

TUGAS AKHIR

PENGARUH PENCAMPURAN MINYAK PIROLISIS PLASTIK BIODIESEL DAN SOLAR TERHADAP LAJU KOROSI TEMBAGA DALAM LINGKUNGAN TERTUTUP

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

SURYA AFDUHA
2107230065



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2025**

HALAMAN PENGESAHAN

Proposal penelitian Tugas Akhir ini diajukan oleh:

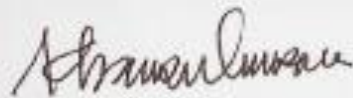
Nama	: Surya Afduha
NPM	: 2107230065
Program Studi	: Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir	: Pengaruh Pencampuran Minyak Pirolisis Plastik Biodiesel Dan Solar Terhadap Laju Korosi Tembaga Dalam Lingkungan Tertutup
Bidang ilmu	: Konstruksi Manufaktur

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai penelitian tugas akhir untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 15 September 2025

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



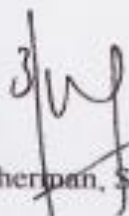
Dr. Khairul Umurani, S.T., M.T

Dosen Penguji II



Affandi, S.T., M.T

Dosen Penguji III



Dr. Suherman, S.T., M.T

Program Studi Teknik Mesin
Ketua



Chandra A Siregar, S.T., M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Surya Afduha
Tempat /Tanggal Lahir : Sipare-pare /22 September 2003
NPM : 2107230065
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Pengaruh Pencampuran Minyak Pirolisis Plastik Biodiesel Dan Solar Terhadap Laju Korosi Tembaga Dalam Lingkungan Hidup”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 15 September 2025

Saya yang menyatakan,



Surya Afduha

ABSTRAK

Korosi adalah salah satu isu yang relevan dengan masalah perbandingan kompatibilitas biodiesel dengan berbagai jenis logam. Komposisi biodiesel mempengaruhi ketahanan korosi logam pada sirkuit bahan bakar. Biodiesel menjadi lebih korosif dengan kehadiran air dan asam lemak bebas. penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh campuran minyak pirolisis plastik, biodiesel dan solar terhadap korosi tembaga yang mungkin mengandung senyawa asam lemak bebas yang dapat mempercepat proses terjadinya korosi. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, pengaruh campuran bahan bakar terhadap laju korosi pada waktu perendaman 500 jam, B0 memiliki laju korosi terendah 0,001439391 mm/tahun, sedangkan laju korosi tertinggi pada 500 jam didapatkan pada B40 0,002630013 mm/tahun. Pada perendaman 2000 jam, menunjukkan kecenderungan nilai laju korosi yang mulai stabil, kenaikan dari 1500 ke 2000 jam sangat kecil, menunjukkan proses korosi mulai melambat, disebabkan oleh terbentuknya lapisan pasif atau produk korosi yang menutupi permukaan tembaga dan menghambat reaksi lebih lanjut. Perbedaan laju korosi antara B0 0,000235 mm/tahun dan B40 0,000349 mm/tahun. Dari hasil pengamatan uji SEM pada tembaga, dapat disimpulkan bahwa perendaman tembaga dalam campuran solar, biodiesel, dan minyak pirolisis memberikan pengaruh nyata terhadap morfologi permukaan. hal ini sejalan dengan hasil uji laju korosi sebelumnya, di mana peningkatan kandungan biodiesel dan minyak pirolisis menyebabkan kenaikan laju korosi tembaga

Kata Kunci: *Laju korosi, Tembaga, Biodiesel, Minyak pirolisis, SEM*

ABSTRAC

Corrosion is one of the issues relevant to the problem of comparing the compatibility of biodiesel with various types of metals. The composition of biodiesel affects the corrosion resistance of metals in the fuel circuit. Biodiesel becomes more corrosive in the presence of water and free fatty acids. This study aims to analyze the effect of a mixture of plastic pyrolysis oil, biodiesel and diesel on copper corrosion which may contain free fatty acid compounds that can accelerate the corrosion process. From the results of the research that has been done, the effect of the fuel mixture on the corrosion rate at a time of immersion of 500 hours, B0 has the lowest corrosion rate of 0.001439391 mm / year, while the highest corrosion rate at 500 hours was obtained in B40 0.002630013 mm / year. At 2000 hours of immersion, it shows a tendency for the corrosion rate value to start to stabilize, the increase from 1500 to 2000 hours is very small, indicating the corrosion process is starting to slow down, caused by the formation of a passive layer or corrosion product that covers the copper surface and inhibits further reactions. The difference in corrosion rate between B0 and B40 is 0.000235 mm/year. SEM observations on copper indicate that immersion in a mixture of diesel fuel, biodiesel, and pyrolysis oil significantly impacts the surface morphology. This is consistent with previous corrosion rate tests, which found that increasing biodiesel and pyrolysis oil content increased the copper corrosion rate.

Keywords: Corrosion rate, Copper, Biodiesel, Pyrolysis oil, SEM

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul: “Pengaruh Pencampuran Minyak Pirolisi Plastik Biodiesel Dan Solar Terhadap Laju Korosi Tembaga Dalam Lingkungan Tertutup”.

Dalam menyelesaikan proposal ini mulai dari proses awal sampai proses akhir penyelesaian, penulis telah banyak menerima bantuan bimbingan yang sangat berharga dari berbagai pihak, sehingga proposal ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis juga ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Suherman, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing Proposal Tugas Akhir yang telah banyak meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dalam menyelesaikan proposal tugas akhir ini.
2. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D, selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Chandra A Siregar, S.T., M.T selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T selaku Sekretaris Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Teristimewa selaku orang tua yang selama ini telah banyak memberikan dorongan moril, materi serta do’a dan kasih sayangnya kepada penulis.
8. Sahabat-sahabat saya: Muhammad Toha Tambunan, yang tidak mungkin namanya disebut satu

persatu.

Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu keteknik-mesinan

Medan, 15 September 2025

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Surya Afduha', written in a cursive style.

Surya Afduha

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iv
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRAC</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Ruang Lingkup	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Korosi	5
2.2. Jenis-jenis Korosi	6
2.3. Pirolisis	10
2.4. Sampah Plastik	11
2.5. Plastik Secara Umum	12
2.6. Plastik LDPE(<i>Low Density Polyethylene</i>)	12
2.7. Biodiesel	14
2.8. Stabilitas Oksidasi Pada Berbagai Jenis Bahan Bakar	17
2.9. Solar	17
2.10.	Laju Korosi
18	
BAB 3 METODE PENELITIAN	20
3.1. Tempat Dan Waktu	20
3.1.1 Tempat	20
3.1.2 Waktu	20
3.2. Alat Dan Bahan Penelitian	21
3.2.1 Alat	21
3.2.2 Bahan	23
3.3. Diagram Alir	27
3.4. Rancangan Alat Penelitian	28
3.5. Prosedur Penelitian	28

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1. Hasil Penelitian	30
4.1.1 Pengaruh Campuran Minyak Pirolisis, Biodiesel dan Solar Terhadap Laju Korosi	30
4.1.2 Perbandingan Laju Korosi Tembaga Pada Penggunaan Pencampuran Minyak Pirolisis Plastik Dengan Bahan Bakar Biodiesel dan Solar	30
4.1.3 Analisa SEM	34
4.2. Hasil Pembahasan	39
4.2.1 Pembahasan Pengaruh Campuran Minyak Pirolisis, Biodiesel dan Solar Terhadap Laju Korosi	39
4.2.2 Pembahasan Perbandingan Laju Korosi Tembaga Pada Penggunaan Pencampuran Minyak Pirolisis Plastik Dengan Bahan Bakar Biodiesel dan Solar	39
4.2.3 Pembahasan SEM	40
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	41
5.1. Kesimpulan	41
5.2. Saran	41
DAFTAR PUSTAKA	43
Lampiran 1. Hasil Penelitian	
Lampiran 2. Gambar Rancangan Alat Penelitian	
Lampiran 3. Lembar Asistensi	
Lampiran 4. SK Pembimbing	
Lampiran 5. Berita Acara Seminar Hasil Penelitian	
Lampiran 6. Daftar Riwayat Hidup	

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Jadwal dan kegiatan saat melakukan penelitian	20
Tabel 3. 2 Karakteristik Solar	23
Tabel 3. 3 Karakteristik Biodiesel	24
Tabel 3. 4 Karakteristik Pirolisis Plastik LDPE	25
Tabel 4. 1 Laju korosi tembaga pada 500 jam, 1000 jam, 1500 jam, 2000 jam	30

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Korosi Merata	6
Gambar 2. 2 Korosi Sumur	7
Gambar 2. 3 Korosi Erosi	7
Gambar 2. 4 Korosi Galvanis	8
Gambar 2. 5 Korosi Celah	9
Gambar 2. 6 Korosi Celah	9
Gambar 2. 7 Korosi Lelah	10
Gambar 2. 8 LDPE	13
Gambar 2. 9 Karakteristik Biodiesel	14
Gambar 2. 10 Transesterifikasi	17
Gambar 3. 1 Timbangan Analitik	21
Gambar 3. 2 Jangka Sorong	21
Gambar 3. 3 Tupperware	22
Gambar 3. 4 Gelas Ukur	22
Gambar 3. 5 Tembaga	23
Gambar 3. 6 Solar	24
Gambar 3. 7 Biodiesel	25
Gambar 3. 8 Minyak Pirolisis Plastik LDPE	26
Gambar 3. 9 Rancangan Alat Penelitian	28
Gambar 4. 1 Grafik Laju Korosi 500 jam	31
Gambar 4. 2 Grafik Laju Korosi 1000 jam	32
Gambar 4. 3 Grafik Laju Korosi 1500 jam	33
Gambar 4. 4 Grafik Laju Korosi 2000 jam	34
Gambar 4. 5 Uji SEM Morfologi Permukaan Tembaga 500 Jam	35
Gambar 4. 6 Uji SEM Morfologi Permukaan tembaga 2000 Jam	37

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kelangkaan bahan bakar fosil menjadi perhatian utama terhadap perubahan kebijakan energi hampir di seluruh dunia. Berbagai usaha telah dilakukan untuk menemukan bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar fosil di masa depan. Biodiesel dipertimbangkan sebagai salah satu bahan bakar alternatif yang dapat menyelesaikan masalah krisis energi tersebut karena dapat menggantikan bahan fosil terutama sebagai pengganti solar konvensional. Penggunaan biodiesel memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan solar dan pada saat ini telah digunakan cukup luas di beberapa negara. Biodiesel memiliki beberapa kelebihan diantaranya hasil pembakaran yang bersih, aman, serta dapat diperbaharui (Jin et al. 2015)

Biodiesel dihasilkan dari minyak goreng bekas (WCO) adalah biofuel generasi kedua karena diperoleh dari bahan baku non-tanaman. Hal ini sangat menjanjikan dari segi kualitas dan biaya produksi. Minyak WCO jauh lebih murah daripada minyak nabati, pembuangan minyak bekas dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Selain itu sebagai bahan baku berbiaya murah dibanding solar dari fosil (Foteinis dkk., 2020).

Dibandingkan dengan solar, biodiesel lebih higroskopis karena mudah menyerap kelembaban dan air sehingga membentuk embun pada permukaan logam yang mengarah pada korosi. Selain itu, kehadiran ion logam yang disebabkan oleh korosi dapat mengkatalisis reaksi lain yang tidak diinginkan sehingga menyebabkan ketidakstabilan dan degradasi biodiesel. Beberapa faktor lain seperti suhu tinggi, kontak dengan udara dapat mempengaruhi kualitas biodiesel (Mofijur dkk., 2013).

