

PENGARUH KEKASARAN *STAINLESS STEEL* TIPE 304 YANG DIGUNAKAN UNTUK KAWAT ORTODONTIK TERHADAP LAJU KOROSI PADA LARUTAN SALIVA BUATAN

*Daniel Sianipar¹, Agus Suprihanto², Gunawan Dwi Haryadi²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: danielsianipar515@gmail.com

Abstrak

Pada zaman modern ini, semakin tinggi populasi individu di seluruh dunia termasuk Indonesia yang mengalami masalah gigi yang tidak rata, baik pria maupun wanita. Kawat ortodonti, yang juga dikenal sebagai *archwire*, adalah komponen krusial dari perangkat ortodonti tetap yang bertujuan untuk memindahkan gigi ke posisi yang diinginkan. Kawat ortodonti dari bahan *stainless steel* adalah jenis yang termasuk paling umum dipergunakan dalam perawatan ortodontik saat sekarang ini, karena keunggulan seperti ketahanan terhadap korosi. Salah satu jenis material yang dipakai yaitu *stainless steel* 304. Kawat *stainless steel* 304 terus terpapar langsung dengan saliva di dalam mulut dan rentan terhadap korosi, sehingga dalam penelitian ini menggunakan 2 metode yaitu metode kekurangan berat (*weight loss*) yang di rendam dalam larutan saliva buatan dan juga metode polarisasi linier yang menggunakan larutan saliva buatan sebagai larutan pengujian. Tujuannya adalah untuk memahami perbedaan laju korosi tergantung pada tingkat kekasaran permukaan dan apakah bahan *stainless steel* 304 cocok untuk digunakan dalam perangkat ortodontik. Perbedaan tingkat kekasaran permukaan pada *stainless steel* 304 memiliki dampak terhadap laju korosi dari spesimen tersebut. Misalnya, material dengan tingkat kekasaran 0,226 μm memiliki laju korosi 0,048mm/tahun setelah direndam dalam larutan saliva buatan selama delapan minggu dengan penerapan metode *weight loss*, sementara permukaan yang tingkat kekasarannya 0,120 μm memiliki laju korosi 0,013 mm/tahun. Hasil dari metode polarisasi linier menunjukkan bahwa pada material dengan tingkat kekasaran 0,147 μm memiliki laju korosi spesimen 0,038338 mm/tahun, sedangkan pada tingkat kekasaran 0,093 μm memiliki laju korosi 0,0009178 mm/tahun. Hasil tersebut menggambarkan bahwa semakin halus permukaan dari spesimen, laju korosinya semakin kecil. Dengan demikian, *stainless steel* 304 layak digunakan sebagai bahan pembuatan kawat ortodonti jika tingkat kekasaran permukaannya tidak lebih dari 0,120 μm .

Kata kunci: korosi; metode *weight loss*; metode polarisasi linier; *stainless steel* 304

Abstract

In modern times, an increasing number of individuals throughout the world, including Indonesia, are experiencing problems with uneven teeth, both men and women. Orthodontic wire, also known as archwire, is a crucial component of fixed orthodontic devices that aims to move teeth into the desired position. Stainless steel orthodontic wire is the type most commonly used in orthodontic treatment today, because of its advantages such as corrosion resistance. One type of material used is stainless steel 304. Stainless steel 304 wire is continuously exposed to saliva in the mouth and is susceptible to corrosion, so in this study two methods were used, namely the weight loss method which was soaked in a water solution, artificial saliva and also the linear polarization method which uses an artificial saliva solution as a test solution. The aim is to understand the differences in corrosion rates depending on the level of surface roughness and whether 304 stainless steel material is suitable for use in orthodontic devices. Differences in the level of surface roughness on stainless steel 304 have an impact on the corrosion rate of the specimen. For example, material with a roughness level of 0.226 μm has a corrosion rate of 0.048 mm/year after being soaked in an artificial saliva solution for eight weeks using the weight loss method, while a surface with a roughness level of 0.120 μm has a corrosion rate of 0.013 mm/year. The results of the linear polarization method show that material with a roughness level of 0.147 μm has a specimen corrosion rate of 0.038338 mm/year, while a material with a roughness level of 0.093 μm has a corrosion rate of 0.0009178 mm/year. These results illustrate that the smoother the specimen surface, the smaller the corrosion rate. Thus, stainless steel 304 is suitable for use as a material for making orthodontic wires if the surface roughness level is not more than 0.120 μm .

Keywords: corrosion; linear polarization method; *stainless steel* 304; weight loss method

1. Pendahuluan

Peningkatan jumlah orang yang mengalami maloklusi terus meningkat dari tahun ke tahun. Maloklusi dapat terjadi pada setiap orang tanpa memandang jenis kelamin, laki-laki maupun perempuan dapat mengalami maloklusi. Maloklusi berada di peringkat tiga dalam hierarki masalah kesehatan gigi dan mulut setelah karies gigi dan penyakit periodontal. Maloklusi merupakan suatu ketidaksesuaian hubungan gigi atau rahang yang menyimpang dari normal [1].

WHO menyatakan bahwa maloklusi merupakan kelainan atau ketidaknormalan fungsi yang bisa menghalangi kesehatan fisik dan psikologis individu yang memerlukan penanganan. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Novawaty Eva dan kawan-kawan pada tahun 2023 berjudul “Hubungan Tingkat Keparahan Maloklusi dengan Kualitas Hidup Mahasiswa Fakultas Kedokteran Gigi” melibatkan 88 mahasiswa sebagai subjek penelitian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentase tertinggi individu yang mengalami maloklusi adalah perempuan (81,7%), dengan maloklusi ringan menjadi tingkat keparahan yang paling umum (76,1%). Sebagian besar partisipan menilai kualitas hidup mereka sebagai baik (81,8%) berdasarkan pengukuran menggunakan OHIP-14. Analisis korelasi antara tingkat keparahan maloklusi dan kualitas hidup menggunakan uji Spearman menunjukkan nilai signifikansi sebesar $p=0,004$ [2].

Tingkat prevalensi Maloklusi di Indonesia adalah sebesar 14,3%, angka ini menunjukkan adanya tantangan serius dalam kesehatan gigi dan mulut. Terdapat sekitar 0,7% dari keseluruhan kasus maloklusi yang memperoleh perawatan yang tepat. Menurut hasil Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas) Nasional tahun 2013 yang mencakup 14 provinsi di Indonesia menunjukkan hasil sebesar 25,9% dari populasi di Indonesia mengalami masalah gigi dan mulut. Kurangnya kesadaran masyarakat tentang pentingnya merawat kesehatan gigi dan mulut semakin memperburuk situasi ini [3] oleh karena itu, diperlukan kesadaran dari seluruh lapisan masyarakat dalam mengatasi masalah gigi dan mulut yang ada di Indonesia.

