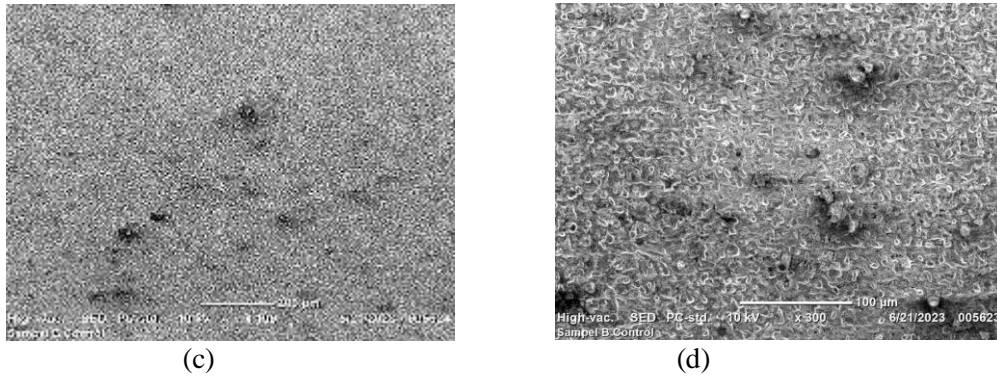
Pada penelitian ini *Stainless steel* akan di potong berbentuk seperti persegi , setelah itu dibersihkan permukaan spesimen dengan cara dipoles, kemudian spesimen akan dilaser marking dengan menggunakan alat laser marking MAX M5 Box 20W dengan parameter speed 400, frekuensi 20, daya 60W dan 40W *space* 0,05. Seperti yang terlihat pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. (a) Sebelum dimarking (b) Sesudah dimarking

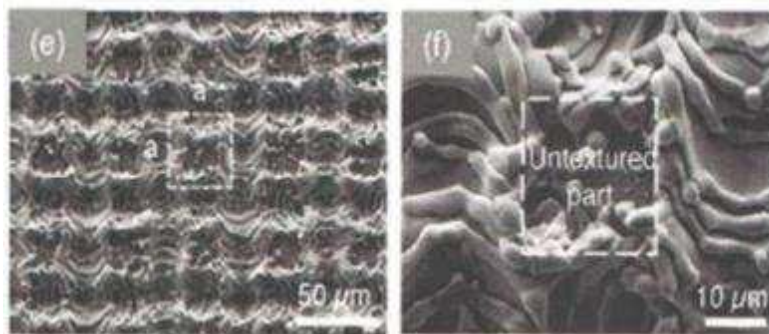
Diketahui variasi daya, parameter kerja laser maka akan mempengaruhi morfologi dari permukaan material marking. Seperti terlihat di bawah ini.





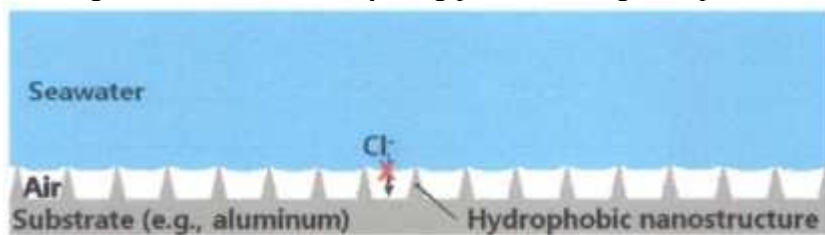
Gambar 3. (a-b) Variasi Daya 40W pembesaran 100 dan 300x, (c-d) Variasi Daya 60W pembesaran 100 dan 300x

Pada permukaan material hasil laser marking didapatkan kondisi permukaan yang kasar berbeda dengan keadaan permukaan material sebelum dilakukan *marking*. Hal itu terjadi karena permukaan material terkikis karena pelelehan dan penguapan material akibat panas yang ditimbulkan dari laser. Permukaan yang ideal dan baik untuk didapatkan hasil ideal laser *marking* adalah keadaan dimana memiliki alur/kisi yang jelas dengan terdapat proporsi permukaan material tidak dihilangkan (*untextured part*) seperti gambar di bawah.