Sampah plastik sampai saat ini masih menjadi permasalahan lingkungan serius, seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk dan pertumbuhan ekonomi yang akan berpengaruh terhadap volume sampah plastik. Menurut data dari Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SISPN), Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (MenLHK) pada tahun 2021 kontribusi

sampah plastik terhadap total produksi sampah nasional mencapai 17,73% dan menempatkan sampah plastik sebagai kontributor terbesar kedua setelah sampah organik. Persentase sampah plastik ini mengalami tren peningkatan dibandingkan tahun 2019 sebesar 15,93% dan tahun 2020 sebesar 17,11%. Kontribusi sampah plastik beberapa kota terhadap total sampah kota di Indonesia pada tahun 2019 dan 2020 (Kartika, 2022).

Meninjau kelinearan antara permasalahan di atas, sampah plastik menjadi angin segar sebagai salah satu potensi energi alternatif untuk sumber hidrokarbon, karena plastik merupakan produk turunan dari minyak bumi itu sendiri, sehingga dapat dikonversi kembali menjadi bahan penyusunnya. Kandungan energi pada plastik hampir setara dengan bahan bakar seperti bensin, solar, dan minyak tanah. Sampah plastik yang sering menjadi masalah di berbagai kota di Indonesia adalah jenis kantong plastik (LDPE), yang tidak lagi mempunyai nilai jual di pasaran. Sampah kantong plastik LDPE sudah menjadi sampah yang menumpuk dan sulit diperbaharui, sehingga sangat mendesak untuk ditangani, terutama sampah plastik LDPE hasil dari sektor rumah tangga (Yuliana et al., 2023).

Korosi adalah salah satu isu yang relevan dengan masalah perbandingan kompatibilitas biodiesel dengan berbagai jenis logam. Komposisi biodiesel mempengaruhi ketahanan korosi logam pada sirkuit bahan bakar. Biodiesel menjadi lebih korosif dengan kehadiran air dan asam lemak bebas. Korosifitas biodiesel dipengaruhi oleh bahan baku terutama derajat ketidakjenuhannya yang mengarah pada proses degradasi dan pembentukan produk dengan tingkat korosi yang berbeda (Cahyadi, 2017).

Korosi merupakan fenomena kerusakan suatu material akibat material tersebut bereaksi secara kimia dengan lingkungan nya yang tidak mendukung. Korosi dapat berlangsung apabila semua komponen sel elektrokimia tersedia yaitu anoda, katoda sirkuit eksternal (penghubung antara anoda dan katoda), sirkuit internal (elektrolit). Katoda(+) dan anoda(-) adalah logam yang sejenis atau berlainan yang mempunyai perbedaan potensial. Apabila salah satu dari komponen tersebut diatas tidak ada, maka korosi tidak akan berlangsung. Lingkungan yang tidak mendukung yang dapat menyebabkan korosi dapat berupa

kadar pH yang rendah, banyaknya kandungan unsur klorida bebas, sulfat dan beberapa faktor lingkungan lainnya. Dalam menentukan suatu derajat kerusakan dari suatu proses korosi terhadap suatu material maka digunakan satuan mpy dan mm/year yang menyatakan laju korosi. (Cahyadi, 2017).

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penulis melakukan penelitian pengaruh campuran minyak pirolisis plastik, biodiesel dan solar terhadap korosi tembaga yang mungkin mengandung senyawa asam lemak bebas yang dapat mempercepat proses terjadinya korosi. Maka dari itu peneliti melaksanakan penelitian dengan mengangkat judul “Pengaruh Pencampuran Minyak Pirolisis Plastik Biodiesel dan Solar Terhadap Laju Korosi Tembaga Dalam Lingkungan Hidup.”

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Bagaimana pengaruh campuran minyak pirolisis plastik, biodiesel, dan solar terhadap laju korosi tembaga
- 2) Bagaimana perbandingan laju korosi tembaga pada penggunaan pencampuran minyak pirolisis plastik dengan bahan bakar biodiesel dan solar secara terpisah

1.3. Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup dalam penelitian ini yaitu

- 1) Menggunakan campuran bahan bakar jenis minyak pirolisis plastik LDPE, biodiesel dan solar
- 2) Material yang di uji adalah tembaga
- 3) Variasi pecampuran minyak pirolisis plastik, biodiesel dan solar (B0,B10,B20,B30,B40)
- 4) Penelitian ini membahas laju korosi tembaga dan uji SEM

1.4. Tujuan Penelitian

- 1) Untuk mengetahui pengaruh campuran minyak pirolisis plastik, biodiesel, dan

solar terhadap laju korosi tembaga

- 2) Untuk Membandingkan laju korosi tembaga pada penggunaan pencampuran minyak pirolisis plastik dengan bahan bakar biodiesel dan solar secara terpisah

1.5. Manfaat

Manfaat dari penelitian ini ialah:

- 1) Mengembangkan penggunaan campuran minyak pirolisis plastik, biodiesel dan solar terhadap korosi pada tembaga
- 2) Merekomendasikan penggunaan bahan bakar campuran minyak pirolisis plastik, biodiesel, dan solar yang baik untuk digunakan sesuai dengan hasil penelitian ini.
- 3) Penelitian ini dapat dikembangkan untuk penelitian berikutnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Korosi

Korosi merupakan penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya yang berhubungan langsung dengan udara terbuka, sering disebut juga dengan korosi atmosfer. Hampir seluruh produk korosi disebabkan oleh lingkungan atmosfer. Hal ini dikarenakan pada umumnya logam selalu berhubungan dengan udara terbuka yang kelembaban dan kandungan polutannya dapat mempengaruhi korosifitas logam. Korosi atmosferik sangat dipengaruhi oleh kondisi topografi dan iklim atau lingkungan. Faktor-faktor seperti temperatur, kelembaban dan kandungan bahan kimia dalam udara sangat menentukan laju korosi. Sementara itu, komposisi logam, struktur metalurgi, dan proses pembuatan logam juga mempercepat timbulnya korosi (Trethewey et al., 2017).

Korosi merupakan fenomena kerusakan suatu material akibat material tersebut bereaksi secara kimia dengan lingkungannya yang tidak mendukung. Korosi dapat berlangsung apabila semua komponen sel elektrokimia tersedia yaitu anoda, katoda, sirkuit eksternal (penghubung antara anoda dan katoda), sirkuit internal (elektrolit). Katoda(+) dan anoda(-) adalah logam yang sejenis atau berlainan yang mempunyai perbedaan potensial. Apabila salah satu dari komponen tersebut diatas tidak ada, maka korosi tidak akan berlangsung. Lingkungan yang tidak mendukung yang dapat menyebabkan korosi dapat berupa kadar pH yang rendah, banyaknya kandungan unsur klorida bebas, sulfat dan beberapa faktor lingkungan lainnya. Dalam menentukan suatu derajat kerusakan dari suatu proses korosi terhadap suatu material maka digunakan satuan mpy dan mm/year yang menyatakan laju korosi. Korosi atmosfer merupakan salah satu bentuk kerusakan yang terjadi akibat udara yang berpolusi. Kerusakan ini disebabkan oleh alam dan manusia itu sendiri. Kerusakan yang terjadi berawal dari sesuatu yang kecil dan akan lama-kelamaan akan berdampak besar.

Material yang umumnya terbuat dari logam sehingga menimbulkan kerugian

yang cukup besar dari segi biaya. Hal ini membuat para ahli menganggap kerusakan akibat karat sebanding dengan keuntungan yang diperoleh manusia dengan ditemukannya logam besi. Padahal sesungguhnya karat hanyalah sebagian dari produk akibat proses korosi (Cahyadi, 2017).

2.2. Jenis-jenis Korosi

Ada beberapa jenis korosi yang terjadi pada logam antara lain adalah sebagai berikut :

a. *Uniform Attack* (Korosi Merata)

Korosi merata merupakan korosi yang terjadi pada permukaan logam akibat reaksi kimia karena pH air yang rendah dan udara yang lembap, sehingga makin lama logam makin menipis. Biasanya ini terjadi pada pelat baja atau profil, logam homogen. Korosi ini terjadi pada seluruh permukaan logam yang kontak dengan air dengan intensitas yang sama. Akibat korosi ini biasanya logam akan mengalami kehilangan berat paling besar dibandingkan dengan korosi lain.

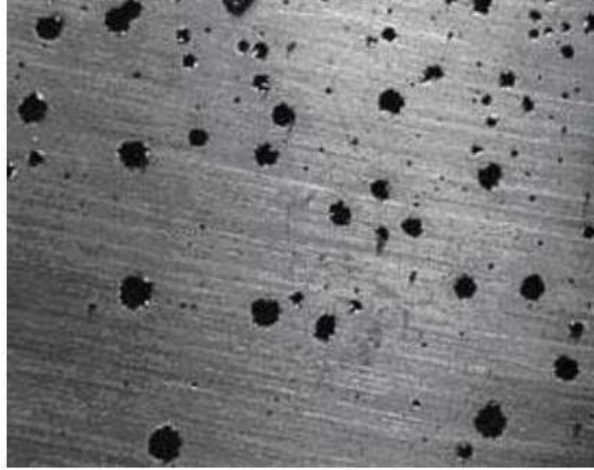


Gambar 2. 1 Korosi Merata (Trethewey el al.,2017).

b. *Pitting Corrosion* (Korosi Sumur)

Korosi sumur merupakan korosi yang disebabkan karena komposisi logam yang tidak homogen dimana pada daerah batas timbul korosi yang berbentuk sumur. Korosi *pitting* sering dianggap lebih berbahaya jika dibandingkan dengan korosi merata (*uniform*). Bentuk korosi ini sulit untuk diidentifikasi, karena produk korosi yang terbentuk biasanya akan menutupi rongga-rongga serta sulit untuk diprediksi. Logam yang dapat membentuk lapisan pasif, seperti baja dan aluminium

merupakan logam yang paling rentan terserang korosi *pitting*. Kegagalan material akibat korosi *pitting* terjadi melalui mekanisme penetrasi dengan persentase kehilangan berat (*weight-loss*) yang sangat kecil.



Gambar 2. 2 Korosi Sumur (Trethewey et al., 2017).

c. *Erosion Corrosion* (Korosi Erosi)

Korosi erosi merupakan korosi yang terjadi karena keausan dan menimbulkan bagian – bagian yang tajam dan kasar, bagian – bagian inilah yang udah terjadi korosi dan juga diakibatkan karena fluida yang sangat deras dan dapat mengikis film pelindung pada logam. Korosi ini biasanya terjadi pada pipa dan *propeller*. Korosi erosi juga dapat terjadi karena efek-efek mekanik yang terjadi pada permukaan logam, misalnya : pengausan, abrasi dan gesekan. Logam yang mengalami korosi erosi akan menimbulkan bagian-bagian yang kasar dan tajam.



Gambar 2. 3 Korosi Erosi (Hasyim et al., 2017)

d. *Galvanic Corrosion* (Korosi Galvanis)

Korosi galvanis merupakan korosi yang terjadi karena adanya 2 logam yang berbeda dalam satu elektrolit sehingga logam yang lebih anodik akan terkorosi. Proses korosi ini melibatkan reaksi elektrokimia oksidasi-reduksi (redoks). Kedua logam yang berada dalam larutan elektrolit akan membentuk sebuah sel galvanik. Logam yang memiliki nilai potensial elektroda yang lebih rendah yaitu logam dengan posisi lebih tinggi dalam daftar seri Elektrokimia akan menghasilkan reaksi anodik atau oksidasi, sedangkan logam yang memiliki nilai potensial elektroda lebih tinggi atau lebih mulia akan menghasilkan reaksi katodik atau reduksi pada permukaannya. Perbedaan potensial elektroda antara kedua logam yang membentuk sel galvanik merupakan penentu daya dorong untuk terjadinya korosi.



Gambar 2. 4 Korosi Galvanis (Hasyim et al., 2017)

e. *Crevice Corrosion* (Korosi Celah)

Korosi celah merupakan korosi yang terjadi pada logam yang berdempetan dengan logam lain diantaranya ada celah yang dapat menahan kotoran dan air sehingga konsentrasi O_2 pada mulut dibandingkan pada bagian dalam, sehingga bagian dalam lebih anodik dan bagian mulut jadi katodik. Tindakan korosi lokal dgn perubahan yang tinggi pada lubang sempit yang disebabkan adanya perbedaan penambahan oksigen dengan konsentrasi oksigen dalam celah lebih rendah sehingga sulit bagi oksigen untuk menembus lubang kecil.