Perawatan maloklusi dapat menggunakan alat ortodonti seperti kawat dan *brackets*. Ortodontik adalah cabang dari ilmu kedokteran gigi yang mendalami perkembangan, pertumbuhan, variasi yang terjadi pada rahang, wajah dan gigi beserta perawatan korektif yang bertujuan untuk mencapai oklusi normal [4]. Perawatan ortodonti bertujuan untuk menghindari faktor-faktor yang dapat mengubah pertumbuhan gigi dan rahang yang sehat, mencegah keparahan maloklusi, dan memulihkannya menjadi oklusi yang normal [5]. Kawat ortodontik terbuat dari berbagai jenis, seperti *stainless steel*, nickel titanium, *cobalt chromium*, dan beta titanium. Perawatan ortodonti baik yang permanen maupun yang bisa dilepas umumnya menggunakan kawat berbahan *stainless steel*. Kawat dengan bahan *stainless steel* mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan bahan lainnya. Beberapa sifat dari kawat berbahan *stainless steel* adalah baik dalam hal kekuatan, keamanan terhadap tubuh, ketahanan terhadap karat, kekuatan lentur, dan harganya terjangkau. Kawat *stainless steel* biasanya mengandung 18% kromium, 8% nikel, 71% besi, dan 0,2% karbon [3].

Kawat ortodontik (*archwire*) merupakan elemen yang bekerja secara aktif dalam perangkat ortodonti cekat yang bertujuan untuk memindahkan posisi gigi [6]. Saat ini, kawat ortodontik *stainless steel* menjadi jenis kawat yang paling umum diterapkan dalam proses perawatan ortodontik. Sifat super elastis yang ada pada kawat ortodontik dari bahan *stainless steel* merupakan alasan mengapa kawat jenis ini lebih banyak digunakan. Kelebihan lain yang dimiliki kawat ortodontik *stainless steel* adalah komponen mekanismenya yang sangat baik, harga yang sangat terjangkau serta ketahanan yang baik terhadap korosi. Kelebihan-kelebihan tersebut tidak dimiliki oleh bahan yang terbuat dari plastik atau keramik [7]. Kawat ortodontik *stainless steel* 304 memiliki kandungan 0,057% C, 0,470 Si, 1,219 Mn, 0,027 P, 0,002 S, 18,216 Cr, 8,098 Ni, 0,049 N dan sisanya adalah Fe [8].

Korosi adalah akibat dari material logam berinteraksi dengan lingkungan di sekitarnya. Proses korosi ini disebabkan oleh dua jenis reaksi, yaitu oksidasi dan reduksi. Oksidasi terjadi ketika material anodik melepaskan ion elektron, sementara reduksi terjadi ketika material katodik menangkap ion elektron [9]. Korosi dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, termasuk korosi merata, korosi galvanic, korosi sumuran, korosi selektif, korosi celah, korosi erosi hingga korosi merata [10].

Korosi kawat dan braket *stainless steel* di dalam mulut bisa mengakibatkan pelepasan ion logam. Ion logam seperti Cr dan Ni yang dilepaskan ini bisa berbahaya bagi kesehatan, menyebabkan reaksi alergi, efek toksik, dan bahkan karsinogenik. Rongga mulut merupakan lingkungan yang cocok untuk korosi logam karena suhu dan pH saliva yang dapat mempengaruhi stabilitas ion logam. Asam organik dari sisa makanan yang mengandung sulfur juga bisa mendorong pelepasan ion Cr dan Ni dari kawat ortodonti *stainless steel* yang telah lama terpapar dalam mulut. [11]

2. Bahan dan Metode Penelitian

2.1 Alat dan Bahan

1. Mesin *Grinding & Polishing*

Mesin *Grinding and Polishing* merupakan alat untuk memoles dan meratakan permukaan sampel uji dalam pengujian metalografi dan pengujian kekasaran. Pengoperasian mesin *Grinding dan Polishing* dilaksanakan di Laboratorium Metalurgi Fisik Teknik Mesin Universitas Diponegoro.

2. *Surface Roughness Tester*

Surface Roughness Tester dipergunakan dalam mengukur tingkat kekasaran permukaan sampel uji yang telah mengalami proses *grinding* dengan 3 tingkat kekasaran yang berbeda.

3. *Sandpaper*

Sandpaper digunakan untuk memperhalus permukaan sampel uji yang akan digunakan. Proses ini melibatkan penggunaan amplas dengan berbagai tingkat kekasaran, mulai dari grit 240 hingga grit 1200, dengan bantuan mesin *Grinding & Polishing*.

4. Timbangan Digital

Pengukuran berat sampel uji hingga massa dari sampel uji terhadap pengujian yang dilakukan menggunakan timbangan digital. Sampel uji yang dilakukan pengukuran berat merupakan sampel uji yang direndam pada larutan saliva buatan.

5. Corrtest CS300H

Corrtest CS300H merupakan alat ideal yang dipakai untuk mengetahui bahan hingga hasil yang berkaitan dengan laju korosi. Alat ini digunakan peneliti sebagai salah satu metode uji korosi untuk memperoleh data yang akurat pada penelitian ini.

6. Pelat *Stainless Steel* 304

Pelat *stainless steel* 304 menjadi bahan utama pada penelitian ini. Pelat *Stainless Steel* 304 yang digunakan hanya berukuran 200mm x 100mm lalu dipotong menjadi beberapa potongan kecil berukuran 10mm x 10mm.

7. Larutan Saliva

Larutan saliva digunakan untuk merendam beberapa sampel uji yang memiliki tingkat kekasaran permukaan yang berbeda. Larutan ini bertujuan untuk simulasi lingkungan yang realistis dalam pengujian. Komposisi larutan saliva tersebut dilihat dalam gambar 2.7

2.2 Lokasi dan Waktu Pengujian

Lokasi dan waktu pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

A. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Metalurgi dan Fisika, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro. Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro, Laboratorium Metrologi Industri Departemen Teknik Mesin, Universitas Diponegoro.

B. Waktu Penelitian

Penelitian ini berlangsung selama 4 bulan, yaitu pada bulan Agustus 2023 hingga November 2023.

2.3 Prosedur Penelitian

Tahapan proses penelitian ini dilakukan sebagai berikut:

A. Tahapan Proses Pembuatan Sampel Uji

Adapun prosedur pembuatan sampel uji adalah sebagai berikut:

1. Pelat *Stainless Steel* 304 dipotong menjadi sejumlah bagian yang memiliki ukuran 10 x 10 x 6 mm.
2. *Polishing* menggunakan kertas amplas dengan tahapan yang di mulai dari grit 240 hingga 1200, kemudian disesuaikan dengan tingkat kekasaran yang diinginkan pada pengujian ini.
3. Setelah *polishing* selesai, sampel uji yang akan direndam dalam larutan saliva kemudian dilakukan pengecatan pada bagian yang tidak di *grinding* dengan tujuan yaitu mengisolasi bagian tersebut.
4. Pembuatan *mounting* untuk sampel uji yang akan dilakukan *corrosion test* dengan metode polarisasi linier.
5. Tahapan proses pembuatan sampel uji telah selesai.