Gambar 4. Hasil SEM pada sampel material hasil laser marking dengan garis separator variasi jarak 50 μm

Pada permukaan material hasil laser marking terdapat 3 tahap pembentukan pola/alur akibat parameter kerja laser *marking* yaitu peleburan, percikan dan pembekuan. Sisa hasil lelehan yang terbentuk terselubungi dengan lapisan nanopartikel yang mengubah morfologi permukaan sebagai hasil dari pendinginan cepat dari percikan material. Permukaan yang memiliki pola kisi lebih besar pola kisi yang lebih rumit dengan daerah ablasi yang lebih besar. Terlihat pada hasil SEM dengan parameter kerja 40W dan 60W terlihat pola kisi yang rumit dan tidak membentuk alur yang jelas hal ini menyebabkan kualitas hasil *marking* yang tidak baik dan memerlukan pengaturan kembali parameter untuk proses kerja *marking* yang akan dilakukan. Adanya perlakuan *marking* material sebetulnya dapat menghindarkan material dari korosi dengan menjadikan permukaan hasil laser *marking* mempunyai kemampubasahan permukaan yang memiliki sifat superhidrofobik akibat adanya kemampuan permukaan material untuk menahan udara pada permukaannya sehingga meminimalkan area kontak antara air dan permukaan logam sehingga mencegah larutan korosif menyerang permukaan logam seperti Gambar 5.



Gambar 5. Skematik permukaan superhidrofobik rendaman lingkungan air laut

Penentuan kadar salinitas air laut dan perendaman

Untuk media perendaman digunakan air laut sebagai media korosif yang di ambil di pantai yang berada di Desa Makarti, Kecamatan Bahodopi, Kabupaten Morowali. Pengujian kadar salinitas pada air laut diperlukan untuk mengetahui kadar garam pada air laut yang digunakan nantinya sebagai media perendaman. Pengujian kadar salinitas menggunakan alat berupa salinometer tipe C-100 A 5 in 1 seperti terlihat pada Gambar 6. Hasilnya diketahui kandungan salinitas pada air laut yaitu 32,8 ppt (*Parts Per Thousand Parts*) yang artinya terdapat 32,8 gram garam terlarut pada 1000 gram air laut yang ekuivalen dengan kadar salinitas 3,28%. Kadar salinitas air laut rata-rata di Indonesia 3,5%. Hal ini karena curah hujan yang tinggi Indoensia yang terletak di kawasan tropis.



Gambar 6. Pengujian kadar salinitas



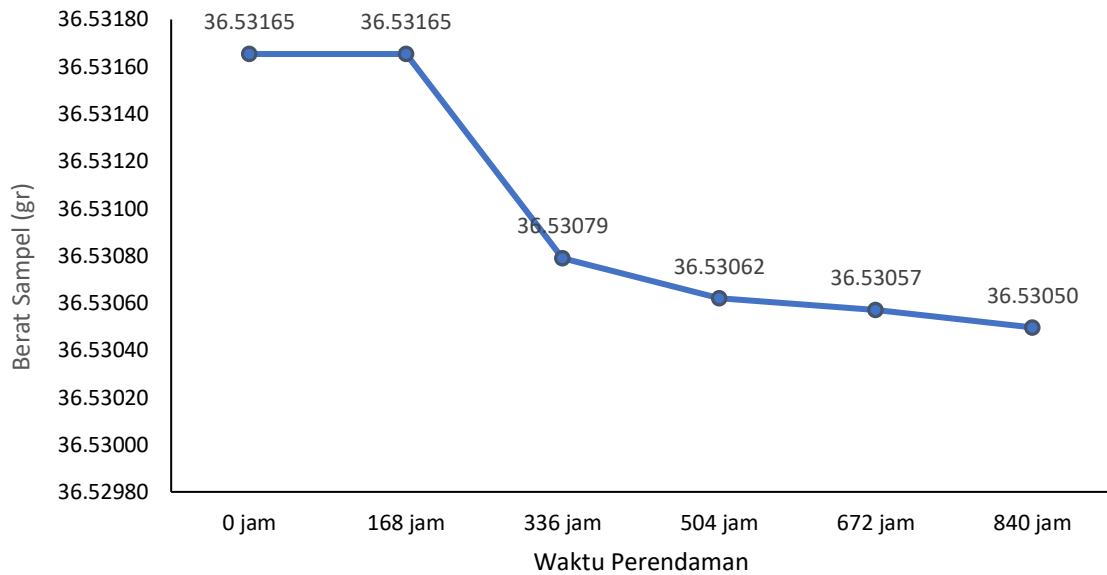
Gambar 7. Perendaman spesimen

Penentuan kehilangan berat

Pada penelitian ini perhitungan laju korosi dilakukan menggunakan metode kehilangan berat. Sebelum menghitung laju korosi dilakukan pengambilan data kehilangan berat spesimen dan luas permukaan spesimen terlebih dahulu baik pada variasi *daya* 60W dan 40W sesuai standar pengujian laju korosi pada standar ASTM G31.