Gambar 2. 5 Korosi Celah (Hasyim et al., 2017)

f. Korosi Mikrobiologi

Korosi mikrobiologi merupakan korosi yang terjadi karena mikroba. Mikroorganisme yang mempengaruhi korosi antara lain bakteri, jamur, alga dan *protozoa*. Korosi ini bertanggung jawab terhadap degradasi material di lingkungan. Pengaruh inisiasi atau laju korosi di suatu area, mikroorganisme umumnya berhubungan dengan permukaan korosi kemudian menempel pada permukaan logam dalam bentuk lapisan tipis atau biodeposit. Lapisan *film* tipis atau *biofilm*. Pembentukan lapisan tipis saat 2 – 4 jam pencelupan sehingga membentuk lapisan ini terlihat hanya bintik- bintik dibandingkan menyeluruh di permukaan.



Gambar 2. 6 Korosi Celah (Hasyim et al., 2017)

g. *Fatigue corrosion* (korosi lelah)

Korosi lelah merupakan korosi ini terjadi karena logam mendapatkan beban siklus yang terus berulang sehingga semakin lama logam akan mengalami patah karena terjadi kelelahan logam. Korosi ini biasanya terjadi pada turbin uap, pengeboran minyak dan propeller kapal.



Gambar 2. 7 Korosi Lelah (Hasyim et al., 2017)

2.3. Pirolisis

Pirolisis berasal dari dua kata yaitu *pyro* yang berarti panas dan *lysis* yang berarti penguraian atau degradasi, sehingga pirolisis berarti penguraian biomassa oleh panas pada suhu lebih dari 150°C. Pirolisis merupakan proses *thermal cracking* yaitu proses perekahan atau pemecahan rantai polimer menjadi senyawa yang lebih sederhana melalui proses *thermal* (pemanasan/pembakaran) dengan tanpa maupun sedikit oksigen. Pirolisis merupakan proses endotermis artinya proses pirolisis hanya bisa terjadi ketika dalam sistem diberikan energi panas. Energi panas yang dibutuhkan pada proses ini dapat bersumber dari tenaga listrik maupun dari tungku pembakaran dengan bahan bakar berupa limbah kayu seperti potongan-potongan kayu, serbuk gergaji, dan lain-lain. Istilah lain dari pirolisis adalah “*destructive distillation*” atau destilasi kering, merupakan proses penguraian yang tidak teratur dari bahan-bahan organik yang disebabkan oleh adanya pemanasan tanpa berhubungan dengan udara luar (Wahyudi, 2018).

Proses pirolisis pada penelitian ini dimulai saat sampah plastik dimasukkan

kedalam reaktor kemudian dipanaskan pada suhu 100°C, 150°C, 200°C, 250°C dan 300°C dan dikontrol menggunakan *thermometer* agar suhu selalu stabil. Reaktor diisi dengan sampah plastik berjenis PP dan HDPE dengan massa 0,5 kg. Setelah sampah telah dimasukkan, lamanya proses pirolisis dihitung menggunakan stopwatch (Wajdi, 2020).

2.4. Sampah Plastik

Sampah plastik adalah semua limbah atau material sisa yang terbuat dari polimer sintetis atau plastik. Sampah plastik dapat berupa berbagai jenis produk, termasuk botol, kemasan makanan, kantong belanja, peralatan rumah tangga, dan banyak lagi. Plastik biasanya diproduksi dari bahan-bahan kimia tak terbarukan, seperti minyak bumi, dan sulit terurai secara alami di lingkungan. Ini menyebabkan akumulasi sampah plastik yang serius di darat, laut, dan udara, mengakibatkan masalah lingkungan yang signifikan, termasuk polusi, kerusakan ekosistem, dan ancaman terhadap kehidupan satwa liar dan manusia. Penanganan sampah plastik yang populer selama ini adalah dengan 3R (*Reuse, Reduce, Recycle*) (Iswadi et al., 2017).

- a. *Reuse* adalah memakai berulang kali barang-barang yang terbuat dari plastik.
- b. *Reduce* adalah mengurangi pembelian atau penggunaan barang-barang dari plastik, terutama barang-barang yang sekali pakai
- c. *Recycle* adalah mendaur ulang barang-barang yang terbuat dari plastik. Masing-masing penanganan sampah tersebut di atas mempunyai kelemahan.

Kelemahan dari *reuse* adalah barang-barang tertentu yang terbuat dari plastik, seperti kantong plastik, kalau dipakai berkali-kali akan tidak layak pakai. Selain itu beberapa jenis plastik tidak baik bagi kesehatan tubuh apabila dipakai berkali-kali. Kelemahan dari *reduce* adalah harus tersedianya barang pengganti plastik yang lebih murah dan lebih praktis. Sedangkan kelemahan dari *recycle* adalah bahwa plastik yang sudah didaur ulang akan semakin menurun kualitasnya (Iswadi et al., 2017).

2.5. Plastik Secara Umum

Plastik adalah suatu polimer rantai panjang dari atom yang mengikat satu sama lain. Rantai ini membentuk banyak unit molekul berulang atau monomer. Bahan pembuat plastik awalnya adalah minyak dan gas sebagai sumber alami, dan saat ini banyak digantikan dengan bahan sintetis. Sifat-sifat fisik plastik adalah:

1. Thermoplastik

Jenis plastik ini dapat didaur ulang atau dicetak kembali dengan proses pemanasan ulang, seperti *Polyethylene Terephthalate* (PET), *Polystyrene* (PS), dan *Polycarbonate* (PC).

2. Thermosetting

Jenis plastik ini tidak dapat didaur ulang atau dicetak lagi dengan proses pemanasan ulang, oleh karena pemanasan ulang yang menyebabkan kerusakan pada molekul-molekulnya, seperti melamin. Terdapat berbagai jenis plastik yang umum digunakan, setiap jenis plastik memiliki kegunaan dan kelebihan masing-masing

2.6. Plastik LDPE(*Low Density Polyethylene*)

Low Density Polyethylene (LDPE) adalah plastik yang digunakan untuk plastik kemasan, botol-botol yang lembut, kantong / tas kresek, dan plastik tipis lainnya. Plastik LPDE $(-CH_2-CH-)_n$ ini jenis plastik yang bersifat *nonbiodegradable* atau tidak dapat terdegradasi oleh mikroorganisme, sehingga menyebabkan masalah lingkungan. Plastik LDPE ini bisa di daur ulang, baik untuk barang-barang yang memerlukan fleksibilitas tetapi kuat, dan memiliki resistensi yang baik terhadap reaksi kimia Penelitian ini bertujuan untuk Mengetahui penggunaan plastik LDPE. Plastik LDPE adalah singkatan dari *Low Density Polyethylene* (Polietilena Berdensitas Rendah). LDPE adalah salah satu jenis plastik yang paling umum digunakan di dunia. Plastik LDPE memiliki sifat- sifat sebagai berikut:

1. Fleksibilitas: LDPE sangat fleksibel dan lentur, sehingga sering

digunakan dalam pembuatan kantong plastik, bungkus makanan, dan berbagai produk plastik fleksibel lainnya.

2. Tahan Terhadap Kimia: Plastik LDPE tahan terhadap banyak bahan kimia, sehingga cocok untuk penggunaan dalam berbagai kontainer kimia, botol-botol, dan produk-produk lain yang memerlukan ketahanan terhadap zat kimia.
3. Tahan Terhadap Air: LDPE memiliki sifat impermeabel terhadap air, sehingga digunakan dalam berbagai aplikasi yang memerlukan ketahanan terhadap kelembaban.
4. Insulasi Listrik: LDPE juga merupakan isolator listrik yang baik, sehingga digunakan dalam pembuatan kabel listrik dan perlengkapan elektronik lainnya.
5. Transparansi: Meskipun LDPE dapat diformulasikan untuk menjadi tidak tembus pandang, banyak produk LDPE yang transparan, sehingga cocok untuk penggunaan dalam kemasan makanan dan produk konsumen lainnya.

Penggunaan plastik LDPE sangat luas dan dapat ditemukan dalam berbagai aplikasi sehari-hari. Namun, karena sifatnya yang sulit terurai dan menyebabkan masalah lingkungan, khususnya pencemaran lautan dan masalah sampah plastik, ada upaya untuk mengurangi penggunaan plastik jenis ini dan menggantinya dengan alternatif yang lebih ramah lingkungan.(Sifiani et al., 2023)

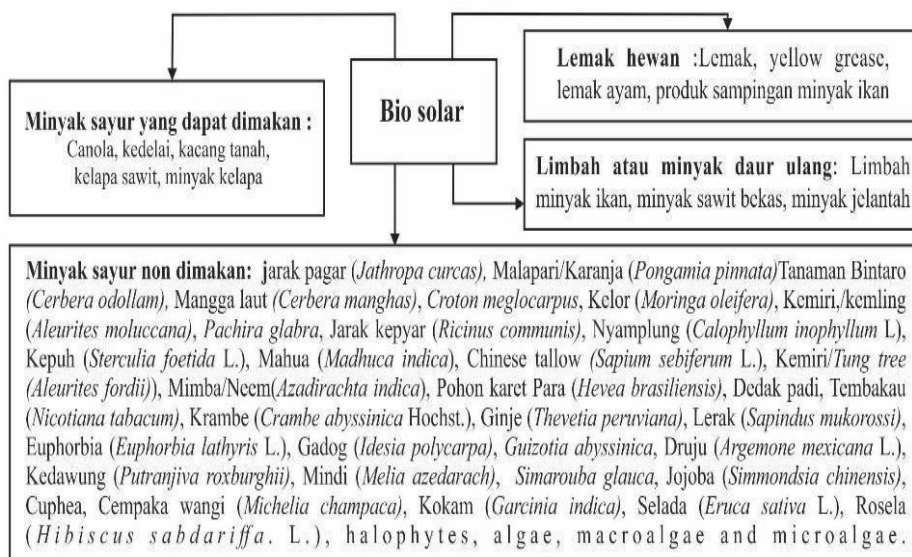


Gambar 2. 8 LDPE(Sifiani et al., 2023)

2.7. Biodiesel

Bahan bakar alternatif adalah bahan bakar baik padatan, cairan ataupun gas yang dihasilkan dari bahan-bahan organik. Biodiesel dapat dihasilkan secara langsung dari tanaman atau secara tidak langsung dari limbah industri, komersial, domestik atau pertanian. Biodiesel adalah salah satu alternatif yang menarik karena menunjukkan suatu penurunan emisi gas buang CO₂, NO_x, SO_x dan hidrokarbonhidrokarbon tak terbakar selama pembakaran, bila dibanding dengan bahan bakar fosil. Biodiesel salah satu bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan, tidak mempunyai efek terhadap kesehatan yang dapat dipakai sebagai bahan bakar kendaraan bermotor yang dapat menurunkan emisi bila dibandingkan dengan minyak diesel. Ada berbagai bahan baku yang tersedia untuk produksi biodiesel (Mofijur dkk., 2013).

Saat ini, ada lebih dari 350 jenis tanaman dengan minyak di seluruh dunia yang diidentifikasi sebagai bahan baku potensial untuk produksi biodiesel (Silitonga dkk., 2013). Salah satu persyaratan utama dalam produksi biodiesel adalah untuk mengurangi biaya produksi keseluruhan produksi biodiesel. Bahan baku biodiesel dapat dikelompokkan menjadi empat kelompok besar, yaitu minyak nabati yang dapat dikonsumsi (*edible*), minyak nabati tidak- dikonsumsi (*non-edible*), limbah atau minyak daur ulang, dan lemak hewani. Bahan baku ini dirangkum dalam Gambar dibawah ini



Gambar 2. 9 Karakteristik Biodiesel (Silitonga dkk., 2013).