B. Tahapan Proses Pembuatan *Mounting* Uji Korosi

Adapun proses pembuatan *mounting* uji korosi adalah sebagai berikut:

1. Pipa 1 ½ inch dipotong dengan ketinggian 25 mm sebanyak 9 buah untuk 9 spesimen yang berbeda.
2. Pemotongan kabel listrik sepanjang 100 mm sebanyak 9 buah yang kemudian disolder dengan sampel uji *stainless steel* 304.
3. Pencampuran resin dan katalis di dalam wadah plastik yang telah disediakan.
4. Di atas kaca yang telah disediakan, margarin/pelumas dioleskan pada pipa 1 ½ inch.
5. Tempelkan lilin pada dinding luar pipa 1 ½ inch sehingga membentuk lingkaran.
6. Resin yang telah dicampur dengan katalis dituangkan ke dalam pipa 1 ½ inch yang telah terisi sampel uji *stainless steel* 304.
7. Diamkan resin beberapa saat hingga mengering.
8. Ketika resin telah mengering, resin dilepaskan/keluarkan dari dalam pipa.
9. Tahapan proses pembuatan *mounting* untuk uji korosi telah selesai.

C. Pengujian Kekasaran Permukaan

Metode yang dapat digunakan untuk mengukur permukaan adalah dengan melakukan kontak langsung terhadap permukaan material. Metode ini bekerja dengan prinsip jarum yang digunakan bergerak melintasi dasar material. Ukuran jarum bervariasi tergantung pada tingkat keakuratan alat kekasaran permukaan yang digunakan. Selama pengukuran, *stylus* bergerak secara vertikal mengikuti kontur kekasaran permukaan.

D. D. Pengujian Korosi

Pengujian korosi dilakukan melalui 2 metode, yaitu metode *weight loss* serta metode polarisasi linier dengan menggunakan alat uji korosi Corrtest CS300H.

1. Uji Korosi Metode *Weight Loss* (Metode Hilang Berat)

Persiapan spesimen dan uji korosi menggunakan metode *weight loss* melibatkan pemotongan pelat *stainless steel* 304 menjadi 9 buah dengan ukuran 10 x 10 mm. Selanjutnya, pelat tersebut dipoles dengan kertas amplas mulai dari grit 400, 800, dan 1200. Sebelum spesimen direndam, terlebih dahulu dibersihkan menggunakan air destilasi dan aseton yang berfungsi menghilangkan kotoran. Tiga variasi kekasaran dalam pengujian ini: 400, 800, 1200. Perhitungan laju korosi dilakukan dengan mengukur perbedaan berat awal dan berat akhir spesimen setelah direndam selama 8 minggu atau 1344 jam..

Spesimen direndam pada larutan saliva buatan (pH 7) dengan wadah bejana plastik. Data diambil seminggu sekali, dimana setiap spesimen ditimbang ulang dengan neraca yang memiliki tingkat akurasi hingga 0,0001 gr. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan nilai berat hilang (W), yang nantinya sebagai penghitung laju korosi sesuai dengan persamaan yang berlaku dalam standar yang berlaku.

Tahapan untuk mengetahui besar laju korosi dengan uji *weight loss* sebagai berikut:

1. Mencatat berat awal spesimen serta berat akhir setelah melakukan perendaman pada larutan saliva buatan dengan pH awal ± 7
2. Menghitung jumlah berat yang hilang dengan mengurangkan berat awal dari berat setelah melakukan perendaman pada larutan yang telah ditetapkan.
3. Berat yang hilang sebagai penghitung besar laju korosi.

2. Pengujian Korosi Elektrokimia Metode Polarisisasi Linier

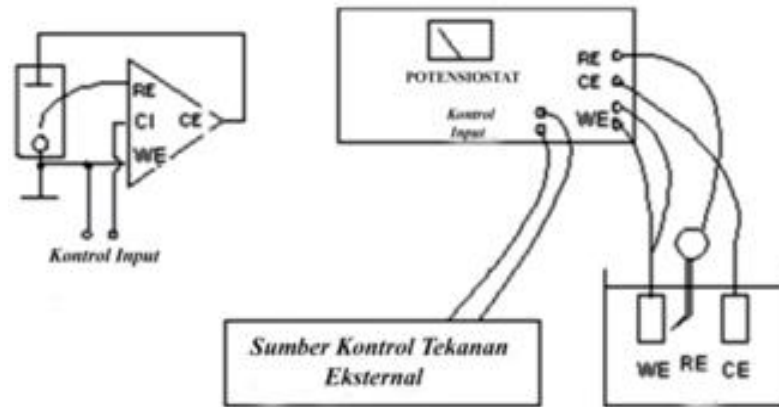
Alat uji korosi CORRTTEST CS300H menggunakan metode elektrokimia dengan tipe sel 3 elektroda untuk menguji laju korosi secara dipercepat. Metode ini melibatkan polarisaasi dari potensial korosi bebas.



Gambar 2.8 Perangkat Alat Uji Korosi Polarisisasi Linier

Skema alat uji korosi tipe 3 sel elektroda akan dijelaskan sebagai berikut:

1. Elektroda kerja (*working electrode*), merupakan elektroda yang akan diteliti menggunakan *stainless steel* 304.
2. Elektroda pembantu (*counter electrode*), berperan dalam menghantarkan arus pada rangkaian yang terbentuk di penelitian, namun tidak bisa dipakai untuk mengukur potensial. Umumnya, elektroda ini terbuat dari bahan seperti batang karbon meskipun platina dan emas juga dapat digunakan.
3. Elektroda acuan (*reference electrode*), menjadi titik referensi yang baik sebagai pengukur potensial elektroda kerja. Arus disalurkan melalui elektroda ini sangat kecil, maka dari itu elektroda ini tidak ikut pada reaksi sel dan potensialnya tetap konstan.

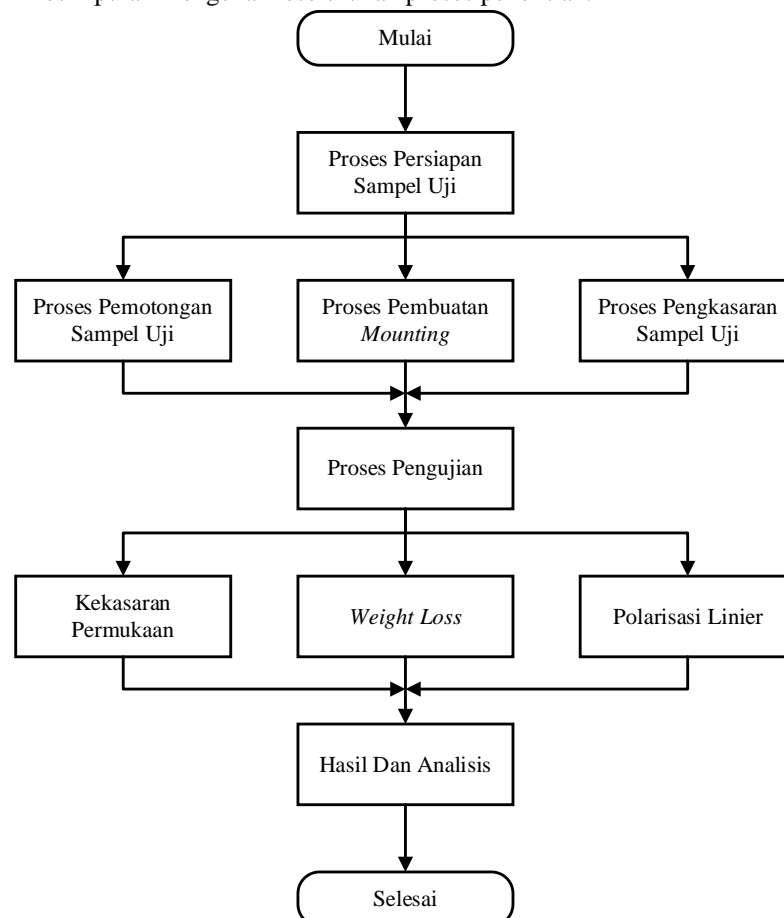


Gambar 2.9 Skema Pengujian Korosi Dengan 3 Elektroda (Danny A.,1996)

