

# Studi Laju Biokorosi Pada Logam Tembaga (Cu) Di Lingkungan Air Laut Tropis

Gede Sarma Adi Putra, Tjokorda Gede Tirta Nindhia dan Dewa Ngakan  
Ketut Putra Negara

*Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali*

## Abstrak

Dalam industri maritim, logam pada komponen tertentu yang selalu terendam air laut yang mengakibatkan komponen-komponen tersebut cepat mengalami korosi. Korosi merupakan fenomena alami karena interaksi antara logam dan lingkungan yang menyebabkan kerusakan pada permukaannya. Masalah keamanan yang diakibatkan oleh korosi pada logam tidak dapat diabaikan, secara serius dan signifikan mempengaruhi baik ekonomi maupun integritas struktural secara global. korosi yang dipengaruhi secara mikrobiologis (biokorosi) adalah jenis korosi yang paling parah dengan faktor-faktor pengaruh yang paling kompleks. Biokorosi mempercepat laju korosi logam melalui keterikatan, pertumbuhan, dan metabolisme mikroba. Tembaga (Cu) merupakan suatu logam dengan nomor atom 29. Tembaga terkorosi pada tingkat yang dapat diabaikan di udara yang tidak tercemar, air, dan asam nonpengoksidasi yang dideaerasi. Sebagai contoh propeller atau baling-baling kapal adalah salah satu komponen penting kapal yang memanfaatkan pelapisan tembaga untuk meningkatkan ketahanan korosi. Laju korosi merupakan suatu parameter yang menunjukkan tingkat penetrasi korosi yang terjadi pada suatu material Yang pada penelitian ini pada logam tembaga (Cu). Specimen logam tembaga (Cu) yang mengalami korosi dengan perendaman menggunakan air aut dengan mikroorganisme selama rentang waktu 4 bulan. Dapat dilihat bahwa pada struktur permukaan tembaga mengalami jenis pitting corrosion (korosi sumur). stuktur mikro permukaan korosi pada specimen tembaga dengan perendaman menggunakan air laut tanpa mikroorganisme. Ditunjukan bahwa pada specimen tersebut mengalami korosi yang tidak terlalu tinggi dengan terbentuknya korosi seragam (uniform corrosion). Hal ini juga menunjukkan perbedaan yang signifikan yang disebabkan oleh adanya pengaruh mikroorganisme dalam pembentukan korosi pada logam tembaga selama rentang waktu perendaman 4 bulan.

*Kata Kunci : Korosi, Biokorosi, Tembaga (Cu), Air Laut, Uji Laju Korosi.*

## Abstract

*In the maritime industry, metals in certain components are always submerged in seawater which results in these components quickly corroding. Corrosion is a natural phenomenon due to the interaction between metal and the environment that causes damage to its surface. The safety issues caused by corrosion of metals cannot be ignored, seriously and significantly affecting both the economy and structural integrity globally. Microbiologically influenced corrosion (biocorrosion) is the most severe type of corrosion with the most complex influence factors. Biocorrosion accelerates the corrosion rate of metals through microbial attachment, growth and metabolism. Copper (Cu) is a metal with atomic number 29. Copper corrodes at a negligible rate in unpolluted air, water, and deaerated nonoxidising acids. For example, a ship's propeller is one of the important ship components that utilise copper plating to improve corrosion resistance. Corrosion rate is a parameter that indicates the level of corrosion penetration that occurs in a material, which in this study is copper (Cu) metal. Copper (Cu) metal specimens that are corroded by immersion using aut water with microorganisms over a span of 4 months. It can be seen that the copper surface structure experiences a type of pitting corrosion (well corrosion). corrosion surface microstructure on copper specimens with immersion using seawater without microorganisms. It was shown that the specimen experienced corrosion that was not too high with the formation of uniform corrosion. This also shows a significant difference caused by the influence of microorganisms in the formation of corrosion on copper metal during the immersion period of 4 months.*

*Keywords: Corrosion, Biocorrosion, Copper (Cu), Seawater, Corrosion Rate Test.*

## 1. Pendahuluan

Logam adalah unsur kimia yang mempunyai sifat-sifat kuat, keras, penghantar listrik dan panas, serta mempunyai titik cair tinggi. Dalam industri maritim dan penyebrangan, material logam banyak digunakan sebagai material utama pada alat-alat yang mendukung aktivitas industri seperti pembatas dermaga, patok atau kait tali kapal, jembatan penyebrangan dan bangunan lepas pantai lainnya. Logam juga merupakan bahan dasar dalam pembuatan kapal dan beberapa komponen kapal [1].