Tabel 1. Data berat yang hilang setelah 840 jam perendaman pada variasi *daya* 60W

No	Berat Awal	Berat Akhir (gr)					Weight Loss (gr)	Luas (cm ²)
	(gr)	168 jam	336 jam	504 jam	672 jam	840 jam		
1	37.0547	37.0547	37.053	37.053	37.053	37.0529	0.0018	24.14274
2	34.8743	34.8743	34.8736	34.8736	34.8736	34.8735	0.0008	22.66664
3	35.8765	35.8765	35.8751	35.8751	35.875	35.875	0.0015	23.45179
4	35.0373	35.0373	35.037	35.0368	35.0368	35.0368	0.0005	22.65271
5	34.9101	34.9101	34.9099	34.9099	34.9098	34.9097	0.0004	22.78606
6	36.0856	36.0856	36.084	36.084	36.084	36.084	0.0016	22.9728
7	37.3979	37.3979	37.397	37.397	37.397	37.3969	0.001	23.99465
8	35.3969	35.3969	35.3962	35.396	35.396	35.396	0.0009	23.04416
9	38.6832	38.6832	38.6816	38.6812	38.6812	38.6812	0.002	25.10756
10	37.7721	37.7721	37.7711	37.7711	37.7711	37.7711	0.001	24.56951
11	33.3026	33.3026	33.3019	33.3019	33.3019	33.3019	0.0007	21.58643
12	37.2247	37.2247	37.2244	37.2238	37.2238	37.2236	0.0011	23.96077
13	35.1536	35.1536	35.1529	35.1527	35.1524	35.1523	0.0013	23.15897
14	36.5295	36.5295	36.5284	36.5284	36.5284	36.5283	0.0012	23.97894
15	36.7839	36.7839	36.7828	36.7828	36.7828	36.7828	0.0011	23.75622
16	37.3241	37.3241	37.3241	37.323	37.323	37.323	0.0011	24.35477
17	41.373	41.373	41.3724	41.3724	41.3724	41.3724	0.0006	26.86125
18	36.6875	36.6875	36.6858	36.6856	36.6856	36.6856	0.0019	23.74005
19	43.1533	43.1533	43.151	43.151	43.1507	43.1506	0.0027	28.16213
20	35.8028	35.8028	35.8022	35.8021	35.8021	35.8019	0.0009	21.91119
21	35.2724	35.2724	35.2716	35.2716	35.2716	35.2715	0.0009	22.92192
22	35.4878	35.4878	35.4869	35.4865	35.4865	35.4864	0.0014	23.16857
23	35.7368	35.7368	35.7364	35.7355	35.7351	35.735	0.0018	23.32885
24	36.6773	36.6773	36.6772	36.6772	36.6772	36.677	0.0003	23.66255
25	35.6078	35.6078	35.6077	35.6077	35.6076	35.6074	0.0004	22.9532
26	34.6173	34.6173	34.6163	34.6162	34.6162	34.6161	0.0012	22.60688
\bar{x}	36.5316	36.5316	36.5307	36.5306	36.5305	36.5304	0.00115	