Dari gambar 2.9 dapat dilihat skema pengujian korosi metode polarisasi linier dengan menggunakan 3 elektroda yang berbeda di mana ketiga elektroda tersebut terhubung kepada alat CORRTTEST CS300H dan menunjukkan data-data yang diinginkan pada monitor.

Gambar 2.10 adalah diagram alir penelitian di mana proses pertama yang dilakukan adalah mempersiapkan sampel uji dengan tiga tahapan, yaitu pemotongan sampel uji, pembuatan *mounting* dan pengkasaran permukaan menggunakan 3 grit amplas yang berbeda. Setelah tahap persiapan selesai, langkah selanjutnya adalah melakukan tiga jenis pengujian yang berbeda, yaitu pengujian kekasaran permukaan serta pengujian korosi menggunakan metode *weight loss* dan pengujian korosi menggunakan metode polarisasi linier.

Terkumpulnya data yang dibutuhkan maka langkah berikutnya yaitu menganalisis hasil dari pengujian. Melalui analisis ini, dapat ditarik kesimpulan mengenai keseluruhan proses penelitian.



Gambar 2.10 Diagram Alur Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Uji Kekasaran

Informasi tentang Tingkat kekasaran permukaan sampel yang akan diuji menggunakan metode *weight loss* dan polarisasi linier setelah adanya proses pengamplasan dengan grit 400, 800, dan 1200 dapat ditemukan pada Tabel 3.1. Setiap pengukuran memiliki toleransi untuk nilai kekasaran permukaan yaitu $\pm 0,02 \mu\text{m}$.

Tabel 3.1 Hasil Uji Kekasaran Spesimen *Weight Loss*

Grit Amplas	Metode <i>Weight Loss</i>		Metode Polarisasi Linier	
	Kekasaran Permukaan Ra (μm)	Rata Rata Ra (μm)	Kekasaran Permukaan Ra (μm)	Rata Rata Ra (μm)
400	0,170	0,216	0,291	0,218
	0,226		0,217	
	0,252		0,147	
800	0,172	0,136	0,061	0,076
	0,120		0,093	
	0,115		0,075	
1200	0,068	0,079	0,082	0,062
	0,073		0,049	
	0,095		0,055	

Pada Uji korosi dengan metode *weight loss*, hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai kekasaran permukaan melalui sampel setelah diampas dengan amplas grit 400 bervariasi, yakni sebesar $0,170 \mu\text{m}$, $0,226 \mu\text{m}$, dan $0,252 \mu\text{m}$ dengan rata-rata kekasaran yaitu $0,216 \mu\text{m}$. Sementara itu, sampel yang diampas dengan amplas grit 800 menghasilkan nilai kekasaran masing-masing $0,172 \mu\text{m}$, $0,120 \mu\text{m}$, dan $0,115 \mu\text{m}$, dengan rata-rata $0,136 \mu\text{m}$. Sampel yang diampas dengan amplas grit 1200 memiliki nilai kekasaran permukaan $0,068 \mu\text{m}$, $0,073 \mu\text{m}$, dan $0,095 \mu\text{m}$ dengan rata-rata $0,079 \mu\text{m}$.

Pada uji korosi dengan metode polarisasi linier, hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai kekasaran permukaan sampel yang telah diampas dengan amplas grit 400 bervariasi yakni $0,291 \mu\text{m}$, $0,217 \mu\text{m}$, dan $0,147 \mu\text{m}$ dengan rata-rata kekasaran yaitu $0,218 \mu\text{m}$. Sampel yang diampas menggunakan amplas grit 800, jumlah kekasaran permukaan masing-masing adalah $0,061 \mu\text{m}$, $0,093 \mu\text{m}$, dan $0,075 \mu\text{m}$ dengan rata-rata kekasaran $0,076 \mu\text{m}$. Sedangkan sampel yang diampas dengan amplas grit 1200 memiliki nilai kekasaran permukaan $0,082 \mu\text{m}$, $0,049 \mu\text{m}$, dan $0,055 \mu\text{m}$ dengan rata-rata $0,062 \mu\text{m}$.

3.2 Uji Korosi Metode *Weight Loss*

Laju Korosi dihitung dengan rumus (2.2) berdasarkan perhitungan *Weight Loss*. Sebagai contoh, perhitungan laju korosi untuk *stainless steel* 304 dengan perendaman larutan saliva buatan selama 1 minggu (168 jam) maka kekasaran permukaan $0,170 \mu\text{m}$ (grit amplas 400) dapat dilakukan menggunakan rumus 2.2 seperti yang dijelaskan diatas.

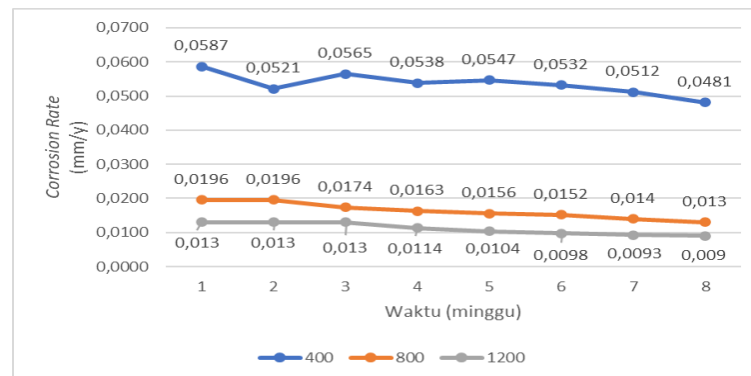
$$CR = \frac{8,76 \times 10^4 \times 0,0006 \text{ gr}}{1 \times 168 \times 8}$$

$$CR = 0,0391 \text{ mm/y}$$

Hasil pengujian laju korosi menggunakan metode *weight loss* pada sampel *stainless steel* 304 yang terendam dalam larutan saliva buatan tersaji dalam Tabel 3.2