Sebagai bahan utama dalam pembuatan kapal, logam pada komponen tertentu yang selalu terendam air laut yang mengakibatkan komponen-komponen tersebut cepat mengalami korosi. Korosi merupakan fenomena alami karena interaksi antara logam dan lingkungan yang menyebabkan kerusakan pada permukaannya [2]. Masalah keamanan yang diakibatkan oleh korosi pada logam tidak dapat diabaikan, secara serius dan signifikan mempengaruhi baik ekonomi maupun integritas struktural secara global [3]. Menurut Organisasi Korosi Dunia dampak ekonomi dari korosi

sangat mendalam, yang dimana diperkirakan biaya tahunan di seluruh dunia mencapai 2,4 triliun dolar AS, atau sekitar 3% dari produk domestik bruto (PDB) dunia dan banyak negara maju, kerusakan akibat korosi dapat mencapai 3,5%–4,5% dari produk nasional bruto (PNB) [3]. Korosi juga sebagai salah satu penyebab utama Kegagalan mekanis dan struktural yang dihadapi dalam banyak konstruksi struktural atau mekanis di seluruh dunia [4]. Dan selama beberapa dekade, mengingat kerugian akibat korosi yang semakin meningkat, maka para ilmuwan dan insinyur korosi berfokus memahami dan berupaya menekan biaya kerugian pasti dari korosi[5].

Berdasarkan dari beberapa jenis penyebab korosi, korosi laut menyumbang 40% dari total kerugian akibat korosi, dan korosi yang dipengaruhi secara mikrobiologis (biokorosi) adalah jenis korosi yang paling parah dengan faktor-faktor pengaruh yang paling kompleks. Pentingnya menerapkan strategi mitigasi yang efektif dan efisien pada biokorosi karena merupakan hal vital untuk melindungi aset, memastikan keselamatan kesehatan, perlindungan lingkungan, mengoptimalkan operasi, dan menjaga kepatuhan terhadap regulasi[6].

Laju korosi merupakan suatu parameter yang menunjukkan tingkat penetrasi korosi yang terjadi pada suatu material dan sangat berpengaruh terhadap nilai ekonomis dan teknis material dalam suatu perencanaan mekanisme alat dan komponen-komponen yang berhubungan langsung dengan air laut [7]. Biokorosi mempercepat laju korosi logam melalui keterikatan, pertumbuhan, dan metabolisme mikroba. dalam pencegahannya terdapat beberapa cara. salah satunya dengan melapisi material utama dengan material pelapis logam tembaga (Cu).

Tembaga (Cu) Merupakan suatu logam dengan nomor atom 29. Tembaga dapat digunakan di berbagai macam lingkungan laut. Paduan tembaga memiliki sejarah panjang aplikasi yang sukses di lingkungan laut karena ketahanan korosi, kemampuan kerja mekanis, konduktivitas yang sangat baik, kemudahan penyolderan dan mematri, dan ketahanan terhadap pengotoran makro. Tembaga terkorosi pada tingkat yang dapat diabaikan di udara yang tidak tercemar, air, dan asam nonpengoksidasi yang dideaerasi. Paduan tembaga tahan terhadap banyak larutan garam, larutan alkali, dan bahan kimia organik [8]. Sebagai contoh propeller atau baling-baling kapal adalah salah satu komponen penting kapal yang memanfaatkan pelapisan tembaga untuk meningkatkan ketahanan korosi guna mengurangi laju korosi yang dapat merusak struktur material yang mempengaruhi

kerja karena setiap saat terendam dalam air laut [9].

Tingkat korosi logam tembaga masih dapat diabaikan namun perlu adanya penelitian lebih lanjut dikarenakan logam tembaga masih terdapat kekurangan daya tahan terhadap jenis korosi lubang, creavise dan stress corrosion cracking. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilaksanakan untuk mengetahui nilai besaran laju korosi pada tembaga yang dilakukan dengan membandingkan tingkat korosi tembaga dengan massa perendaman selama 4 bulan pada suhu ruang. Perendaman menggunakan 2 jenis media perendaman, yaitu menggunakan air laut dengan mikroorganisme yang diperoleh di Pantai Jimbaran, Bali dan air laut yang telah disterilisasi dari mikroorganisme. menggunakan metode perubahan massa awal perendaman dengan massa akhir perendaman dibagi *waktu (gram/month)*.

Dalam hal ini maka ada beberapa permasalahan yang akan dikaji, yaitu:

1. Bagaimana pengaruh mikroorganism air laut tropis Pantai Jimbaran, Bali terhadap laju korosi pada material tembaga (Cu) dalam rentang waktu 4 bulan.
2. Bagaimana pengaruh air laut tanpa mikroorganism terhadap laju korosi pada material tembaga (Cu) dalam rentang waktu 4 bulan.

Beberapa batasan ditetapkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Waktu perendaman tembaga berlangsung selama rentang waktu 4 bulan.
2. Perendaman dilaksanakan pada suhu ruang.
3. Air yang digunakan adalah air laut yang didapat dari pantai Jimbaran, Bali.
4. Logam tembaga (Cu) yang digunakan adalah jenis tembaga murni.