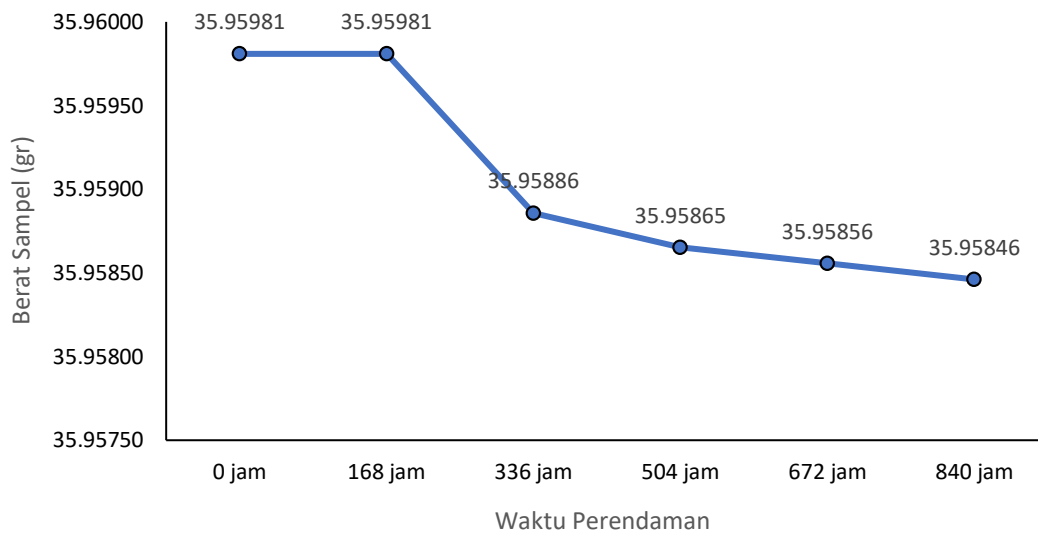


Gambar 8. Grafik Kehilangan Berat Rata-Rata Sampel Berdasarkan Lama Perendaman Sampel Variasi 60W

Tabel 2. Data berat yang hilang setelah 840 jam perendaman pada variasi daya 40W

No	Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)					hilang Berat (gr)	Luas (cm ²)
		168 jam	336 jam	504 jam	672 jam	840 jam		
1	37.6691	37.6691	37.6688	37.6683	37.6683	37.6683	0.0008	24.27027
2	38.6555	38.6555	38.6539	38.6538	38.6536	38.6536	0.0019	25.38204
3	34.3584	34.3584	34.3574	34.3569	34.3568	34.3567	0.0017	22.2011
4	36.8876	36.8876	36.8849	36.8838	36.8835	36.8834	0.0042	24.00211
5	36.8339	36.8339	36.8327	36.8324	36.8323	36.8322	0.0017	23.92731
6	35.1078	35.1078	35.1065	35.1065	35.1065	35.1064	0.0014	23.34301
7	35.0337	35.0337	35.0331	35.0331	35.033	35.033	0.0007	21.65971
8	34.8587	34.8587	34.8584	34.8583	34.8583	34.8583	0.0004	22.6963
9	41.2871	41.2871	41.2869	41.2867	41.2865	41.2864	0.0007	26.70108
10	35.4290	35.429	35.4275	35.4275	35.4275	35.4273	0.0017	23.3472
11	34.6744	34.6744	34.6741	34.674	34.674	34.6739	0.0005	22.46713
12	34.7797	34.7797	34.7789	34.7782	34.7782	34.7781	0.0016	22.5936
13	34.2661	34.2661	34.265	34.265	34.2649	34.2648	0.0013	22.30145
14	34.8768	34.8768	34.8759	34.8759	34.8759	34.8759	0.0009	22.87922
15	34.5641	34.5641	34.5633	34.5633	34.5633	34.5631	0.0010	22.22626
16	34.6431	34.6431	34.6425	34.6423	34.6423	34.6421	0.0010	22.75044
17	35.6763	35.6763	35.6758	35.6758	35.6753	35.6751	0.0012	23.00501
18	38.1971	38.1971	38.1963	38.1963	38.1961	38.196	0.0011	24.80123
19	36.3812	36.3812	36.3805	36.3803	36.3802	36.38	0.0012	23.4037
20	34.1767	34.1767	34.1756	34.1753	34.1752	34.1752	0.0015	22.41266
21	37.3133	37.3133	37.3124	37.312	37.312	37.3119	0.0014	24.52542

22	35.4682	35.4682	35.4666	35.4666	35.4666	35.4665	0.0017	23.06194
23	35.9378	35.9378	35.9367	35.9367	35.9365	35.9364	0.0014	23.55612
\bar{x}	35.9598	35.9598	35.9589	35.9586	35.9586	35.9584	0.00135	