Tabel 3.2 Hasil Uji Korosi Spesimen *Weight Loss*

No	T (Minggu)	Spesimen	Ra (µm)	Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)	Berat Hilang (gr)	Laju Korosi (mm/y)
1	1	400B	0,226	6,6995	6,6986	0,0009	0,059
2		800B	0,120	6,7781	6,7778	0,0003	0,02
3		1200 B	0,073	6,5983	6,5981	0,0002	0,013
4	2	400B	0,226	6,6995	6,6979	0,0016	0,052
5		800B	0,120	6,7781	6,7775	0,0006	0,02
6		1200 B	0,073	6,5983	6,5979	0,0004	0,013
7	4	400B	0,226	6,6995	6,6962	0,0033	0,054
8		800B	0,120	6,7781	6,7771	0,001	0,016
9		1200 B	0,073	6,5983	6,5976	0,0007	0,011
10	6	400B	0,226	6,6995	6,6946	0,0049	0,053
11		800B	0,120	6,7781	6,7767	0,0014	0,015
12		1200 B	0,073	6,5983	6,5974	0,0009	0,01
13	8	400B	0,226	6,6995	6,6936	0,0059	0,048
14		800B	0,120	6,7781	6,7765	0,0016	0,013
15		1200 B	0,073	6,5983	6,5972	0,0011	0,009



Gambar 3.1 Hasil Uji Korosi *weight Loss* CR vs Waktu

Gambar 3.1 menggambarkan korelasi waktu perendaman dan laju korosi di sampel *stainless steel* 304 pada larutan saliva. Pada minggu pertama, spesimen dengan grit amplas 400 mengalami tingkat laju korosi sebesar 0,0587 mm/y, yang kemudian menurun seiring berjalannya waktu. Namun, laju korosi pada kekasaran permukaan grit amplas 400 tetap lebih tinggi daripada grit 800 dan 1200. Hal ini disebabkan oleh kekasaran permukaan yang lebih kasar pada grit 400, yang menyebabkan perbedaan potensial dan kecenderungan untuk terkorosi lebih tinggi. Kekasarannya yang meningkat membuat tidak wajarnya permukaan logam, dimana hal tersebut menjadi salah satu pemicu utama terjadinya korosi.

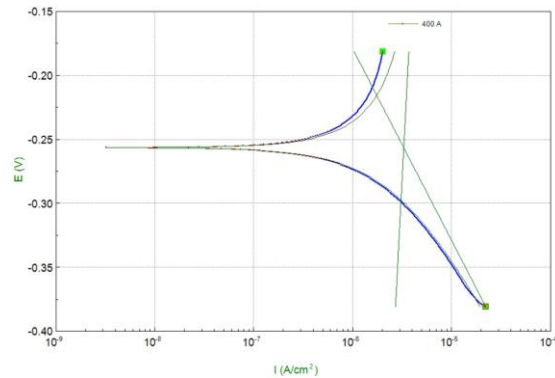
Lapisan pasif terbentuk akibat korosi pada baja meningkat seiring waktu, yang mengakibatkan pertumbuhan lapisan karat yang lebih tebal. Namun, lapisan karat yang tebal ini dapat menghambat reaksi elektrokimia, mengurangi kemampuan polutan terlarut dalam larutan saliva buatan untuk merusak logam. *Stainless steel* pada korosi di lingkungan larutan saliva buatan terlindungi oleh lapisan pasif yang memiliki peranan penting. Namun, perlahan-lahan lapisan pasif dapat hilang dan menyebabkan terjadinya korosi.

3.3 Uji Korosi Metode Polarisation Linier

Prinsip tiga sel elektroda dengan tiga jenis elektroda menjadi penentu uji polarisasi untuk laju korosi. Pertama adalah elektroda kerja, yang merupakan elektroda yang sedang diuji dan luas permukaannya mempengaruhi laju korosi. Kedua yaitu elektroda pembantu yang berfungsi untuk mengalirkan arus pada rangkaian dan di penelitian ini, platina menjadi elektroda pembantu yang digunakan. Selanjutnya, elektroda referensi memiliki peran menjadi titik referensi tolak ukur potensial elektroda kerja, dimana aliran arus di elektroda ini harus sangat kecil. Maka, elektroda pembantu diperlukan pada sel tiga elektroda ini. Elektroda referensi yang dipakai adalah Ag/AgCl. Larutan saliva buatan merupakan larutan elektrolit yang digunakan. Penggunaan alat potensiostat CORRTEST CS300H, memiliki laju korosi dari bagian sampel yang diuji dapat ditentukan melalui pengujian ini.

A. Hasil Pengujian Korosi Untuk Spesimen Grit Amplas 400

Penghitungan laju korosi menggunakan empat titik diagram tafel dengan menarik garis tangensial yang menjadi referensi, kemudian digunakan untuk membentuk dua garis. Terjadinya nilai laju korosi diberikan melalui titik pertemuan dari kedua garis tersebut.



Gambar 3.2 Contoh Grafik Tafel kekasaran Grit Amplas 400

Dengan adanya grafik tersebut, dapat dihasilkan gambaran yang serupa. Garis yang terbentuk pada grafik akan disesuaikan dengan baik untuk menemukan titik tengah, yang dimana menjadi titik pertemuan pada kedua grafik. Hal tersebut menciptakan garis hijau tambahan yang dimana juga saling berpotongan. Setelah terbentuknya garis potong, perangkat lunak selanjutnya menampilkan nilai laju korosi yang terjadi pada sampel.

Informasi mengenai nilai akhir laju korosi sampel melalui kekasaran menggunakan grit 400 tersedia pada tabel berikut.

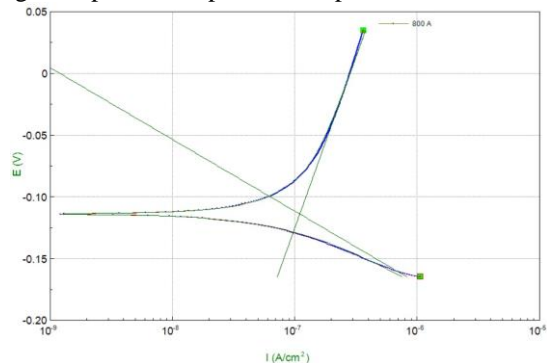
Tabel 3.3 Hasil Uji Korosi Metode Polarisis Linier Grit Amplas 400

Material	E _{corr} (V)	I _{corr} (A/cm ²)	B _a (mV)	B _c (mV)	CR (mm/y)	CR Rata-Rata (mm/y)
400 A	-0,25681	$3,299 \times 10^{-6}$	484	49,92	0,034473	0,0378646
400 B	-0,25091	$3,9029 \times 10^{-6}$	523,8	22,62	0,040783	
400 C	-0,24841	$3,6689 \times 10^{-6}$	420,6	23,7	0,038338	

Data pada Tabel 3.2, variasi potensial, kerapatan arus, serta laju korosi dapat diamati di antara setiap sampel. Variasi ini bisa disebabkan oleh perbedaan kekasaran permukaan pada masing-masing sampel. Meskipun demikian, nilai-nilai tersebut tidak mengalami perubahan yang signifikan dari satu sampel ke sampel lainnya. Contohnya, laju korosi pada Sampel 400 A adalah 0,034473 mm/tahun, sedangkan Sampel 400 B mempunyai laju korosi dengan 0,040783 mm/tahun, dan Sampel 400 C memiliki laju korosi dengan 0,038338 mm/tahun. Maka, terjadinya rata-rata laju korosi pada semua sampel yang diuji yaitu 0,00378646 mm/tahun.