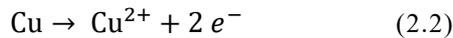
## 2. Dasar Teori

### 2.1 Korosi

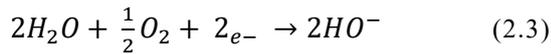
Korosi merupakan fenomena yang terjadi secara alami dengan dampak yang mahal dan merugikan pada sebagian besar sektor industri kritis dengan proses yang lambat yang merusak mesin industri, peralatan logam, dan mengurangi nilai keseluruhan produk [5][10]. Korosi material terjadi dikarenakan oksigen dan kelembapan yang melibatkan proses elektrokimia yaitu reaksi anodic yang melibatkan ionisasi logam dan reaksi katodik yang berdasar pada reduksi senyawa kimia. Korosi terjadi secara spontan, serta merupakan penyebab utama kegagalan struktur logam [2]. Menurut [11] Korosi dapat digambarkan melalui persamaan umum (2.1) di bawah ini :



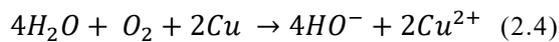
Contoh persamaan reaksi pada logam tembaga (Cu) :



Terdapat reaksi reduksi yang terjadi secara bersamaan, dikarenakan logam tidak stabil dalam bentuk ioniknya ( $Cu^{2+}$ ). jika kita mengambil oksigen yang terlarut dalam air laut, kita dapat memperoleh persamaan reduksi sebagai berikut [10] :



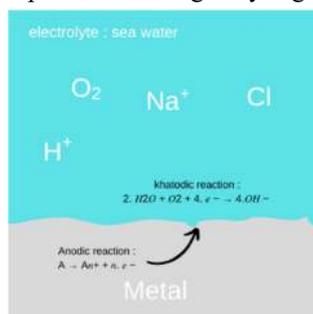
Dengan menggabungkan persamaan reaksi diatas (2.2) dan (2.3), diperoleh persamaan reaksi korosi tembaga oleh oksigen dengan pembentukan oksida  $Cu(OH)_2$  sebagai berikut:



Berdasarkan dari jenis penyebab terbentuknya, terdapat beberapa bentuk korosi yang umum terjadi, sebagai berikut :

### 1. Korosi seragam (*uniform corrosion*)

Korosi seragam (*uniform corrosion*) adalah korosi yang terjadi di permukaan logam pada keseluruhan permukaan logam yang terekspos.

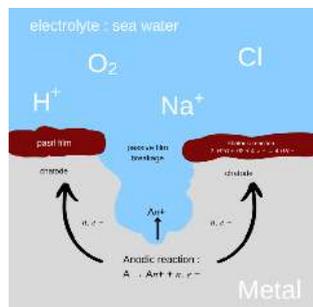


**Gambar 1. Uniform corrosion**

Sumber : [10]

### 2. Korosi sumur (*pitting corrosion*)

Korosi sumur (*pitting corrosion*) adalah korosi yang terjadi pada titik tertentu yang membentuk sumuran pada permukaan logam.



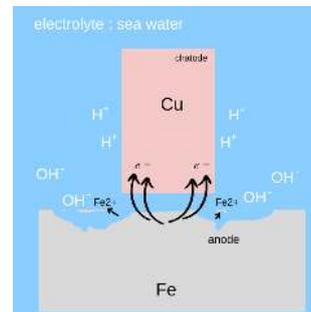
**Gambar 2. Pitting corrosion**

Sumber : [10]

### 3. Korosi galvanik (*galvanic corrosion*)

Korosi galvanik (*galvanic corrosion*) adalah korosi yang terjadi apabila dua jenis logam

berbeda tersambung melalui elektrolit yang sama sehingga salah satu jenis logam akan mengalami korosi sedangkan yang lain akan terlindungi.



**Gambar 3. Galvanic corrosion**

Sumber : [10]

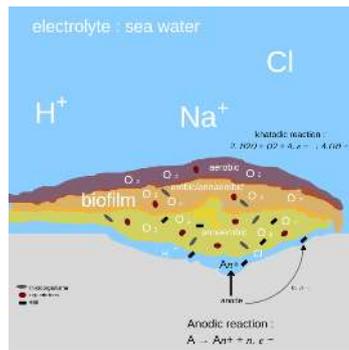
## 2.2 Biokorosi

Korosi mikroba atau sering disebut dengan biokorosi atau *microbiologically influenced corrosion (MIC)* merupakan korosi yang dalam mekanismenya dipengaruhi oleh aktivitas, pertumbuhan dan metabolisme mikroba [6] Biokorosi dapat terjadi di berbagai tempat seperti tanah, air tawar dan air laut serta biokorosi bertanggung jawab lebih dari 30% semua kerusakan korosi di dunia [2].

Hingga saat ini, berbagai mekanisme biokorosi (*MIC*) telah diidentifikasi, namun mekanisme rinci terkait biokorosi masih kurang dipahami. Meskipun proses elektrokimia sama dengan kasus korosi normal, mikroorganisme dapat meningkatkan proses korosi dengan merusak lapisan pasif dan menstimulasi reaksi anodik atau katodik dengan cara [12] :

1. produksi senyawa korosif, seperti asam, amonia, nitrit, dan sulfida,
2. degradasi lapisan pasif,
3. konsumsi lapisan pelapis pelindung,
4. sekresi molekul aktif secara elektrik,
5. produksi zat polimer ekstraseluler yang mampu menyerap ion logam,
6. pembentukan biofilm yang mengarah pada penciptaan gradien di permukaan.