Gambar 9. Grafik Kehilangan Berat Rata-Rata Sampel Berdasarkan Lama Perendaman Sampel Variasi 40W

Pada proses laju korosi dengan metode kehilangan berat (*weight lose*) sangat tergantung dengan besarnya kehilangan berat pada material yang akan dihitung berdasarkan selisih antara berat material mula-mula dengan berat material setelah perendaman. Pada variasi daya laser 60W terlihat bahwasannya pada rentang waktu perendaman 0–840 jam *stainless steel* hasil laser *marking* mengalami penurunan berat sampel dimana penurunan berat sampel paling besar terjadi pada rentang waktu 168-336 jam 0.00086 gr atau sekitar 74.78% dari total penurunan berat. sebanyak hal ini dikarenakan mulai terjadinya proses reaksi oksidasi pada permukaan material sehingga terjadi reaksi korosi sehingga membentuk produk hasil oksidasi (karat) yang mengakibatkan berat sampel turun drastic dan terus menurun sampai pada rentang waktu 840 jam dengan selisih kehilangan berat adalah 0.00115 gr.

Pada variasi daya laser 40W terlihat sama hasilnya pada rentang waktu perendaman 0–840 jam *stainless steel* hasil laser *marking* mengalami penurunan berat sampel dimana penurunan berat sampel paling besar terjadi pada rentang waktu 168-336 jam 0.00095 gr atau sekitar 70.37% dari total penurunan berat. sebanyak hal ini dikarenakan mulai terjadinya proses reaksi oksidasi pada permukaan material sehingga terjadi reaksi korosi sehingga membentuk produk hasil oksidasi (karat) yang mengakibatkan berat sampel turun drastic dan terus menurun sampai pada rentang waktu 840 jam dengan selisih kehilangan berat adalah 0.00135 gr. Pada penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Zuchry dkk (Zuchry & Soemardji, 2018) secara khusus melakukan penelitian mengenai pengaruh laju korosi pada sampel *stainless steel* pada media air laut tanpa dilakukan perlakuan apapun mendapatkan hasil pengurangan berat terbesar terjadi pada perendaman 2160 jam.

Penentuan laju korosi

Setelah diperoleh data kehilangan berat dan luas permukaan spesimen, selanjutnya menentukan laju korosi yang terjadi pada *stainless steel* 304 hasil dari fiber laser *marking* dengan media perendaman air laut pada variasi daya 60W dan 40W pada perendaman 840 jam dapat dilihat pada tabel berikut.

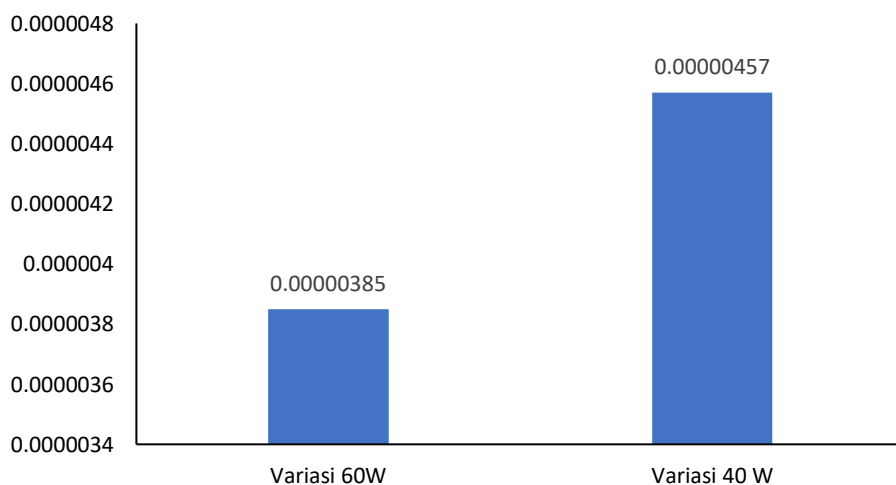
Tabel 4. Laju Korosi pada *stainless steel* hasil *laser marking* variasi daya 60W