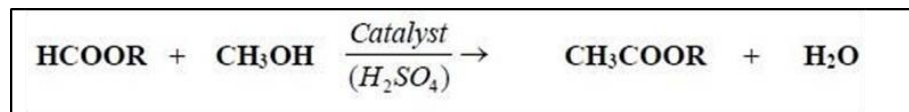
WCO dapat diperoleh dari rumah tangga, restoran, hotel, dan perusahaan pengolahan makanan setelah menggoreng dan proses persiapan makanan lainnya (Chen dkk., 2021). Biodiesel dihasilkan dari minyak goreng bekas (WCO) adalah biofuel generasi kedua karena diperoleh dari bahan baku non-tanaman. Hal ini sangat menjanjikan dari segi kualitas dan biaya produksi (Foteinis dkk., 2020). Minyak WCO jauh lebih murah daripada minyak nabati, pembuangan minyak bekas dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Selain itu sebagai bahan baku berbiaya murah dibanding solar dari fosil (Babaki dkk., 2017). Produksi biodiesel bisa dilakukan melalui proses transesterifikasi (juga disebut alkoholisis). Katalis yang digunakan sangat menentukan laju reaksi dan hasil. Jumlah alkohol yang berlebihan digunakan karena reaksinya cenderung *reversible* (Naveen dkk., 2020). Beberapa metode seperti transesterifikasi dengan katalis basa, transesterifikasi katalis asam, katalis enzim, superkritis super transesterifikasi dan pirolisis, telah digunakan untuk memproduksi biodiesel dari limbah minyak nabati (Outili dkk., 2020).

Biodiesel dapat dibuat dari berbagai jenis minyak hayati (minyak nabati atau lemak hewani) dengan proses esterifikasi gliserida atau proses alkoholisis. Minyak nabati yang memiliki asam lemak bebas sangat rendah (kurang dari 1,5%) dapat diolah dengan menggunakan satu tahap transesterifikasi dengan menggunakan katalis alkohol basa. Jika ALB lebih besar dari 2%, reaksi menggunakan katalis alkohol basa tidak dapat dilakukan langsung. Hal ini disebabkan karena ALB akan bereaksi dengan katalis alkohol basa. Oleh karena itu, diperlukan upaya penurunan ALB menggunakan katalis alkohol asam atau disebut reaksi esterifikasi (Gerpen, 2005). Minyak nabati yang dapat dijadikan biodiesel antara lain sawit, kapuk, kesambi, kanola, jarak pagar, nyamplung, mimba dan puluhan tanaman penghasil minyak lainnya. Proses pembuatan minyak nabati menjadi biodiesel dapat dilakukan dengan reaksi kimia menggunakan dua cara yaitu.

1. Esterifikasi

Metode esterifikasi menggunakan katalis alkohol asam yang bertujuan mengonversi ALB dari minyak nabati ester. Selanjutnya reaksi konversi trigliserida (reaksi lambat) menjadi metil ester. Hal ini disebabkan ALB bereaksi dengan katalis alkohol asam sehingga membentuk metil ester dan air. Reaksi esterifikasi

merupakan reaksi substitusi nukleofilik dan bukan reaksi asam basa. Gugus OH dari asam karboksilat disubstitusi oleh gugus OR dari alkohol. Menurut Canacki dan Cerpen, reaksi esterifikasi termasuk reaksi dapat balik karena gugus OH sebagai gugus pergi juga merupakan suatu nukleofil (Canacki dkk., 1999). Reaksi esterifikasi dipengaruhi oleh beberapa faktor di antaranya adalah waktu reaksi, suhu, kandungan katalis, jumlah pereaksi alkohol dan ALB serta kandungan air dalam minyak.



Gambar 2. 3 Esterifikasi (Canacki dkk., 1999).

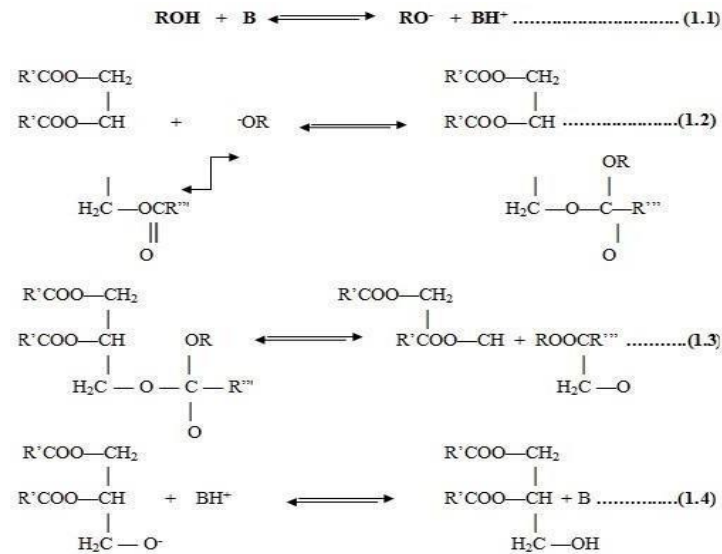
2. Transesterifikasi

Hal ini disebabkan sifat metanol dan minyak yang tidak dapat bercampur (*immiscible*). Oleh karena itu, diperlukan katalis yang bertindak dalam menyediakan ion untuk pertukaran ion antara kedua fase methanol dan minyak serta menurunkan energi aktivasi sehingga reaksi berlangsung lebih cepat (Altic, 2010). Katalis basa yang biasa digunakan dalam proses transesterifikasi adalah NaOH dan KOH. Katalis NaOH secara teknis lebih mudah diperoleh dan harganya pun lebih murah serta menghasilkan waktu reaksi cenderung lebih cepat dari penggunaan katalis KOH (Vicente, 2006).

Menurut (Singh, 2008), reaksi transesterifikasi trigliserida menjadi alkil ester terbagi menjadi tiga reaksi dengan monogliserida dan gliserida sebagai hasil reaksi parsial. Pertama-tama trigliserida bereaksi dengan methanol membentuk digliserida dan metil ester pertama. Hal ini disebabkan dengan pembentukan katalis yang telah terprotonasi (BH^+) dan metoksida (RO^-) hasil reaksi methanol dengan katalis basa. Setelah hasil reaksi di atas terjadi, selanjutnya serangan nukleofil dari metoksida menyerang trigliserida untuk

menentuk metil ester dan digliserida. Hal ini juga berlangsung pada digliserida dengan reaksi serupa untuk membentuk metil ester dan monogliserida serta kepada monogliserida untuk membentuk metil ester dan gliserol.

Hasil akhir diperoleh adalah tiga molekul dan satu metil ester dan 1 molekul trigliserida dan tiga molekul methanol seperti pada gambar di bawah.



Gambar 2. 10 Transesterifikasi (Vicente, 2006).

2.8. Stabilitas Oksidasi Pada Berbagai Jenis Bahan Bakar

Berbagai jenis bahan bakar memiliki stabilitas oksidasi yang berbeda, tergantung pada komposisi kimianya:

1. Solar (Diesel)

- Stabilitas oksidasi lebih tinggi dibandingkan biodiesel karena kandungan hidrokarbon jenuh yang lebih dominan.
- Dapat terdegradasi lebih cepat jika terpapar udara atau kontaminan logam.

2. Biodiesel

- Rentan terhadap oksidasi karena kandungan asam lemak tak jenuh.
- Menurut (Heriyanti et al. 2017), biodiesel lebih mudah terdegradasi dibandingkan minyak diesel:

3. Pirolisis

- Mengandung hidrokarbon rantai panjang tak jenuh.
- Menurut penelitian (Sunarno 2014), minyak pirolisis dari biomassa memiliki stabilitas oksidasi yang lebih baik dibandingkan minyak pirolisis dari plastik karena kandungan aromatiknya yang lebih tinggi (Sunarno, 2014)

2.9. Solar

Solar adalah fraksi dari pemanasan minyak bumi antara 250-340°C yang mempunyai panjang hidrokarbon antara C16-C20. Solar banyak digunakan sebagai

bahan bakar kendaraan yang menggunakan mesin diesel. Pada umumnya solar akan banyak mengandung belerang karena dibandingkan dengan bensin solar memiliki titik didih yang lebih tinggi. Kualitas dari solar ditentukan dengan bilangan setana, yaitu tingkat kemudahan minyak solar untuk menyala atau terbakar di dalam mesin diesel. (Nasrun et al., 2017).

Solar dikenal sebagai bahan bakar diesel yang dianggap cairan mudah terbakar serta digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel, solar ini biasanya diperoleh dari fraksi minyak bumi mentah yang tidak mudah menguap dibandingkan fraksi yang digunakan dalam bensin. Dalam mesin diesel, bahan bakar disulut bukan oleh percikan api, seperti pada mesin bensin, tetapi oleh panas udara yang dikompresi di dalam silinder, dengan bahan bakar yang disemprotkan ke dalam udara bertekanan panas.

Bahan bakar diesel melepaskan lebih banyak energi saat pembakaran dibandingkan dengan volume bensin yang sama, sehingga mesin diesel umumnya menghasilkan penghematan bahan bakar yang lebih baik daripada mesin bensin. Solar adalah jenis bahan bakar yang dihasilkan dari proses pengolahan dari pemanfaatan fraksi minyak bumi yang dilakukan dengan cara memisahkan minyak mentah dari fraksi-fraksinya pada proses rangkaian alat destilasi. (Nasrun et al., 2017)

2.10. Laju Korosi

Laju korosi adalah banyaknya material yang hilang (teroksidasi) tiap satuan waktu. Laju korosi dapat dihitung dengan metode kehilangan berat atau weight gain loss (WGL), pengujian ini sesuai dengan standar ASTM G 31-72. Laju korosi dinyatakan dalam mpy (milli inch per year). Dengan menghitung massa logam yang telah dibersihkan dari oksida dan massa tersebut dinyatakan sebagai massa awal lalu dilakukan selama waktu tertentu. Setelah itu dilakukan penghitungan massa kembali dari suatu logam setelah dibersihkan logam tersebut dari hasil korosi yang terbentuk dan massa tersebut dinyatakan sebagai massa akhir. Dengan mengambil beberapa data seperti luas permukaan, waktu dan massa jenis logam yang diuji maka dihasilkan suatu laju korosi. parameter yang digunakan untuk mengukur tingkatan rata-rata laju korosi dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$CR(mpy) = \frac{K.W}{D.A.T} \quad (2.1)$$

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1. Tempat Dan Waktu

3.1.1 Tempat

Tempat penelitian tugas akhir dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Kekuatan Material Laboratorium Prodi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Jl. Mukhtar Basri No. 03 Medan, Sumatera Utara.

3.1.2 Waktu

Waktu Pelaksanaan ini dilakukan mulai dari tanggal 11 Januari 2025

Tabel 3. 1 Jadwal dan kegiatan saat melakukan penelitian

No	Kegiatan	Waktu (Bulan)					
		1	2	3	4	5	6
1	Studi Literatur	■	■	■			
2	Persiapan material uji		■	■	■	■	
3	Proses perendaman material uji			■	■	■	■
4	Pengujian dan Pengambilan Data				■	■	■
5	Analisa Data					■	■
6	Hasil dan Pembahasan						■
7	Penulisan Laporan						■
8	Sidang Sarjana						■

3.2. Alat Dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir Pengaruh campuran minyak pirolisis plastik biodiesel dan solar terhadap laju korosi tembaga sebagai berikut:

1. Timbangan Analitik

Timbangan analitik digunakan untuk mengukur massa bahan bakar dan massa tembaga secara akurat dengan ketelitian 0,001 gram yang merujuk pada standar ASTM G 50. Timbangan analitik dapat dilihat pada gambar 3.1 dibawah ini



Gambar 3. 1 Timbangan Analitik

2. Jangka Sorong

Jangka Sorong digunakan untuk mengukur ketebalan dan diameter spesimen tembaga. Jangka sorong dapat dilihat pada gambar 3.2 dibawah ini.