Kehadiran mikroorganisme dapat sangat mempengaruhi korosi logam dan meningkatkan laju korosi besi di lingkungan anoksik hampir 100 kali [13].



**Gambar 4. Biokorosi**

Sumber : [14]

Mekanisme pembentukan biokorosi selalu terkait dan berhubungan dengan biofilm. Biofilm adalah komunitas mikroorganisme yang melekat pada substrat atau permukaan. mikroorganisme dalam biofilm tertanam dalam extracellular polymeric substances (EPS) yang diproduksi oleh mikroorganisme. mikroorganisme mengembangkan biofilm pada berbagai permukaan yang terendam. Pembentukan biofilm mengarah pada modifikasi kondisi lokal pada bahan/media antarmuka [15]. Dengan biofilm memungkinkan sel untuk berhubungan dekat dengan permukaan dan menciptakan lingkungan mikro yang bisa sangat berbeda dari lingkungan massal dengan sifat yang berbeda. Telah dilaporkan bahwa biofilm dapat meningkatkan 24 aksi mikroorganisme biokorosi terhadap laju korosi material sebesar 1000-10.000 kali lipat [16][17].

Ketika biofilm terbentuk pada suatu permukaan logam, mikroorganisme memiliki kemampuan mempercepat korosi dengan memodifikasi lingkungan di dalam biofilm dengan melibatkan perubahan komposisi kimia, laju perpindahan massa dan hidrodinamika [18][2]. Biofilm dalam pembentukannya melalui beberapa tahap, yaitu :

1. Pengkondisian: adsorpsi kimia organik secara langsung, mikroorganisme tidak terlibat secara langsung
2. Adhesi oleh spesies bakteri 'pelopor': bakteri epifit melekat pada permukaan terendam dalam hitungan jam.
3. Kolonisasi mikroorganisme lainnya: bakteri dan jamur lainnya menjadi terkait dengan permukaan setelah kolonisasi oleh spesies pelopor dalam hitungan hari.
4. Akumulasi: terjebaknya partikel, sel mati dan ikatan logam berat dari air (baik sebagai produk korosi dan ion larutan dalam jumlah besar).

## 2.3 Air laut

Air laut, yang merupakan 97,5% dari air bumi, memainkan peran penting dalam proses lingkungan dan menawarkan berbagai sumber daya. Air laut adalah campuran dari 96,5% air murni dan 3,5% material seperti garam, gas terlarut, bahan organik dan partikel yang tidak terlarut. Air laut terasa asin karena memiliki kadar garam yang kandungannya berbeda tiap laut. Berdasarkan iklimnya air laut dapat dibagi menjadi 3 jenis, yaitu :

1. Air Laut Tropis: Terletak di daerah tropis, dengan suhu rata-rata sekitar 25°C hingga 30°C. Air laut tropis memiliki salinitas yang lebih rendah, sekitar 3,4% dan mendukung keanekaragaman hayati yang tinggi.
2. Air Laut Subtropis: Berada di antara garis lintang 23°27' LU dan 35° LU atau 23°27' LS dan 35° LS. Suhu rata-rata berkisar antara 20°C, dengan salinitas sedikit lebih tinggi (sekitar 3,6%).
3. Air Laut Kutub: Terletak di daerah kutub (di atas 66°33' LU atau di bawah 66°33' LS). Suhu rata-rata sangat rendah, sekitar -2°C, dengan salinitas rendah (sekitar 3,2%) dan kehidupan laut yang terbatas.

Indonesia sendiri merupakan salah satu negara yang terdiri dari 30% daratan dan 70% lautan dan merupakan negara dengan iklim tropis [19]. Rata-rata suhu air laut di Indonesia adalah berkisar 28 – 31°C dan merupakan suhu air laut tertinggi karena Indonesia dilewati oleh garis khatulistiwa [20].

## 2.4 Tembaga (Cu)

Tembaga (Cu) Merupakan suatu logam dengan nomor atom 29 dan bernomor massa 63,55 dengan warna kuning kemerahan. Tembaga memiliki beberapa keuntungan, yaitu :

1. Ulet, Tembaga merupakan salah satu logam dengan kekuatan tarik 150 N/mm<sup>2</sup> dan kekuatan kekerasan 45 HB.
2. Mudah ditempa, salah satu kelebihan dari tembaga adalah mudah ditempa dengan berbagai bentuk dan aplikasi di industri.
3. Konduktor yang baik, tembaga paling banyak digunakan sebagai bahan utama kabel karena sifat konduktor yang baik.
4. Anti korosif, tembaga tahan dengan korosi atmosfer dan korosi yang lainnya.

Dari beberapa keuntungan diatas logam tembaga banyak diaplikasikan pada bermacam industri. Salah satunya adalah pada industri maritim perkapalan, tembaga banyak digunakan

untuk melapisi beberapa komponen kapal yang disinyalir mudah terkorosi oleh air laut. Contoh salah satu komponen kapal yang mudah mengalami korosi adalah propeller kapal karena sebagai mana kondisi kerja dari propeller kapal adalah selalu terendam di dalam air laut [9].