No	Kehilangan Berat (gr)	\bar{x} (gr)	Laju Korosi (mpy)	\bar{x} (mpy)
1	0.0018		0.00000592	
2	0.0008		0.00000280	
3	0.0015		0.00000508	
4	0.0005		0.00000175	
5	0.0004		0.00000139	
6	0.0016		0.00000553	
7	0.001		0.00000331	
8	0.0009		0.00000310	
9	0.002		0.00000633	
10	0.001		0.00000323	
11	0.0007		0.00000258	
12	0.0011		0.00000365	
13	0.0013	0.00115	0.00000446	0.00000385
14	0.0012		0.00000398	
15	0.0011		0.00000368	
16	0.0011		0.00000359	
17	0.0006		0.00000177	
18	0.0019		0.00000636	
19	0.0027		0.00000762	
20	0.0009		0.00000326	
21	0.0009		0.00000312	
22	0.0014		0.00000480	
23	0.0018		0.00000613	
24	0.0003		0.00000101	
25	0.0004		0.00000138	
26	0.0012		0.00000422	

Tabel 5. Laju Korosi pada *stainless steel* hasil *laser marking* variasi daya 40W

No	Kehilangan Berat (gr)	Rata – Rata (gr)	Laju Korosi (mpy)	Rata – Rata (mpy)
1	0.0018		0.00000262	
2	0.0008		0.00000595	
3	0.0015		0.00000608	
4	0.0005		0.00001391	

5	0.0004		0.00000565	
6	0.0016		0.00000477	
7	0.001		0.00000257	
8	0.0009		0.00000140	
9	0.002		0.00000208	
10	0.001		0.00000579	
11	0.0007		0.00000177	
12	0.0011		0.00000563	
13	0.0013	0.00135	0.00000463	0.00000457
14	0.0012		0.00000313	
15	0.0011		0.00000358	
16	0.0011		0.00000349	
17	0.0006		0.00000415	
18	0.0019		0.00000352	
19	0.0027		0.00000407	
20	0.0009		0.00000532	
21	0.0009		0.00000454	
22	0.0014		0.00000586	
23	0.0018		0.00000472	



Gambar 10. Perbandingan laju korosi antara *stainless steel* variasi marking 60W dan 40W

Fontana (1978) dalam bukunya “*corrosion engineering*” mengelompokkan ketahanan korosi material dapat dikelompokkan berdasarkan kategori berdasarkan nilai dari laju korosi. Laju korosi merupakan suatu besaran yang menyatakan cepat atau lambatnya suatu material bereaksi dengan lingkungannya dan mengalami korosi sehingga mengalami kerusakan pada material. Kerusakan material akibat korosi biasanya ditunjukkan dengan laju penetrasi. Berdasarkan tabel di atas dapat diketahui bahwasannya laju korosi untuk *stainless steel* hasil *laser*

marking dengan variasi daya 60W dan 40W masing-masing adalah 0.0000385 mpy dan 0.0000457 mpy. Sehingga berdasarkan tingkat ketahanan korosi berdasarkan laju korosi material *stainless steel* tersebut berada di dalam kategori *outstanding* yang artinya memiliki daya tahan korosi yang sangat baik. Muhammad Zuchry dkk (Zuchry & Soemardji, 2018) secara khusus melakukan penelitian mengenai pengaruh laju korosi pada *stainless steel* pada media air laut. *Stainless steel* yang digunakan memiliki pxlxt plat yaitu 20x25x3 mm dengan material yang memiliki kekuatan tarik 646 Mpa, *yield strength* 270 Mpa, *elongation* 50%. Hasilnya pada *stainless steel* hasil perendaman pengurangan berat terjadi pada perendaman 2160 jam dengan nilai laju korosi $3,9189 \times 10^{-3}$ mm/tahun.

SIMPULAN

Dari hasil penelitian diketahui bahwa pengaruh waktu perendaman terhadap kualitas laser marking dapat mempengaruhi kualitas laser marking dimana permukaan *stainless steel* telah mengalami korosi secara visual dan laju 840 jam dengan laju korosi untuk *stainless steel* hasil *laser marking* dengan variasi daya 60W dan 40W masing-masing adalah 0.0000385 mpy dan 0.0000457 mpy. Sehingga berdasarkan tingkat ketahanan korosi berdasarkan laju korosi material *stainless steel* tersebut berada di dalam kategori *outstanding*. Untuk selanjutnya peneliti menyarankan penentuan kehilangan berat selama 2160 jam atau 90 hari perendaman kemudian penentuan laju korosi dengan waktu perendaman yang lebih lama dan yang terakhir pengujian SEM untuk pengamatan dalam skala mikro korosi yang terjadi pada permukaan material.