B. Hasil Pengujian Korosi Untuk Spesimen Grit Amplas 800

Uji korosi yang ditunjukkan dari grafik tafel dengan menggunakan metode polarisis linier pada kekasaran permukaan yang diampas dengan grit amplas 800 diperlihatkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Contoh Grafik Tafel Kekasaran Amplas 800

Garis pada grafik disesuaikan dengan baik untuk menemukan titik tengah, yang menjadi titik pertemuan dari kedua grafik tersebut. Hal ini menghasilkan garis hijau tambahan saling berpotongan. Setelah terbentuknya garis potong, perangkat lunak akan menampilkan nilai laju korosi dengan hasil yang terjadi pada spesimen.

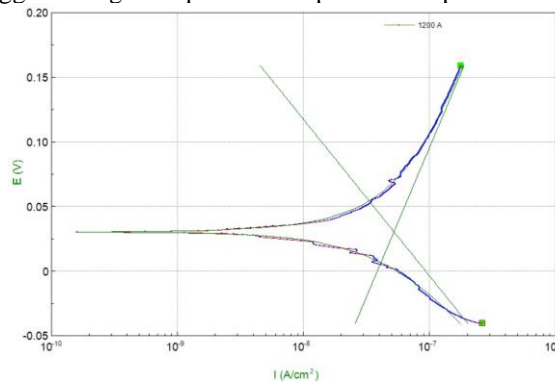
Tabel 3.4 Hasil Uji Korosi Metode Polarisasi Linier Grit Amplas 800

Material	Ecorr (V)	Icorr (A/cm ²)	Ba (mV)	Bc (mV)	CR (mm/y)	CR Rata-Rata (mm/y)
800 A	-0,11425	$1,1005 \times 10^{-7}$	276,75	58,113	0,00115	0,000973676
800 B	-0,13772	$8,7833 \times 10^{-8}$	401,2	50,434	0,0009178	
800 C	-0,1363	$8,1654 \times 10^{-8}$	291,72	53,875	0,00085323	

Dari data dalam Tabel 3.4, terlihat bahwa potensial, kerapatan arus, hingga laju korosi bisa bervariasi di antara setiap spesimen. Variasi tersebut dapat disebabkan oleh kekasaran permukaan setiap spesimen yang berbeda. Meskipun demikian, nilai-nilai itu tidak mengalami perubahan yang relevan dari satu nilai terhadap nilai lainnya. Sebagai contoh, pada spesimen 800A, laju korosinya adalah 0,00115 mm/tahun, Spesimen 800B mempunyai laju korosi yakni 0,0009178 mm/tahun, dan Spesimen 800C memiliki laju korosi sebesar 0,00085323 mm/tahun. Dengan demikian, nilai rata-rata laju korosi yang ada pada semua spesimen yang telah diuji yaitu 0,000973676 mm/tahun.

C. Hasil Pengujian Korosi Untuk Spesimen Grit 1200

Grafik tafel yang mencerminkan hasil dari uji korosi menggunakan metode polarisasi linier dengan permukaan yang diampelas menggunakan grit amplas 1200 diperlihatkan pada Gambar 3.4 di bawah ini.



Gambar 3.4 Contoh Grafik Tafel Kekasaran Grit Amplas 1200

Garis pada grafik disesuaikan seakurat mungkin agar mendapatkan titik tengah, yang menjadi titik pertemuan pada kedua grafik tersebut. Hal ini menghasilkan garis hijau tambahan dengan saling berpotongan. Setelah garis potong sudah terbentuk, perangkat lunak lalu menampilkan spesimen yang terjadi terhadap hasil nilai laju korosi.

Tabel 3.5 Hasil Uji Korosi Metode Polarisasi Linier Grit Amplas 1200

Material	Ecorr (V)	Icorr (A/cm ²)	Ba (mV)	Bc (mV)	CR (mm/y)	CR Rata-Rata (mm/y)
1200 A	0,030188	$5,2275 \times 10^{-8}$	231,14	121,24	0,00054624	0,00032104
1200 B	-0,043015	$1,77087 \times 10^{-8}$	265,67	50,093	0,00017855	
1200 C	-0,10258	$2,2808 \times 10^{-8}$	277,16	41,668	0,00023833	

Dari data dalam Tabel 3.5, terlihat maka potensial, kerapatan arus, hingga laju korosi bisa bervariasi di antara masing-masing spesimen. Variasi tersebut bisa disebabkan oleh permukaan pada setiap spesimen yang kekasarannya berbeda. Meskipun demikian, nilai-nilai itu tidak mengalami perubahan yang relevan dari satu nilai terhadap nilai lainnya. Sebagai contoh, pada Spesimen 1200A, laju korosinya adalah 0,00054624 mm/tahun, Spesimen 1200B mempunyai laju korosi sebesar 0,00017855 mm/tahun, serta Spesimen 1200C mempunyai laju korosi sebesar 0,00023833 mm/tahun. Dengan demikian, nilai rata-rata laju korosi yang terjadi terhadap spesimen pada kekasaran permukaan memakai amplas grit 1200 yaitu 0,00032104 mm/tahun.

3.5 Ketahanan Material terhadap Laju Korosi

Informasi mengenai ketahanan material pada laju korosi dapat ditemukan dalam pedoman yang telah ditetapkan oleh salah satu buku referensi yang digunakan, yaitu Fontana (1986). Kerusakan akibat serangan korosi diklasifikasikan berdasarkan besarnya tingkat laju korosi yang diamati pada sampel pengujian lalu diukur pada satuan mm/tahun. Berikut adalah tabel yang menetapkan tingkat ketahanan korosi yang dipakai untuk menjadi acuan dalam penelitian ini.

Tabel 3.6 Level Ketahanan Korosi (Fontana, 1986)

Level Ketahan Korosi	Mpy (mill per year)	Mm/y	µm/y	Nm/h
<i>Outstanding</i>	<1	<0,02	<25	<2
<i>Excellent</i>	1-5	0,02-0,1	25-100	2-10
<i>Good</i>	5-20	0,1-0,5	100-500	10-50
<i>Fair</i>	20-50	0,5-1	500-1000	50-150
<i>Poor</i>	50-200	1-5	1000-5000	150-500
<i>Unexceutable</i>	200+	5+	5000+	500+

Berdasarkan Tabel 3.6, laju korosi kurang dari 0,02 mm/tahun dianggap sebagai level paling tinggi dari ketahanan korosi, yang disebut sebagai "*Outstanding*". Sebaliknya, nilai laju korosi 5 mm/tahun atau lebih dianggap sebagai level paling rendah yang disebut sebagai "*Unexceutable*". Di antara "*Outstanding*" dan "*Unexceutable*", terdapat empat tingkatan lain dari ketahanan korosi. Tingkatan pertama adalah "*Excellent*" dan nilai laju korosi 0,02-0,1 mm/tahun, yang berada satu tingkat di bawah "*Outstanding*". Ini diikuti oleh tingkatan "*Good*" dengan nilai laju korosi 0,1-0,5 mm/tahun, "*Fair*" yang nilai laju korosi 0,5-1 mm/tahun, dan tingkat "*Poor*" berada satu tingkat di bawah "*Unexceutable*" dengan nilai laju korosi 1-5 mm/tahun.