### 2.5 Pengujian laju korosi

Pengujian laju korosi merupakan proses pengujian yang bertujuan untuk mengetahui besaran nilai korosi dari suatu material yang dilakukan percobaan dengan mengetahui selisih antara massa awal perendaman dan massa akhir setelah perendaman dengan melakukan pembersihan terlebih dahulu pada spesimen dengan menggunakan sikat agar spesimen bersih dari biofilm penyebab korosi, selisih massa yang diperoleh kemudian disebut dengan weight loss dan diturunkan kembali sehingga didapatkan data laju korosi dalam satuan (*gram/month*) [21].

### 2.6 Struktur mikro

Pengujian struktur mikro adalah pengujian yang bertujuan untuk melakukan pengamatan terhadap struktur permukaan dari suatu material terhadap percobaan korosi. Untuk menghasilkan gambar visual dengan kualitas yang baik, spesimen harus melewati beberapa proses terlebih dahulu, sebagai berikut [22].

1. Mounting specimen, specimen dimounting dengan menggunakan resin agar specimen mudah untuk dicengkrum dan dipindahkan.
2. Poles specimen, specimen yang telah dimounting lalu dipoles menggunakan kertas amplas berukuran 400, 600, 800, 1000, 2000, 3000, 5000 dan finishing dengan menggunakan polish cream dan kain beludru

Proses pengamatan struktur mikro atau permukaan dilakukan dengan menggunakan mikroskop metalurgi dengan lensa pembesaran 100x.

### 3. Metode penelitian

Adapun alat dan bahan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 3.1 Alat

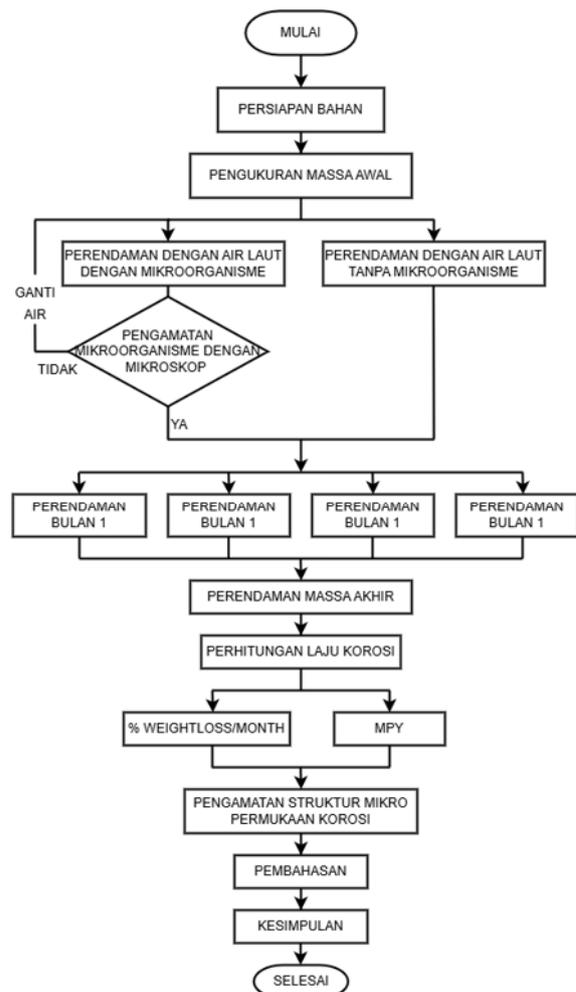
4. Timbangan
5. Tang kombinasi
6. Gunting
7. Sikat
8. Pinset
9. Penggaris
10. Kotak plastic
11. Hair dryer
12. Mikroskop dan kamera metalurgi

13. Nampan
14. Kaca
15. Pipa pvc
16. Kertas amplas
17. Kain beludru

### 3.2. Bahan

Bahan yang digunakan antara lain: Logam tembaga (Cu), Air laut sebagai media perendaman, Resin media mounting specimen untuk uji struktur mikro, dan Pasta poles autosol untuk memoles specimen.

### 3.3. Diagram alir penelitian



Gambar 4. Diagram alir penelitian

### 3.4. Metode Uji

Uji laju korosi merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui nilai laju korosi pada suatu material. Yang pada penelitian ini pada logam tembaga (Cu) dengan menggunakan timbangan untuk mengetahui perubahan massa antara sebelum perendaman dengan sesudah perendaman dengan metode pengambilan data sebagai berikut :

1. Membersihkan specimen yang sudah melalui proses perendaman.

2. Mengeringkan specimen yang sudah dibersihkan.
3. Melakukan penimbangan specimen dengan dtimbangan digital.
4. Setelah penimbangan, melakukan pencatatan data dalam bentuk tabel.