DAFTAR RUJUKAN

- Chen, J., Xie, X., Zou, T., Zhang, Y., Wang, H., & Liang, Z. (2023). Improvement of the high-temperature oxidation resistance of 254SMo using ultrasonic strengthening grinding. *Journal of Materials Research and Technology*, 27, 2052–2065. <https://doi.org/10.1016/J.JMRT.2023.10.068>
- Cholkar, A., McCann, R., Perumal, G., Chatterjee, S., Swayne, M., Kinahan, D., & Brabazon, D. (2023). Advances in laser-based surface texturing for developing antifouling surfaces: A comprehensive review. *Applied Surface Science Advances*, 18, 100513. <https://doi.org/10.1016/J.APSADV.2023.100513>
- de Oliveira, D. A., Brito, P. P., Magalhães, F. de C., Cangussu, V. M., Azzi, P. C., Ardisson, J. D., Rocha, A. da S., & Abrão, A. M. (2024). Influence of deep rolling on the α' -martensite formation in the subsurface, geometrically necessary dislocations and corrosion resistance of austenitic stainless steel AISI 304. *Surface and Coatings Technology*, 487, 131011. <https://doi.org/10.1016/J.SURFCOAT.2024.131011>
- Gupta, P., Sharma, A. K., & Singh, I. (2024). Plasma formation and material removal characteristics in microwave-metal discharge-based machining of AISI 304 stainless steel. *Journal of Manufacturing Processes*, 124, 1159–1179. <https://doi.org/10.1016/J.JMAPRO.2024.06.069>
- He, S., Gao, S., Li, J., He, S., Yu, Y., Wu, J., Wang, X., Wang, G., Chen, X., & Zhou, F. (2024). Research on an in-situ synchronous CO elimination method in blasting operations and engineering experimental application based on nano-CO catalysts. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(4), 113260. <https://doi.org/10.1016/J.JECE.2024.113260>
- Huang, K., Wang, K., Lee, P. K. C., & Yeung, A. C. L. (2023). The impact of industry 4.0 on supply chain capability and supply chain resilience: A dynamic resource-based view. *International Journal of Production Economics*, 262, 108913. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2023.108913>
- Jia, M., Wang, Y., Yue, J., Cao, C., Li, K., Yu, Y., Li, Y., & Lu, Z. (2024). Recent progress in laser shock peening: Mechanism, laser systems and development prospects. *Surfaces and Interfaces*, 44, 103757. <https://doi.org/10.1016/J.SURFIN.2023.103757>