Gambar 3. 2 Jangka Sorong

3. Tupperware

Tupperware digunakan sebagai wadah untuk menampung campuran bahan bakar yang akan digunakan dalam pengujian korosi. Tupperware dapat dilihat pada gambar 3.3 dibawah ini



Gambar 3. 3 Tupperware

4. Gelas Ukur

Gelas ukur digunakan untuk mengukur volume masing-masing bahan bakar yang akan dicampurkan sebelum digunakan dalam eksperimen. Gelas ukur dapat dilihat pada gambar 3.4 dibawah ini.



Gambar 3. 4 Gelas Ukur

3.2.2 Bahan

1. Tembaga

Tembaga digunakan sebagai spesimen atau bahan uji untuk pengujian korosi



Gambar 3. 5 Tembaga

2. Bahan bakar campuran

Bahan bakar yang digunakan dalam pengujian ini ialah minyak pirolisis, biodiesel dan solar yang berfungsi untuk menguji pengaruh komposisi bahan bakar terhadap laju korosi tembaga.

a) Solar

Tabel 3. 2 Karakteristik Solar

Densitas	Sekitar 0,82–0,95 g/cm ³ .
Viskositas	Lebih tinggi dibanding bensin, sehingga membantu melumasi komponen mesin diesel
Nilai Cetane	40–55 (semakin tinggi, semakin baik kualitas pembakaran)
Kandungan Sulfur	Menentukan kualitas emisi; solar modern cenderung low sulfur agar lebih ramah lingkungan
Kalor Bakar	Sekitar 42–46 MJ/kg, cukup tinggi untuk menghasilkan energi besar pada mesin diesel



Gambar 3. 6 Solar

b) Biodiesel

Tabel 3. 3 Karakteristik Biodiesel

Densitas	Sedikit lebih tinggi dari solar, sekitar 0,86–0,90 g/cm ³
Viskositas	Lebih kental dibanding solar, dapat memengaruhi proses injeksi bahan bakar
Nilai Cetane	Umumnya tinggi (>50), sehingga pembakaran lebih halus
Kandungan Sulfur	Hampir nol, sangat ramah lingkungan
Kalor Bakar	Lebih rendah dibanding solar (sekitar 37–40 MJ/kg), sehingga tenaga mesin sedikit berkurang.
Oksige Alami	Mengandung 10–12% oksigen, membuat pembakaran lebih sempurna dan menurunkan asap hitam.
Biodegradable & Renewable	Mudah terurai di alam dan dapat diperbarui.
Stabilitas Oksidasi	Relatif lebih rendah daripada solar, sehingga penyimpanan lama bisa menimbulkan endapan/gum.



Gambar 3. 7 Biodiesel

c) Minyak Pirolisis Plastik LDPE

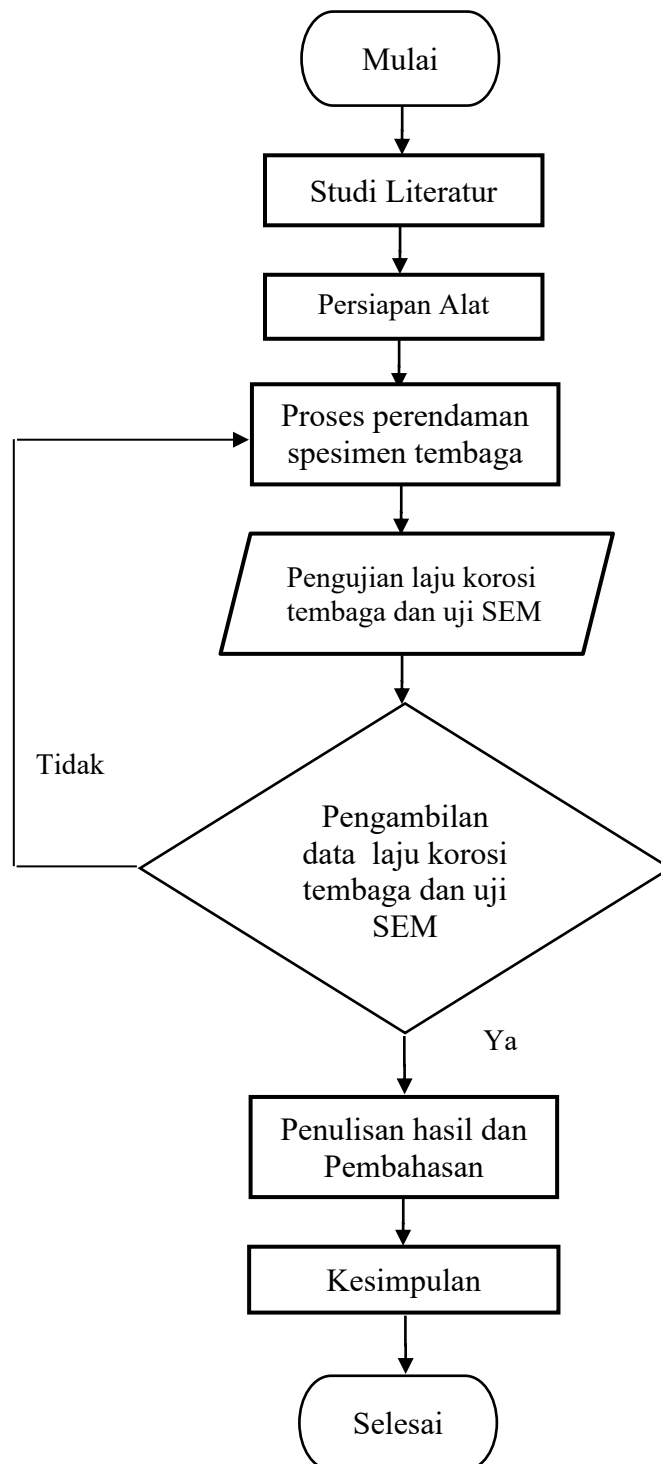
Tabel 3. 4 Karakteristik Pirolisis Plastik LDPE

Bahan Baku	Sekitar 0,82–0,95 g/cm ³ .
Produk Utama	• Cairan (pirolisis oil) → mirip fraksi bensin/solar, bisa digunakan sebagai bahan bakar setelah pemurnian. • Gas (syngas) → mengandung metana, etana, butana; dapat dipakai untuk energi proses. • Padatan (char) → residu karbon, jumlahnya kecil.
Suhu Reaksi	400–500 °C → dominan menghasilkan fraksi cair, 600 °C → lebih banyak menghasilkan gas
Katalis	Zeolit, alumina, atau katalis logam sering ditambahkan untuk meningkatkan hasil bahan bakar cair dan memperbaiki kualitas (misalnya mengurangi kadar lilin/wax).

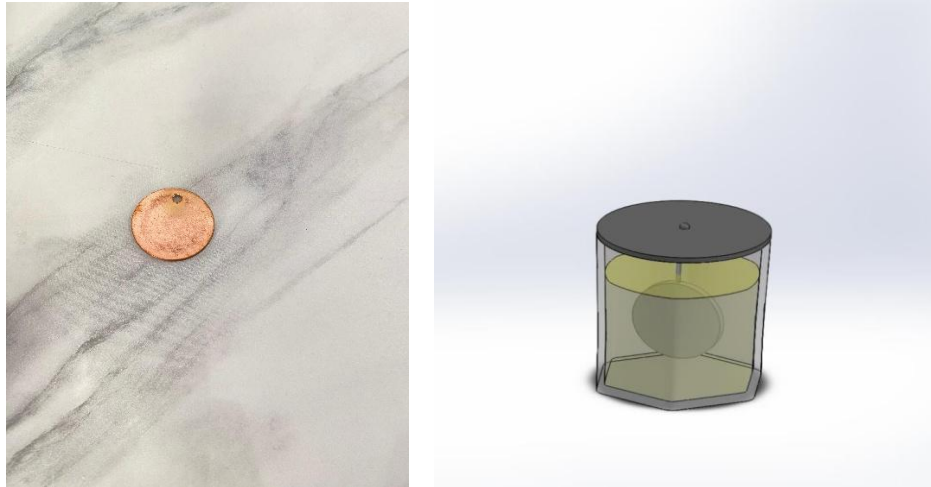


Gambar 3. 8 Minyak Pirolisis Plastik LDPE

3.3. Diagram Alir



3.4. Rancangan Alat Penelitian



Gambar 3. 9 Rancangan Alat Penelitian

3.5. Prosedur Penelitian

Adapun prosedur yang dilakukan dalam penelitian ini ialah:

1. Mempersiapkan alat dan bahan
2. Spesimen tembaga akan dipotong berbentuk lingkaran dengan ukuran diameter 24,76 mm dengan tebal 2,23 mm
3. Setelah spesimen sudah terbentuk selanjutnya dirapikan permukaan tembaga dengan diampelas sampai halus
4. Sebelum spesimen direndam dalam campuran minyak pirolisis plastik, biodiesel dan solar perlu dan perlu dilakukan proses penimbangan berat awal spesimen dengan timbangan analitik. Tujuannya untuk mengetahui perbedaan sebelum dan sesudah dilakukan perendaman
5. Kemudian dilakukan proses perendaman spesimen tembaga dengan mempersiapkan bak/wadah yang berisi campuran minyak pirolisis plastik, biodiesel dan solar dengan mempersiapkan campuran bahan bakar dengan komposisi yang berbeda yaitu:

- a) Bahan bakar Solar 100%
 - b) Solar 90%, mpp+biodiesel 10%
 - c) Solar 80%, mpp+biodiesel 20%
 - d) Solar 70%, mpp+biodiesel 30%
 - e) Solar 60%, mpp+biodiesel 40%
6. Memasukkan spesimen tembaga ke dalam wadah yang berisi variasi campuran bahan bakar dan memastikan tembaga terendam sepenuhnya dalam campuran
 7. Selanjutnya mengukur waktu perendaman dengan *stopwatch* pada saat pengujian berlangsung.
 8. Keluarkan spesimen dari bak/wadah
 9. Spesimen ditimbang dengan menggunakan timbangan analitik untuk mengetahui berat akhir setelah proses perendaman dan selanjutnya dilakukan perhitungan laju korosi dengan metode *weight loss*
 10. Setelah dilakukan perhitungan laju korosi, diambil dari beberapa spesimen Tembaga. Untuk dilakukan uji bahan menggunakan SEM- EDX, untuk melihat spesimen yang terkorosi sehingga dapat mengetahui bentuk korosi pada spesimen tersebut. Daerah untuk uji bahan yaitu pada permukaan dari spesimen.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

Sesudah perendaman spesimen tembaga ke dalam berbagai bahan bakar uji, berat diukur menggunakan neraca digital dengan akurasi empat desimal. Berat awal (m1) setiap sampel logam kemudian diukur. Semua spesimen logam ditempatkan dalam enam aqua cup, masing-masing aqua cup berisi campuran minyak pirolisis, biodiesel dan solar dengan proporsi B0, B10, B20, B30, dan B40 pada suhu ruang selama 9 minggu (2000 jam).