Gambar 5. Timbangan digital

Uji struktur mikro permukaan digunakan untuk mengetahui hasil visual permukaan specimen yang telah melewati masa perendaman selama kurun waktu 4 bulan dengan menggunakan mikroskop metalurgi dengan lensa pembesaran 100x



Gambar 6 Mikroskop metalurgi

#### 4. Hasil dan Pembahasan

##### 4.1. Perhitungan laju korosi

Setelah mendapatkan data perubahan massa dari semua specimen, selanjutnya data diolah dengan menggunakan persamaan (4.1) untuk mengetahui selisih massa yang kemudian disebut *weightloss* dibawah :

$$weight\ loss\ (g) = \text{massa awal (g)} - \text{massa akhir (g)}$$

(4.1)

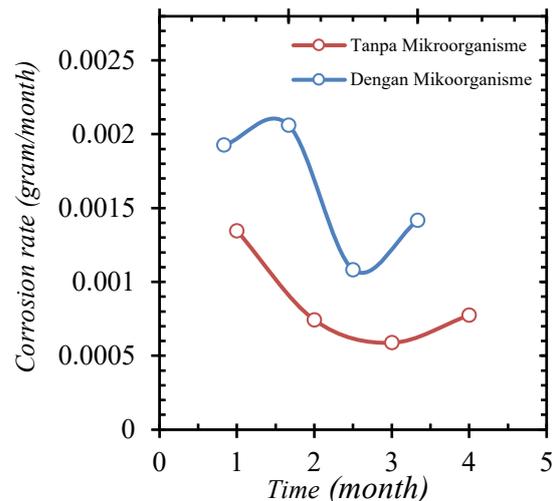
Selanjutnya setelah data *weightloss* didapatkan maka persamaan diturunkan kembali menjadi persamaan (4.2). sehingga didapatkan hasil laju korosi dengan satuan (*gram/month*) sebagai berikut :

$$Weightloss\ \left(\frac{gram}{month}\right) = \frac{weightloss\ (gram)}{time\ (month)} \quad (4.2)$$

Tabel 1. Tabel laju korosi (*gram/month*)

Month		Initial weight (gram)	Weight after corronded (gram)	Weightloss (gram)	Corrosion rate (gram/month)
1	Dengan mikroorganisme	0,17283	0,17086	0,00197	0,0019 26667
		0,16501	0,16325	0,00176	
		0,15979	0,15774	0,00205	
	Tanpa mikroorganisme	0,18399	0,18245	0,00154	0,0013 46667
		0,13808	0,13689	0,00119	
		0,14072	0,13941	0,00131	
2	Dengan mikroorganisme	0,16631	0,16193	0,00438	0,0020 61667
		0,17235	0,16797	0,00438	
		0,14869	0,14508	0,00361	
	Tanpa mikroorganisme	0,12825	0,1271	0,00115	0,0007 43333
		0,16428	0,16287	0,00141	
		0,14968	0,14778	0,0019	
3	Dengan mikroorganisme	0,10976	0,10406	0,0057	0,0010 83333
		0,10805	0,10621	0,00184	
		0,106	0,10379	0,00221	
	Tanpa mikroorganisme	0,15969	0,15758	0,00211	0,0005 88889
		0,12124	0,11993	0,00131	
		0,15086	0,14898	0,00188	
4	Dengan mikroorganisme	0,11686	0,10976	0,0071	0,0014 16667
		0,11322	0,10805	0,00517	
		0,11073	0,106	0,00473	
	Tanpa mikroorganisme	0,1632	0,15969	0,00351	0,0007 75833
		0,12375	0,12124	0,00251	
		0,15415	0,15086	0,00329	

Data laju korosi ditampilkan juga dalam grafik dibawah ini :



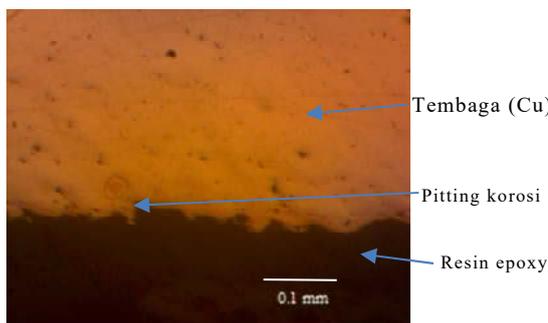
Gambar 7 Grafik laju korosi (*gram/month*)

Pada hasil perhitungan data laju korosi diatas dapat dilihat bahwa pada laju korosi tembaga dengan perendaman pada air laut

dengan mikroorganisme mengalami korosi tertinggi pada specimen dengan perendaman selama 2 bulan dengan laju korosi sebesar 0,002061667 *gram/month* namun mengalami penurunan pada specimen dengan masa perendaman 3 bulan menjadi 0,001083333 *gram/month* dan mengalami kenaikan kembali pada specimen dengan masa perendaman 4 bulan. Berbeda halnya dengan specimen dengan perendaman pada air laut tanpa mikroorganisme yang menunjukkan mengalami laju korosi tertinggi pada specimen dengan masa perendaman 1 bulan yaitu sebesar 0,001346667 *gram/month* dengan laju korosi terendah pada specimen dengan masa perendaman 3 bulan hanya sebesar 0,000588889 *gram/month*.