- Kasha, A., Srinivasan, K. V., Obadimu, S. O., & Kourousis, K. I. (2023). Immersion corrosion of material extrusion steel 316 L: Influence of immersion time and surface roughness. *Materials Today Communications*, 35, 106394. <https://doi.org/10.1016/J.MTCOMM.2023.106394>
- Kim, B. heon, Kim, K. hwan, Kang, Y. jin, Kim, S. shin, & Kim, H. je. (2024). Hastelloy C276/AISI SS304 dissimilar metal welding: A comparative review of the effective application of laser and Micro-GTAW. *Journal of Materials Research and Technology*, 32, 621–633. <https://doi.org/10.1016/J.JMRT.2024.07.185>
- Korakana, A., Korakana, S., Ulmek, N., & Pagare, A. K. (2020a). Analyzing the effect of the parameters of laser etching process influencing the corrosion resistance and surface roughness of marine grade 316 stainless steel. *Materials Today: Proceedings*, 32(xxxx), 452–462. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.130>
- Korakana, A., Korakana, S., Ulmek, N., & Pagare, A. K. (2020b). Analyzing the effect of the parameters of laser etching process influencing the corrosion resistance and surface roughness of marine grade 316 stainless steel. *Materials Today: Proceedings*, 32, 452–462. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2020.02.130>
- Kosec, T., Legat, A., Kovač, J., & Klobčar, D. (2019). Influence of laser colour marking on the corrosion properties of low alloyed Ti. *Coatings*, 9(6). <https://doi.org/10.3390/COATINGS9060375>
- Kostyuk, G. K., Shkuratova, V. A., Sennov, A. A., Petrov, A. A., & Nesterov, N. A. (2025). Microstructuring of fused silica by laser-induced microplasma using a pyrographite target for phase optical elements fabrication. *Optics & Laser Technology*, 181, 111657. <https://doi.org/10.1016/J.OPTLASTEC.2024.111657>
- Leone, C., Genna, S., Caprino, G., & De Iorio, I. (2010). AISI 304 stainless steel marking by a Q-switched diode pumped Nd:YAG laser. *Journal of Materials Processing Technology*, 210(10), 1297–1303. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2010.03.018>
- Merino, R. I., Laguna-Bercero, M. A., Lahoz, R., Larrea, Á., Oliete, P. B., Orera, A., Peña, J. I., Sanjuán, M. L., & Sola, D. (2022). Laser processing of ceramic materials for electrochemical and high temperature energy applications. *Boletín de La Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 61, S19–S39. <https://doi.org/10.1016/J.BSECV.2021.09.007>
- Pandey, M., & Doloi, B. (2022). Parametric analysis on fiber laser marking characteristics for generation of square shaped marked surface on stainless steel 304. *Materials Today: Proceedings*, 56, 1908–1913. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2021.11.169>
- Pieretti, E. F., Pessine, E. J., Correa, O. V., de Rossi, W., & das Neves, M. D. M. (2015). Effect of laser parameters on the corrosion resistance of the ASTM F139 stainless steel. *International Journal of Electrochemical Science*, 10(2), 1221–1232.
- Qi, J., Wang, K. L., & Zhu, Y. M. (2003). A study on the laser marking process of stainless steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 139(1–3), 273–276. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(03\)00234-6](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(03)00234-6)
- Schiavon, N., Melfos, V., Salzer, R., Lunkwitz, R., Chrysafis, K., Spathis, P., Merachtsaki, D., Triantafyllidis, K., Giannakoudakis, P., Xidas, P., Gigante, G. E., Ridolfi, S., Lahoz, R., Angurel, L. A., Brauch, U., Estepa, L. C., & de la Fuente Leis, G. F. (2012). *Applying the Techniques on Materials II*. 247–332. https://doi.org/10.1007/978-3-642-30985-4_6
- Singh, D., Kumar, V., Nandal, V., & Hosmani, S. S. (2024). Investigating Microstructure Dynamics and Strain Rate Sensitivity in Gradient Nanostructured AISI 304 L Stainless Steel: TEM and Nanoindentation Insights. *Materials Today Communications*, 110386. <https://doi.org/10.1016/J.MTCOMM.2024.110386>
- Švantner, M., Kučera, M., Smazalová, E., Houdková, Š., & Čerstvý, R. (2016). Thermal effects of laser marking on microstructure and corrosion properties of stainless steel. *Applied Optics*, 55(34), D35. <https://doi.org/10.1364/ao.55.000d35>

- Toleti, K. S., Yarrakula, S., Modupalli, N., Thangaraju, S., Anandakumar, S., & Natarajan, V. (2024). Optimization of laser engraving labeling conditions using response surface methodology and its impact on quality characteristics of dragon fruit (*Hylocereus undatus*) peels. *Food and Humanity*, 3, 100342. <https://doi.org/10.1016/J.FOOHUM.2024.100342>
- Xiang, Y. F., Mei, R. L., Azad, F., Zhao, L. Z., Su, S. C., Lu, G. G., & Wang, S. P. (2022). Investigation by nanosecond fiber laser for hybrid color marking and its potential application. *Optics & Laser Technology*, 147, 107553. <https://doi.org/10.1016/J.OPTLASTEC.2021.107553>
- Xu, M., Ma, H., Zhong, X., Zhao, Q., Chen, S., & Zhong, R. (2023). Fast and accurate registration of large scene vehicle-borne laser point clouds based on road marking information. *Optics & Laser Technology*, 159, 108950. <https://doi.org/10.1016/J.OPTLASTEC.2022.108950>
- Zhang, M. (2020). *Corrosion Behaviour of Laser Marked Austenitic 304 Stainless Steel*.
- Zuchry, M., & Soemardji, L. (2018). Laju Korosi Stainless Steel Dalam Media Air Laut. *Jurnal Mekanikal*, 9(2), 1–6.