4.1.1 Pengaruh Campuran Minyak Pirolisis, Biodiesel dan Solar Terhadap Laju Korosi

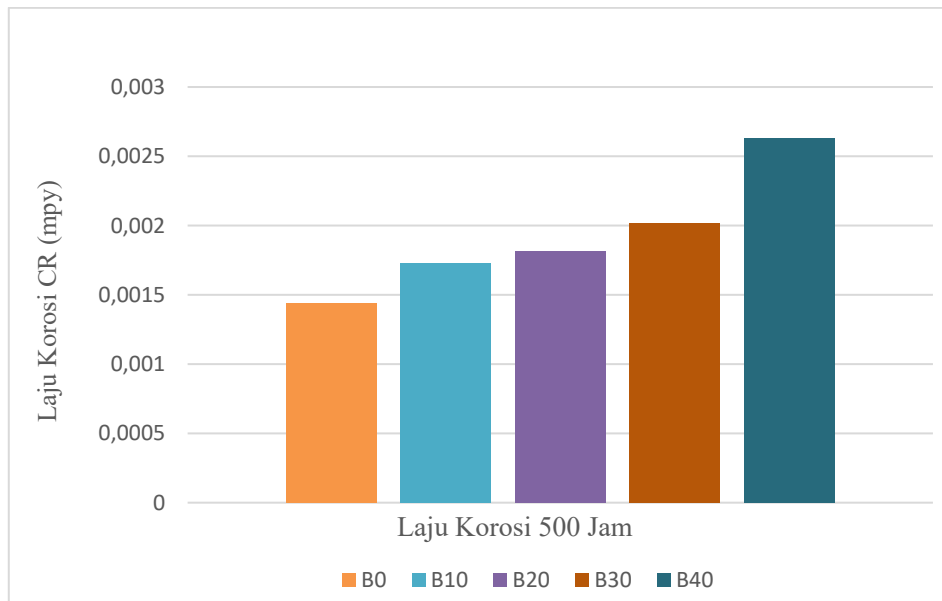
Sebanyak 20 spesimen tembaga disiapkan untuk melakukan eksperimen uji imersi. Setiap set yang terdiri dari 6 paduan tembaga yang sama direndam dalam 6 konsentrasi bahan bakar yang berbeda (B0, B10, B20, B30, dan B40). Ke 20 spesimen tembaga tersebut direndam seluruhnya dalam 20 aqua cup yang ditutup rapat dengan plastik wrap

Tabel 4. 1 Laju korosi tembaga pada 500 jam, 1000 jam, 1500 jam, 2000 jam

Nama Sampel	Laju Korosi (mm/tahun)			
	500 Jam	1000 Jam	1500 Jam	2000 Jam
B0	0,001439391	0,005937952	0,000191702	0,000235775
B10	0,00172531	0,006038603	0,00044289	0,000271728
B20	0,001816824	0,006137649	0,000897818	0,000315195
B30	0,002014739	0,006178841	0,000585875	0,000344626
B40	0,002630013	0,00624628	0,000854192	0,000349171

4.1.2 Perbandingan Laju Korosi Tembaga Pada Penggunaan Pencampuran Minyak Pirolisis Plastik Dengan Bahan Bakar Biodiesel dan Solar

Pada penelitian ini, berat yang hilang selama proses perendaman digunakan untuk menghitung laju korosi. Laju korosi tembaga seluruh campuran bahan bakar (B0, B100, B10, B20, B30, dan B40).

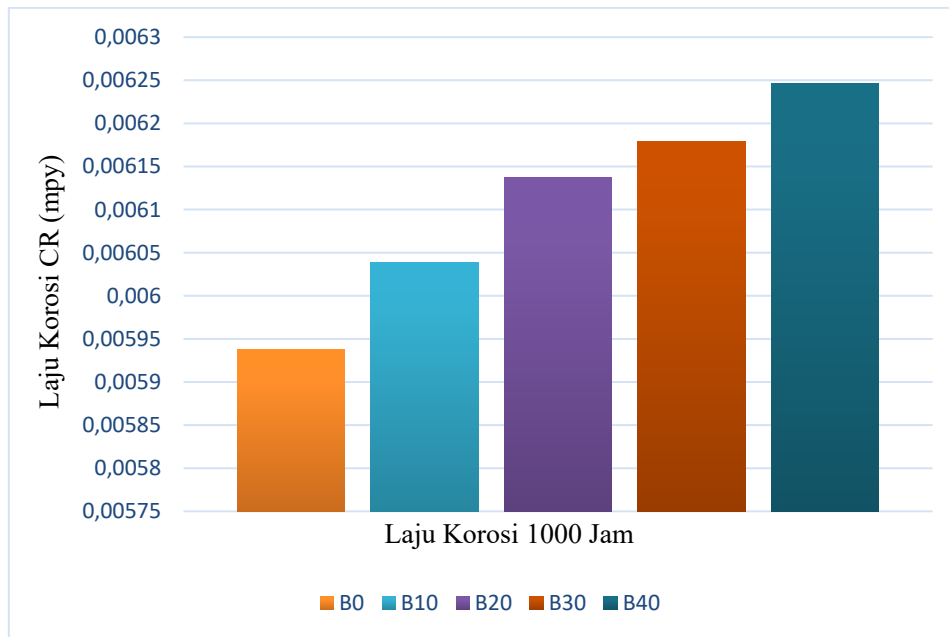


Gambar 4. 1 Grafik Laju Korosi 500 jam

Pengaruh campuran bahan bakar terhadap laju korosi pada waktu perendaman 500 jam, Pada tahap awal perendaman ini, laju korosi meningkat seiring bertambahnya kandungan minyak pirolisis. B0 memiliki laju korosi terendah 0,001439391 mm/tahun, sedangkan laju korosi tertinggi pada 500 jam didapatkan pada B40 0,002630013 mm/tahun.

Peningkatan ini menunjukkan bahwa minyak pirolisis plastik dan biodiesel mengandung senyawa polar, asam lemak bebas, dan mungkin air (*hygroscopic*) yang dapat meningkatkan reaktivitas kimia pada tembaga. B40 menunjukkan korosi tertinggi karena kandungan campuran alternatif tertinggi (40%). Hal ini dapat dijelaskan melalui mekanisme elektrokimia di mana semakin lama tembaga terpapar, semakin banyak ion korosif (senyawa oksidatif) yang bereaksi dengan permukaan tembaga, sehingga mempercepat proses pelarutan logam.

Selain itu, perbedaan nilai laju korosi antar sampel dapat dikaitkan dengan variasi komposisi bahan bakar atau kondisi pengujian yang mempengaruhi sifat korosif media. Hasil ini konsisten dengan literatur yang menyebutkan bahwa laju korosi logam akan meningkat secara progresif seiring waktu apabila tidak terdapat lapisan pelindung yang mampu menghentikan atau memperlambat reaksi korosi (Lin et al., 2010).

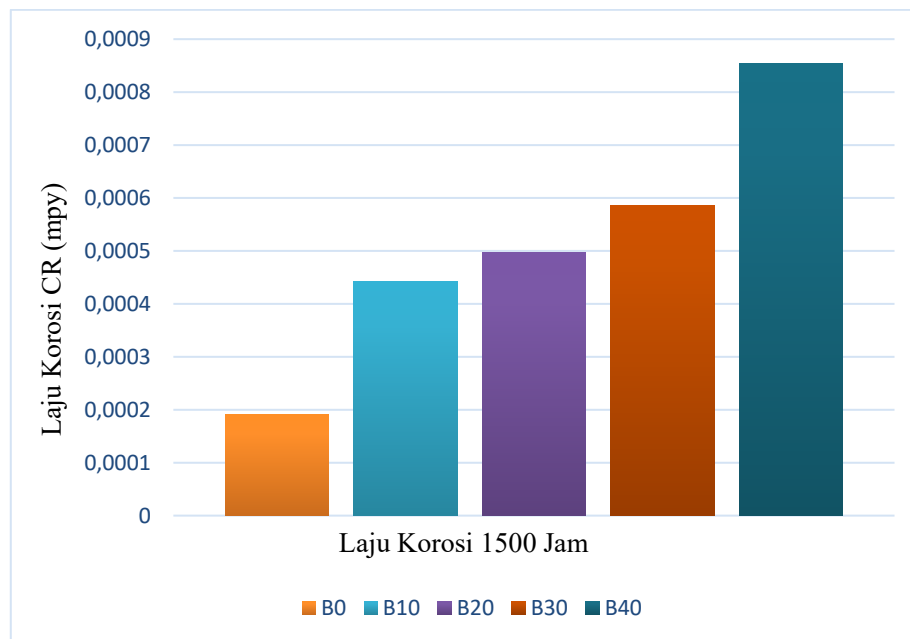


Gambar 4. 2 Grafik Laju Korosi 1000 jam

Grafik pada Gambar 4.2 menunjukkan laju korosi (mm/tahun) pada spesimen setelah perendaman selama 1000 jam pada proporsi campuran bahan bakar (B0, B10, B20, B30, dan B40). Dari grafik terlihat bahwa semakin tinggi persentase campuran biodiesel, laju korosi cenderung meningkat. Pada perendaman 1000 jam ini, semua sampel mengalami peningkatan laju korosi yang signifikan, hal ini menunjukkan bahwa reaksi oksidasi meningkat, terutama karena durasi kontak yang lebih lama antara bahan bakar dan permukaan tembaga.

Pada kondisi B0 (100% solar murni), laju korosi terendah tercatat sebesar 0,005937952 mm/tahun. Ketika ditambahkan biodiesel 10% (B10), laju korosi mengalami sedikit peningkatan menjadi 0,006038603 mm/tahun sehingga nilai laju korosi pada B40, mencatat laju korosi tertinggi 0,006246 mm/tahun.

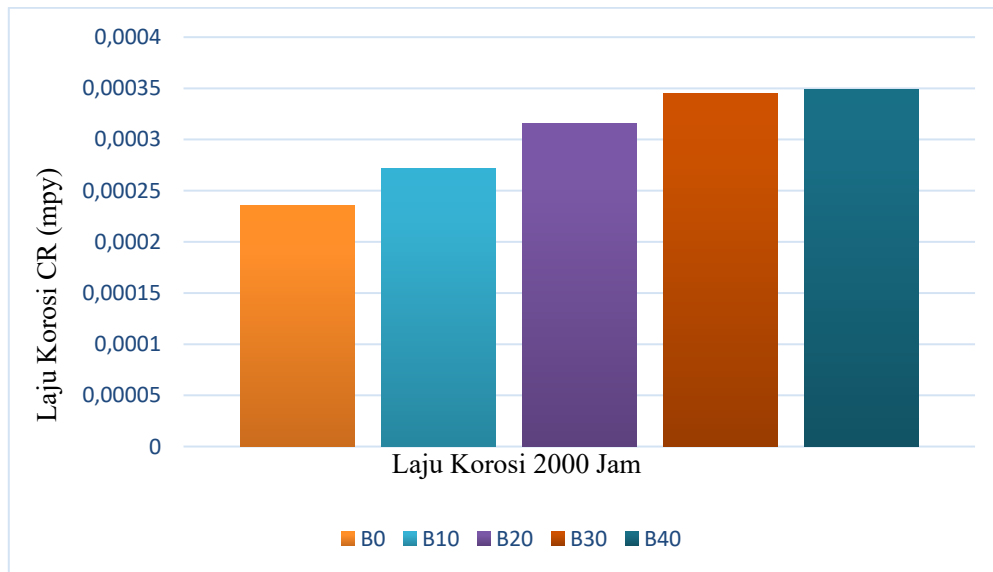
Hasil ini menunjukkan bahwa keberadaan biodiesel dalam campuran bahan bakar mempengaruhi peningkatan laju korosi pada material uji. Hal ini disebabkan oleh sifat biodiesel yang lebih higroskopis dibandingkan solar murni, sehingga lebih mudah menyerap air dari lingkungan. Kehadiran air mempercepat terjadinya reaksi oksidasi pada permukaan tembaga, sehingga meningkatkan laju korosi. Selain itu, biodiesel juga mengandung senyawa oksigen (*oxygenated compounds*) yang dapat mempercepat proses korosi.



Gambar 4. 3 Grafik Laju Korosi 1500 jam

Setelah perendaman 1500 jam, Terjadi penurunan laju korosi secara signifikan untuk seluruh sampel yang diperlihatkan pada grafik gambar 4. 3 diatas Pada kondisi B0 (100% solar murni), laju korosi terendah tercatat sebesar 0,000191702 mm/tahun. Ketika ditambahkan biodiesel dan pirolisis sebesar 10% (B10), laju korosi sedikit meningkat menjadi 0,00044289 mm/tahun. Pada B20, laju korosi bertambah hingga 0,000497818 mm/tahun, sementara pada B30 nilainya naik lebih signifikan yaitu sekitar 0,000585875 mm/tahun. Nilai tertinggi diperoleh pada campuran B40, dengan laju korosi mencapai 0,000854192 mm/tahun

Sementara itu, adanya campuran minyak pirolisis diduga juga berperan dalam proses korosi. Senyawa hasil pirolisis plastik, seperti hidrokarbon rantai panjang dan kemungkinan adanya senyawa asam organik, dapat menyebabkan degradasi tambahan pada permukaan aluminium. Kombinasi sifat higroskopis biodiesel dengan kandungan senyawa dari minyak pirolisis plastik berpotensi mempercepat mekanisme korosi.