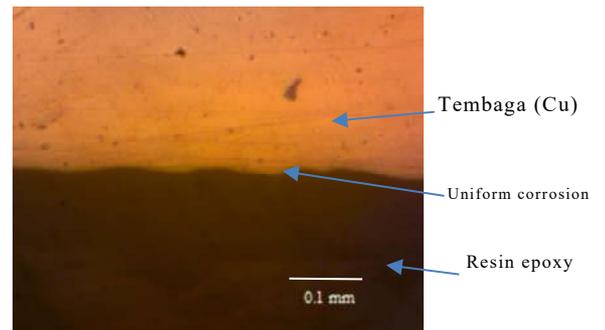
#### 4.2 Struktur mikro permukaan

Struktur mikro permukaan diperoleh setelah specimen dipoles terlebih dahulu dengan menggunakan kertas amplas dan dipoles dengan autosol polish cream pada kain beludru supaya specimen yang akan diuji dapat divisualkan secara maksimal dan kualitas hasil gambar menjadi baik. Adapun hasil dari uji struktur mikro permukaan korosi adalah :



**Gambar 8. Struktur mikro permukaan korosi pada air laut dengan mikroorganisme**

Pertama, pada gambar 8. diatas merupakan specimen logam tembaga (Cu) yang mengalami korosi dengan perendaman menggunakan air laut dengan mikroorganisme selama rentang waktu 4 bulan. Dapat dilihat bahwa pada struktur permukaan tembaga mengalami jenis *pitting corrosion* (korosi sumur) hal ini yang menyebabkan tingkat laju korosi yang terjadi cukup tinggi seperti yang ditunjukkan oleh data hasil perhitungan laju korosi diatas.



**Gambar 9. Struktur mikro permukaan korosi pada air laut tanpa mikroorganisme**

Pada gambar 9. menunjukkan struktur mikro permukaan korosi pada specimen tembaga dengan perendaman menggunakan air laut tanpa mikroorganisme. Ditunjukkan bahwa pada specimen tersebut mengalami korosi yang tidak terlalu tinggi dengan terbentuknya korosi seragam (*uniform corrosion*). Hal ini juga menunjukkan perbedaan yang signifikan yang disebabkan oleh adanya pengaruh mikroorganisme dalam pembentukan korosi pada logam tembaga selama rentang waktu perendaman 4 bulan. Dengan ditunjukkannya hasil gambar struktur permukaan korosi pada specimen tembaga sehingga dapat dilihat bahwa pengaruh dari data laju korosi dengan keadaan specimen yang sebenarnya, yang mengacu pada perbedaan laju korosi yang signifikan antara korosi dengan air laut dengan mikroorganisme dengan korosi dengan air laut tanpa mikroorganisme dengan rentang waktu perendaman selama 4 bulan.

#### 5. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Pada specimen uji laju korosi dengan perendaman menggunakan air laut dengan mikroorganisme dapat diketahui mendapatkan hasil laju korosi yang lebih tinggi dengan rentang waktu 4 bulan dan menyebabkan terjadinya korosi sumuran (*pitting corrosion*) yang ditunjukkan oleh gambar hasil uji struktur mikro permukaan specimen.
2. Pada specimen uji laju korosi dengan perendaman menggunakan air laut tanpa mikroorganisme mengalami korosi

dengan laju korosi lebih rendah dibandingkan dengan perendaman pada air laut dengan mikroorganisme dan hanya menyebabkan korosi seragam (*uniform corrosion*) pada permukaan spesimen. Namun dari kedua specimen dari hasil penelitian dapat dilihat yakni terdapat kesamaan yaitu berupa penurunan nilai laju korosi pada perendaman pada rentang waktu 3 bulan. Hasil data laju korosi pada penelitian ini ditunjukkan dalam satuan (*gram/month*).