Dengan merujuk pada Tabel 3.6, hasil pengujian ini dapat memberikan informasi mengenai tingkat resistensi korosi pada *stainless steel* 304. Tingkat ketahanan korosi material tersebut terhadap saliva buatan terdapat dalam Tabel 3.7 dan Tabel 3.8, yang memperlihatkan variasi tingkat ketahanan korosi berdasarkan kekasaran permukaan dan metode pengujian.

Tabel 3.7 Level Ketahanan Korosi Metode *Weight Loss*

Spesimen	Kekasaran Permukaan (µm)	Laju Korosi (mm/y)	Level Ketahanan Korosi
400 B	0,226	0,048	<i>Excellent</i>
800 B	0,120	0,013	<i>Outstanding</i>
1200 B	0,073	0,009	<i>Outstanding</i>

Dari Tabel 3.7, ditemukan tingkat ketahanan korosi pada *stainless steel* 304 menggunakan metode pengujian *weight loss*, menunjukkan tingkat "*Excellent*" serta "*Outstanding*". Spesimen 400 B dengan laju korosi 0,048 mm/tahun selama 8 minggu maupun 1344 jam mencapai tingkat ketahanan "*Excellent*", menunjukkan hasil memuaskan. Sementara itu, spesimen 800 B dan 1200 B dengan laju korosi masing-masing sebesar 0,013 mm/tahun dan 0,009 mm/tahun dalam periode yang sama mencapai tingkat ketahanan "*Outstanding*", yang juga memuaskan. Dari tabel tersebut, terlihat dimana semakin tinggi kekasaran dari permukaan material, semakin tinggi juga laju korosinya, dengan hasil bahwa permukaan yang lebih halus mendapatkan tingkat ketahanan korosi yang lebih baik.

Tabel 3.8 Level Ketahanan Korosi Metode Polarisasi Linier

Spesimen	Kekasaran Permukaan (µm)	Laju Korosi (mm/y)	Level Ketahanan korosi
400 C	0,147	0,038338	<i>Excellent</i>
800 B	0,093	0,0009178	<i>Outstanding</i>
1200 C	0,055	0,00023833	<i>Outstanding</i>

Dari Tabel 3.8, ditemukan tingkat ketahanan korosi untuk *stainless steel* 304 dengan metode pengujian polarisasi linier, menunjukkan tingkat "*Excellent*" dan "*Outstanding*". Spesimen 400 C dengan laju korosi 0,038338mm/tahun memperoleh tingkat ketahanan "*Excellent*", yang menunjukkan hasil yang memuaskan berdasarkan tabel referensi. Sementara itu, spesimen 800 B dan 1200C dengan laju korosi masing-masing yaitu 0,0009178 mm/tahun dan 0,00023833 mm/tahun secara berturut-turut memperoleh tingkat ketahanan "*Outstanding*", memperlihatkan hasil yang sangat memuaskan.

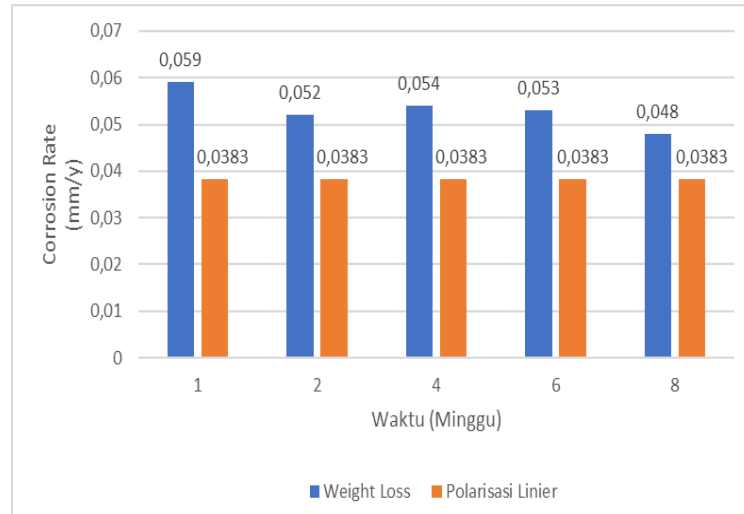
Hasil dari Tabel 3.7 dan 3.8 menunjukkan bahwa *stainless steel* 304 dapat digunakan sebagai bahan untuk kawat gigi, terutama ketika permukaannya terpapar secara langsung oleh saliva dengan intensitas tinggi, asalkan kekasaran permukaannya minimal 0,120 atau kurang.

3.6 Perbandingan Hasil Uji Korosi Metode *Weight Loss* Dengan Polarisasi Linier

Hasil penelitian serta analisis terhadap ketahanan laju korosi pada variasi kekasaran permukaan *stainless steel* 304 menunjukkan dampak signifikan dari perubahan kekasaran permukaan terhadap tingkat laju korosi. Semakin tinggi nilai kekasaran permukaan *stainless steel* 304, semakin tinggi tingkat laju korosinya. Pengujian menggunakan dua metode yang berbeda menunjukkan hasil yang signifikan, terutama pada sampel dengan kekasaran permukaan yang dihasilkan oleh amplas grit 800 dan 1200.

Dilihat dari Gambar 4.8, perbandingan laju korosi antara pengujian *weight loss* serta polarisasi linier pada permukaan yang diampelas dengan amplas grit 400 menunjukkan perbedaan di awal pengujian, namun menghasilkan hasil yang hampir serupa seiring berjalannya waktu. Pada minggu pertama, laju korosi pengujian *weight loss* yaitu

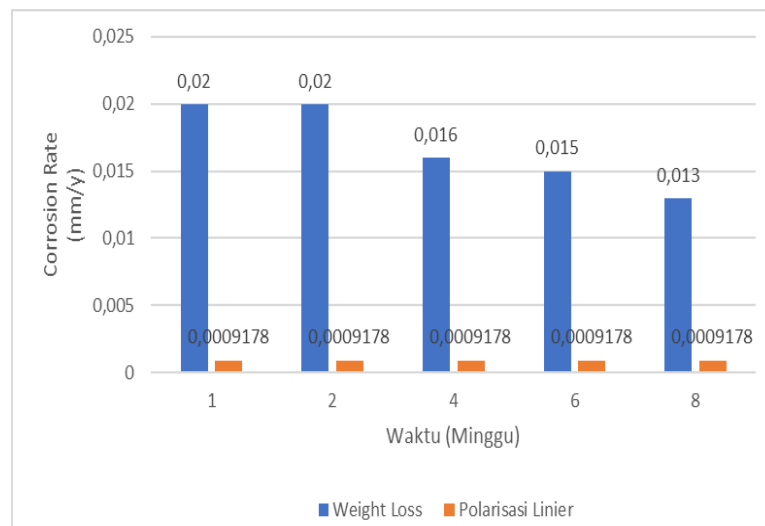
0,059 mm/tahun, sedangkan pada pengujian polarisasi linier adalah 0,0383 mm/tahun. Namun, pada minggu kedelapan, laju korosi di pengujian *Weight Loss* adalah 0,048 mm/tahun, sedangkan pada pengujian polarisasi linier tetap 0,0383 mm/tahun.