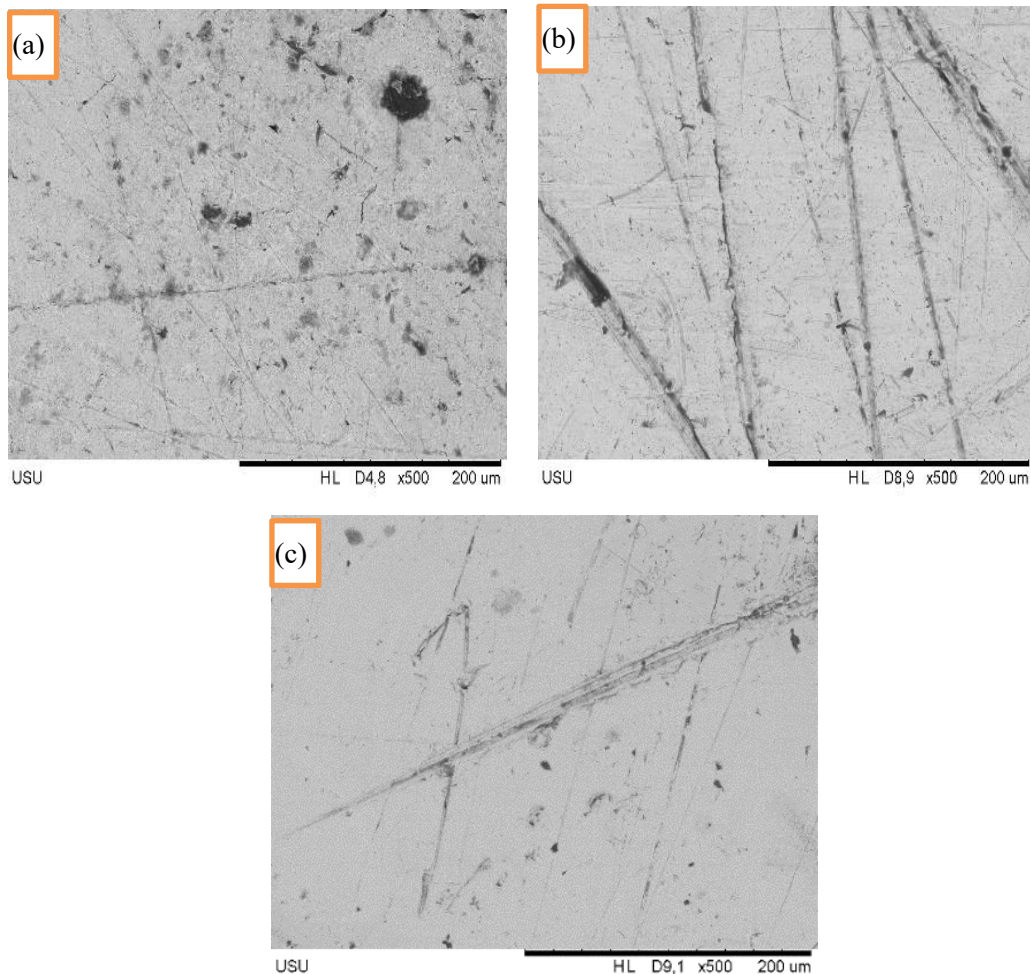


Gambar 4. 4 Grafik Laju Korosi 2000 jam

Pada perendaman 2000 jam, menunjukkan kecenderungan nilai laju korosi yang mulai stabil. Kenaikan dari 1500 ke 2000 jam sangat kecil, menunjukkan proses korosi mulai melambat, disebabkan oleh terbentuknya lapisan pasif atau produk korosi yang menutupi permukaan tembaga dan menghambat reaksi lebih lanjut. Perbedaan laju korosi antara B0 0,000235 mm/tahun dan B40 0,000349 mm/tahun. Meskipun laju korosi B40 masih tertinggi, terjadi penurunan yang signifikan. Hal ini karena terbentuknya lapisan pasif (produk korosi) pada permukaan tembaga yang melindungi dari korosi lebih lanjut. Lapisan ini bertindak sebagai penghalang fisik yang mengurangi kontak langsung logam dengan media korosif.

4.1.3 Analisa SEM

SEM digunakan untuk menganalisis morfologi permukaan tembaga yang direndam dalam bahan bakar: B0, B10, B20, B30, B40 masing-masing selama 500 jam, 1000 jam, 1500 jam dan 2000 jam seperti ditunjukkan pada Gambar 4.5. Pengamatan ini dilakukan untuk mengevaluasi dampak dari campuran bahan bakar minyak pirolisis, biodiesel dan solar terhadap korosi selama perendaman statis. Terlihat jelas adanya perubahan morfologi permukaan logam akibat korosi. Waktu perendaman menunjukkan degradasi material lebih besar tembaga akibat perendaman pada bahan bakar yang dicampur dengan minyak pirolisis dan biodiesel.



Pada Gambar 4. 5 Uji SEM Morfologi Permukaan Tembaga 500 Jam perbesaran 1000×, luas area pada permukaan logam yang terkena korosi baja ringan menjadi lebih luas dengan bertambahnya durasi waktu. SEM juga menunjukkan tingkat korosi dan degradasi material permukaan. Lubang-lubang berbentuk bulat yang terlihat di permukaan merupakan indikasi serangan korosi (S Dharma et al., 2023). Korosi pitting pada permukaan logam juga dapat disebabkan oleh beberapa jenis asam monokarboksilat, seperti asam format, asam asetat, asam propionat, asam kaproat (S Dharma et al., 2023; Saluja, Kumar, & Sham, 2016).

Gambar (a) menunjukkan morfologi permukaan specimen aluminium yang direndam dalam bahan bakar solar selama 500 jam (B0) menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dengan perbesaran 1000x dan skala 100 μm. Permukaan spesimen tembaga terlihat relatif halus dengan alur sejajar yang terbentuk akibat proses preparasi sampel (polishing). Selain itu, terdapat bintik-bintik hitam kecil yang terdistribusi merata pada permukaan, yang diduga merupakan presipitat fasa kedua atau produk oksidasi awal.

Secara umum, morfologi permukaan tidak memperlihatkan adanya kerusakan signifikan seperti pitting corrosion, retakan, maupun pengelupasan lapisan. Hal ini menunjukkan bahwa laju korosi pada kondisi ini masih sangat rendah, sejalan dengan hasil perhitungan laju korosi yang bernilai kecil. Penelitian serupa dilakukan oleh Almeida et al. (2018) pada perendaman tembaga di B0, pola alur pengamplasan masih jelas dan tidak terjadi degradasi signifikan, sementara pada biodiesel, terjadi retakan mikro dan pitting. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa spesimen pada kondisi ini masih relatif terlindungi dan belum mengalami degradasi serius akibat lingkungan perendaman.

Hasil ini konsisten dengan data laju korosi pada bahan bakar solar murni (B0), Kondisi permukaan yang halus tanpa adanya kerusakan besar menguatkan bahwa penggunaan solar murni menghasilkan tingkat serangan korosi yang paling kecil dibandingkan campuran biodiesel (B0 dan B40)

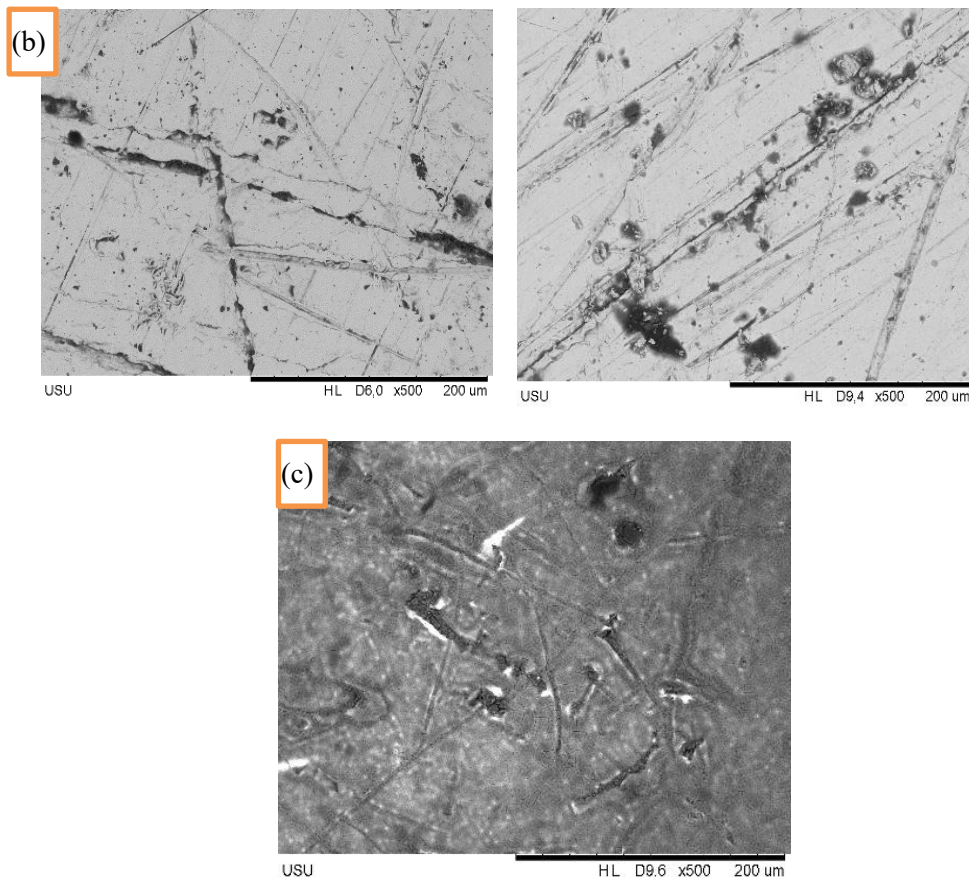
Gambar (b) memperlihatkan morfologi permukaan spesimen setelah perendaman dalam bahan bakar campuran biodiesel dan minyak pirolisis 10% (B10). Pada gambar terlihat bahwa permukaan mulai menunjukkan adanya bintik-bintik hitam dan goresan yang lebih banyak dibandingkan dengan spesimen B0. Bintik hitam dan goresan ini diduga merupakan presipitat produk korosi yang mulai terbentuk akibat reaksi antara biodiesel dan pirolisis dengan permukaan logam.

Selain itu, meskipun alur akibat proses polishing masih jelas terlihat, permukaan tampak lebih kasar dan terdapat indikasi serangan korosi ringan yang mulai menyebar secara merata. Hal ini menandakan bahwa kehadiran biodiesel (B10) meningkatkan kecenderungan terjadinya oksidasi, meskipun masih dalam tahap awal dan belum menunjukkan kerusakan parah seperti retakan atau lubang korosi (pitting). Kondisi ini sejalan dengan data laju korosi yang meningkat menjadi 0,00172531 mm/tahun pada B10, lebih tinggi dibandingkan dengan B0 0,001439391 mm/tahun. Dengan demikian, hasil SEM ini mengonfirmasi bahwa penambahan biodiesel dan pirolisis 10% mempercepat terbentuknya produk korosi pada permukaan logam, walaupun tingkat kerusakannya masih relatif rendah.