#### Daftar Pustaka

- [1] C. Trijatmiko *et al.*, 2016, “Analisa Pengaruh Material Abrasif Pada Blasting Terhadap Kekuatan Lekat Cat dan Ketahanan Korosi di Lingkungan Air Laut,” vol. 5, no. 2, pp. 231–235.
- [2] G. Plaza and V. Achal, 2020, “Biosurfactants: Eco-friendly and innovative biocides against biocorrosion,” *Int. J. Mol. Sci.*, vol. 21, no. 6, doi: 10.3390/ijms21062152.
- [3] S. Li, C. Li, and F. Wang, 2024, “Computational experiments of metal corrosion studies: A review,” *Mater. Today Chem.*, vol. 37, no. January, p. 101986, doi: 10.1016/j.mtchem.2024.101986.
- [4] E. F. Daniel *et al.*, 2023, “Atmospheric corrosion performance of structural steel bolts in the Wenchang marine environment, South China,” *Eng. Fail. Anal.*, vol. 150, no. March, p. 107352, doi: 10.1016/j.engfailanal.2023.107352.
- [5] B. Hou *et al.*, 2017, “The cost of corrosion in China,” *npj Mater. Degrad.*, vol. 1, no. 1, doi: 10.1038/s41529-017-0005-2.
- [6] S. T. Kalajahi, A. Misra, and A. Koerdt, 2024, “Nanotechnology to mitigate microbiologically influenced corrosion (MIC),” *Front. Nanotechnol.*, vol. 6, no. April, doi: 10.3389/fnano.2024.1340352.
- [7] M. S. Ali, H. Praktikno, and W. L. Dhanistha, 2019, “Analisis Pengaruh Variasi Sudut Blasting Dengan Coating Campuran Epoxy dan Aluminium Serbuk terhadap Kekuatan Adhesi, Prediksi Laju Korosi, dan Morfologi pada Plat Baja ASTM A36,” *J. Tek. ITS*, vol. 8, no. 1, doi: 10.12962/j23373539.v8i1.39068.
- [8] S. Palraj and G. Venkatachari, 2007, “Corrosion behaviour of copper in mandapam seawater,” *Indian J. Chem. Technol.*, vol. 14, no. 1, pp. 29–33.
- [9] B. H. Priyambodo, S. Slamet, Suhartoyo, and Sriyanto, 2018, “Peningkatan Ketahanan Korosi Pada Permukaan Cu40zn Dengan Proses Shot Peening Variasi Tekanan Tembak,” *Pros. SNATIF Ke -5*, pp. 655–660.
- [10] S. Harsimran, K. Santosh, and K. Rakesh, 2021, “Overview of Corrosion and Its Control: a Critical Review,” *Proc. Eng. Sci.*, vol. 3, no. 1, pp. 13–24, doi: 10.24874/PES03.01.002.
- [11] M. Fontana, 1989, “Mars Fontana - Corrosion Engineering (Mcgraw-Hill International Editions) (1986, McGraw-Hill Companies).pdf,”
- [12] R. Basséguy, M. L. Délia, B. Erable, and A. Bergel, 2014, *Electroactive biofilms*. doi: 10.1533/9781782421252.1.107.
- [13] J. Kadukova and P. Pristas, 2018, “Biocorrosion-microbial action,” *Encycl. Interfacial Chem. Surf. Sci. Electrochem.*, pp. 20–27, doi: 10.1016/B978-0-12-409547-2.13500-0.
- [14] P. Liu, H. Zhang, and Y. Fan, 2023, “Microbially Influenced Corrosion of Steel in Marine Environments: A Review from Mechanisms to Prevention,”
- [15] M. Chen, Q. Yu, and H. Sun, 2013, “Novel strategies for the prevention and treatment of biofilm related infections,” *Int. J. Mol. Sci.*, vol. 14, no. 9, pp. 18488–18501, doi: 10.3390/ijms140918488.
- [16] H. Dang and C. R. Lovell, 2016, “Microbial Surface Colonization and Biofilm Development in Marine Environments,” *Microbiol. Mol. Biol. Rev.*, vol. 80, no. 1, pp. 91–138, doi: 10.1128/mubr.00037-15.

- [17] A. F. F. Giacobone *et al.*, 2015, "Biocorrosion at Embalse Nuclear Power Plant. Analysis of the Effect of a Biocide Product.," *Procedia Mater. Sci.*, vol. 8, pp. 101–107, doi: 10.1016/j.mspro.2015.04.053.
- [18] Z. Lewandowski and H. Beyenal, 2014, *Fundamentals of BIOFILM RESEARCH Second Edition*. CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an Informa business.
- [19] R. Wulansari, Sudarti, and Yushardi, 2024, "Menggali Potensi : Transformasi Energi dari Air Laut sebagai Sumber Terbarukan untuk Ketahanan Energi Global Pendidikan Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan , Universitas Jember Pendahuluan Indonesia menjadi salah satu negara kepulauan terbesar di," vol. 2, no. May, pp. 322–328.
- [20] T. & Al Tanto and Riswanto, 2022, "Kajian suhu permukaan laut (spl) menggunakan analisis deret waktu di perairan laut banda," vol. 15, no. 3, pp. 270–279.
- [21] F. B. Susetyo, S. T. Dwiwati, and M. T. Pangestu, 2019, "KEHILANGAN MASSA PADA LARUTAN HCL DAN NACI BAJA KARBON RENDAH HASIL ELEKTROPLATING TEMBAGA-NIKEL 1," vol. 4, no. 1, pp. 15–20, 2019.
- [22] P. Agus, R. Arifin, and P. W. Trisnadi, 2022, "ANALISA WOOD PLASTIC COMPOSITE SERBUK KAYU SENGON LAUT DAN PLASTIK HDPE TERHADAP UJI TARIK DAN UJI STRUKTUR MIKRO," *J. automech*, vol. 01, pp. 23–28.



Gede Sarma Adi Putra, mahasiswa Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, dari tahun 2021 sampai dengan tahun 2025 yang telah menyelesaikan Pendidikan strata 1 dengan topik STUDI LAJU BIKOROSI PADA LOGAM TEMBAGA (Cu) DI LINGKUNGAN AIR LAUT TROPIS. Dengan konsentrasi rekayasa manufaktur