Gambar 3.5 Perbandingan Hasil Uji Korosi Metode *Weight Loss* dan Polarisasi Linier Spesimen 400

Dari Gambar 3.5, menunjukkan adanya penurunan laju korosi seiring berjalannya waktu. Hal tersebut terjadi karena proses korosi yang dapat menghaluskan permukaan dengan awalan kasar. Seiring berjalannya waktu, permukaan benda uji menjadi lebih halus, yang mengakibatkan penurunan laju korosi. Pada pengujian kedua metode, hasilnya hampir sama pada minggu terakhir pengujian karena pada awal pengujian, permukaan sampel uji dengan grit amplas 400 memiliki kekasaran yang tinggi, menyebabkan eksposur langsung permukaan sampel uji terhadap lingkungan sekitar dan mempercepat terjadinya reaksi katoda dan anoda. Inilah yang menyebabkan peningkatan laju korosi seiring dengan peningkatan kekasaran permukaan logam

Pada spesimen 800 yang menggunakan amplas grit 800, terdapat perbedaan mencolok pada dua metode pengujian yang dilakukan. Hal tersebut disebabkan oleh durasi pengujian *weight loss* yang terbatas hingga hanya 8 minggu, sehingga laju korosi yang tercatat hanya mencakup periode tersebut. Di sisi lain, pengujian polarisasi linier berlangsung lebih lama, diperkirakan mampu memberikan hasil laju korosi dengan lebih tepat serta menyerupai hasil dari metode *weight loss*. Metode *weight loss* serta polarisasi linier untuk spesimen 800 dengan perbedaannya dalam laju korosi dapat dilihat pada Gambar 43.6.



Gambar 3.6 Perbandingan Hasil Uji Korosi Metode *Weight Loss* dan Polarisasi Linier spesimen 800

Gambar 3.6 memperlihatkan laju korosi pada kedua metode pengujian, terdapat perbedaan yang signifikan antara metode *weight loss* dan polarisasi linier, yang disebabkan oleh durasi pengujian yang tidak mencukupi untuk mencapai konsistensi antara keduanya. Permukaan dari logam yang halus serta bersih dapat menghambat terjadinya korosi karena kurangnya kutub-kutub yang beraksi sebagai katoda dan anoda. Maka, laju korosi cenderung meningkat dengan peningkatan kasarnya permukaan dari logam

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan di laboratorium metalurgi dan fisika Teknik Mesin Undip, dapat disimpulkan bahwa data-data yang diperoleh menunjukkan bahwa:

1. Kekasaran permukaan memiliki dampak signifikan terhadap laju korosi pada logam *stainless steel* 304. Semakin tinggi tingkat kekasaran, maka material tersebut semakin korosif; sebaliknya, semakin halus tingkat kekasarannya, material semakin tahan korosi.
2. Pada metode *weight loss* spesimen dengan ketahanan korosi terbaik adalah spesimen 1200 B yang memiliki laju korosi 0,009 mm/tahun pada Tingkat kekasaran 0,073 μ m. Sedangkan spesimen dengan ketahanan korosi terbaik menggunakan metode polarisasi linier adalah spesimen 1200 C yang memiliki laju korosi 0,00023833 mm/tahun pada Tingkat kekasaran 0,055 μ m.
3. *Stainless steel* 304 memiliki tingkat ketahanan korosi yang disebut "*Outstanding*," sehingga dapat digunakan sebagai bahan untuk alat bantu ortodontik yang terpapar langsung oleh saliva dengan intensitas tinggi.

5. Daftar Pustaka

- [1] R. P. Dayataka, H. Herawati, R. S. Darwis, Tru, and Fgj, "Hubungan tingkat keparahan maloklusi dengan status karies pada remaja di SMP Negeri 1 Kota Cimahi," *Padjadjaran J Dent Res Student. Februari*, vol. 3, no. 1, pp. 43–49, 2019.
- [2] E. Novawaty, Y. Puspitasari, and W. N. Bachtiar, "Hubungan Tingkat Keparahannya Maloklusi dengan Kualitas Hidup Mahasiswa Fakultas Kedokteran Gigi," *e-GiGi*, vol. 12, no. 1, pp. 55–59, 2023.
- [3] C. G. Lombo, P. S. Anindita, and Juliatri, "Uji pelepasan ion nikel dan kromium pada beberapa braket stainless steel yang direndam di air laut," *e-GIGI*, vol. 4, no. 1, pp. 0–4, 2016.
- [4] M. Nasir and Y. F. Ramadhany, "Tele-orthodontic as a recent solution in malocclusion treatment," *Makassar Dent. J.*, vol. 9, no. 2, pp. 78–81, 2020.
- [5] H. N. Suala, D. Wibowo, and R. H. D. Setyawardhana, "Kebutuhan Perawatan Ortodonti Berdasarkan Index of Orthodontic Treatment Need Pada Remaja," *Dentin*, vol. 5, no. 3, pp. 129–133, 2021.
- [6] C. Ayu Mawaddah, L. Sandra Devi A.P, and D. Prijatmoko, "Perbedaan Defleksi Kawat Ortodonti Nikel-Titanium dan NiTi Epoxy Resin Coated pada Perendaman dalam Saliva Buatan dan Minuman Berkarbonasi (The Difference in Deflection of Nickel Titanium Archwire and NiTi Epoxy Resin Coated Immersed by Artificial Saliva)," *J. Pustaka Kesehat.*, vol. 4, no. 3, 2016.
- [7] J. Misael, A. Suprihanto, and G. D. Haryadi, "Pengujian Laju Korosi Pada Perangkat Ortodontik Dengan Material Stainless Steel 316L Pada Penerapan Larutan," *J. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 2, pp. 205–214, 2021.
- [8] S. Bai, S. Zhang, J. Ma, J. Li, and L. Mou, "Understanding the effect of decreasing C contents and increasing solid-solution time on intergranular corrosion resistance of 304 austenitic stainless steel," *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 30, no. February, pp. 4750–4761, 2024.
- [9] W. K. Sabyantoro, H. Purwanto, and M. Dzulfikar, "Analisis Laju Korosi Dengan Aliran Media Korosi Hcl 10% Pada Material Baja Astm a36 Dengan Sudut Bending," *J. Ilm. Momentum*, vol. 15, no. 1, 2019.
- [10] F. Ahmad, R. A. Saputra, S. Syeptiani, P. Studi, T. Mesin, and P. Raflesia, "55-59-Penelitian-Korosi," vol. 2, pp. 55–59, 2023.
- [11] M. A. Pasambe, "EPEK KIMIAWI RONGGA MULUT TERHADAP TERJADINYA KOROSI," 2020.