Pada gambar (c) menunjukkan hasil pengamatan permukaan aluminium menggunakan SEM setelah mengalami perendaman dalam campuran solar,

biodiesel, dan pirolisis LDPE (B40). Dari hasil yang ditampilkan, terlihat adanya goresan-goresan halus (*scratches*) dan alur yang cukup jelas pada permukaan logam. Hal ini menunjukkan bahwa telah terjadi proses degradasi permukaan akibat reaksi korosi selama perendaman.

Kehadiran oksigen dalam molekul biodiesel serta sifat higroskopisnya mempercepat terjadinya oksidasi, sementara senyawa organik dari pirolisis plastik berpotensi meningkatkan agresivitas media perendaman. Permukaan yang tidak rata dengan adanya retakan kecil (*microcracks*) dan lubang-lubang halus (*pits*) juga mulai terlihat. Fenomena ini merupakan indikasi awal dari korosi pitting, yaitu jenis korosi lokal yang sering terjadi pada aluminium saat terpapar lingkungan yang mengandung ion reaktif atau senyawa organik kompleks. Pitting ini dapat menjadi titik awal kerusakan yang lebih parah apabila perendaman dilakukan dalam waktu lebih lama



Gambar 4. 6 Uji SEM Morfologi Permukaan tembaga 2000 Jam

Selanjutnya perendaman selama 2000 jam pada gambar (a) menunjukkan hasil SEM permukaan logam aluminium setelah perendaman dalam campuran

solar, biodiesel, dan minyak pirolisis dengan perbesaran 500x. Dari hasil pengamatan, permukaan aluminium masih menampilkan struktur yang relatif halus dibandingkan dengan sampel pada campuran dengan kandungan biodiesel/pirolisis yang lebih tinggi. Namun, terlihat juga adanya goresan-goresan halus (*scratches*) yang menunjukkan terjadinya perubahan morfologi akibat reaksi korosi.

Kehadiran biodiesel yang bersifat higroskopis dan senyawa hasil minyak pirolisis dapat meningkatkan kelembaban serta mempercepat terbentuknya lapisan oksida pada permukaan. jika diperhatikan lebih detail, tidak terlihat adanya retakan besar atau lubang korosi dalam (*pits*) yang signifikan. Hal ini menandakan bahwa pada kondisi perendaman ini proses korosi masih berada pada tahap awal, sehingga kerusakan permukaan belum terlalu parah. Namun, pola distribusi titik korosi yang menyebar memberikan indikasi bahwa pada perendaman lebih lama, korosi pitting berpotensi muncul dengan lebih jelas.

Dari gambar (b) di atas terlihat adanya daerah gelap yang luas dan tidak merata pada permukaan, yang mengindikasikan terjadinya serangan korosi lokal. Area hitam pekat ini kemungkinan merupakan hasil dari korosi pitting atau akumulasi produk korosi yang tidak homogen. fenomena ini terjadi akibat peningkatan kadar biodiesel yang bersifat higroskopis serta adanya komponen minyak pirolisis yang dapat mempercepat proses degradasi permukaan.

Selain itu, masih terlihat goresan-goresan permukaan akibat proses preparasi sampel, namun pada area tertentu goresan tersebut tertutupi oleh lapisan korosi. distribusi titik putih kecil tetap ada, yang menandakan terbentuknya senyawa oksida atau deposit pada permukaan. namun, perbedaan yang mencolok dibandingkan sampel sebelumnya adalah adanya intensitas kerusakan yang lebih besar dan lebih menyebar.

Permukaan tembaga pada gambar (c) memperlihatkan alur-alur dalam dan retakan yang jelas, menunjukkan adanya serangan korosi yang bersifat intergranular maupun korosi celah. pada bagian tertentu, terlihat endapan hitam pekat yang kemungkinan merupakan produk korosi yang terakumulasi di sepanjang alur. hal ini mengindikasikan bahwa proses perendaman dalam campuran bahan bakar dengan kandungan biodiesel dan minyak pirolisis yang lebih tinggi telah mempercepat kerusakan permukaan.

Selain itu, terdapat indikasi bahwa korosi terjadi secara tidak merata, dengan beberapa area mengalami serangan lebih dalam dan terkonsentrasi dibandingkan bagian lain. pola kerusakan ini umumnya muncul akibat efek higroskopis biodiesel yang meningkatkan kandungan air serta sifat kimia minyak pirolisis yang dapat mempercepat reaksi elektrokimia pada permukaan logam.

4.2. Hasil Pembahasan

4.2.1 Pembahasan Pengaruh Campuran Minyak Pirolisis, Biodiesel dan Solar Terhadap Laju Korosi

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, pengaruh campuran bahan bakar terhadap laju korosi pada waktu perendaman 500 jam, B0 memiliki laju korosi terendah 0,001439391 mm/tahun , sedangkan laju korosi tertinggi pada 500 jam didapatkan pada B40 0,002630013 mm/tahun. Pada waktu perendaman 100 jam, Pada kondisi B0 (100% solar murni), laju korosi terendah tercatat sebesar 0,005937952 mm/tahun. Setelah perendaman 1500 jam, Ketika ditambahkan biodiesel 10% (B10), laju korosi mengalami sedikit peningkatan menjadi 0,006038603 mm/tahun sehingga nilai laju korosi pada B40, mencatat laju korosi tertinggi 0,006246 mm/tahun. Pada perendaman 2000 jam, menunjukkan kecenderungan nilai laju korosi yang mulai stabil, kenaikan dari 1500 ke 2000 jam sangat kecil, menunjukkan proses korosi mulai melambat, disebabkan oleh terbentuknya lapisan pasif atau produk korosi yang menutupi permukaan tembaga dan menghambat reaksi lebih lanjut. Perbedaan laju korosi antara B0 0,000235 mm/tahun dan B40 0,000349 mm/tahun.

4.2.2 Pembahasan Perbandingan Laju Korosi Tembaga Pada Penggunaan Pencampuran Minyak Pirolisis Plastik Dengan Bahan Bakar Biodiesel dan Solar

Pola yang terlihat dari data ini menunjukkan bahwa peningkatan persentase biodiesel dan minyak pirolisis dalam campuran bahan bakar cenderung meningkatkan laju korosi tembaga. Hal ini disebabkan oleh sifat biodiesel yang memiliki kandungan oksigen lebih tinggi dibandingkan solar murni dan senyawa hasil pirolisis plastik, seperti hidrokarbon dan kemungkinan adanya senyawa asam organik, dapat menyebabkan degradasi tambahan pada permukaan aluminium,

sehingga berpotensi mempercepat reaksi oksidasi pada permukaan logam. Selain itu, biodiesel cenderung mengandung air lebih banyak, yang dapat memicu reaksi elektrokimia dan mempercepat proses korosi.

Hasil ini sejalan dengan temuan Lin et al. (2010) yang menyatakan bahwa laju korosi logam dalam biodiesel meningkat seiring bertambahnya waktu paparan, disebabkan oleh degradasi lapisan pelindung alami pada permukaan logam dan adanya senyawa korosif seperti asam lemak bebas.

4.2.3 Pembahasan SEM

Dari hasil pengamatan ini dapat disimpulkan bahwa perendaman tembaga dalam campuran solar, biodiesel, dan minyak pirolisis memberikan pengaruh nyata terhadap morfologi permukaan. terjadi peningkatan kekasaran permukaan, pembentukan produk korosi, serta munculnya indikasi pitting. Hal ini sejalan dengan hasil uji laju korosi sebelumnya, di mana peningkatan kandungan biodiesel dan minyak pirolisis menyebabkan kenaikan laju korosi tembaga, jika dibandingkan dengan sampel sebelumnya (misalnya pada B0 atau B10), hasil SEM ini menunjukkan tingkat kerusakan yang jauh lebih parah. Hal ini sejalan dengan penelitian Kumar et al. (2011) melaporkan bahwa laju korosi tembaga dalam diesel murni jauh lebih rendah dibandingkan biodiesel, karena biodiesel memiliki kandungan oksigen dan sifat higroskopis yang mempercepat korosi. Pada penelitian Al-Salem, S. M., et al. (2017) juga menjelaskan bahwa campuran diesel + minyak pirolisis meningkatkan keasaman media sehingga mempercepat laju korosi tembaga. Ini sejalan dengan hasil pengujian laju korosi yang menunjukkan kenaikan nilai korosi seiring meningkatnya proporsi biodiesel dan minyak pirolisis dalam campuran bahan bakar. Dengan demikian, hasil SEM ini memperkuat bukti bahwa kandungan aditif tersebut secara signifikan memperburuk ketahanan korosi tembaga

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan dalam penelitian ini adalah:

1. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, pengaruh campuran bahan bakar terhadap laju korosi pada waktu perendaman 500 jam, B0 memiliki laju korosi terendah 0,001439391 mm/tahun, sedangkan laju korosi tertinggi pada 500 jam didapatkan pada B40 0,002630013 mm/tahun. Pada waktu perendaman 100 jam, Pada kondisi B0 (100% solar murni), laju korosi terendah tercatat sebesar 0,005937952 mm/tahun. Setelah perendaman 1500 jam, Ketika ditambahkan biodiesel 10% (B10), laju korosi mengalami sedikit peningkatan menjadi 0,006038603 mm/tahun sehingga nilai laju korosi pada B40, mencatat laju korosi tertinggi 0,006246 mm/tahun. Pada perendaman 2000 jam, menunjukkan kecenderungan nilai laju korosi yang mulai stabil, kenaikan dari 1500 ke 2000 jam sangat kecil, menunjukkan proses korosi mulai melambat, disebabkan oleh terbentuknya lapisan pasif atau produk korosi yang menutupi permukaan tembaga dan menghambat reaksi lebih lanjut. Perbedaan laju korosi antara B0 0,000235 mm/tahun dan B40 0,000349 mm/tahun.
2. Dari hasil pengamatan uji SEM pada tembaga, dapat disimpulkan bahwa perendaman tembaga dalam campuran solar, biodiesel, dan minyak pirolisis memberikan pengaruh nyata terhadap morfologi permukaan. terjadi peningkatan kekasaran permukaan, pembentukan produk korosi, serta munculnya indikasi pitting. hal ini sejalan dengan hasil uji laju korosi sebelumnya, di mana peningkatan kandungan biodiesel dan minyak pirolisis menyebabkan kenaikan laju korosi tembaga

5.2. Saran

Bedasarkan hasil penelitian ini, maka penulis memberikan saran sebagai berikut

1. Perlu penerapan inhibitor korosi, pelapisan (coating) atau anodisasi pada tembaga yang digunakan dalam campuran bahan bakar
2. Perlu penelitian lebih lanjut mengenai stabilitas oksidasi biodiesel dan minyak pirolisis plastik, termasuk cara menekan kandungan air dan asam lemak bebas

yang mempercepat korosi.

DAFTAR PUSTAKA

- Affandi, A., Huzni, S., Siregar, A. M., Siregar, C. A., Nasution, A. R., Tanjung, I., & Fonna, S. (2020). Analisa Korosi Atmosferik Baja Karbon Rendah Di Kecamatan Medan Belawan. *Multitek Indonesia*, 14(2), 80–88. <https://doi.org/10.24269/mtkind.v14i2.2841>
- Babaki, M., Yousefi, M., Habibi, Z., & Mohammadi, M. (2017). *Process optimization for biodiesel production from waste cooking oil using multienzyme systems through response surface methodology*. *Renewable Energy*, 105, 465–472.
- Cahyadi, A. B. (2017). Pengaruh lingkungan pantai terhadap laju korosi dan sifat mekanik pada baja karbon sedang dengan perlakuan quenching. *Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma*.
- Canakci, M. and Gerpen, V.J. (1999) Biodiesel Production via Acid Catalysis. *Transactions of the ASAE*, 42, 1203-1210.
- Chen, C., Chitose, A., Kusadokoro, M., Nie, H., & Xu, W. (2021). *Sustainability and challenges in biodiesel production from waste cooking oil : An advanced bibliometric analysis*. *Energy Reports*, 7, 4022–4034.
- Foteinis, S., Chatzisyneon, E., Litinas, A., & Tsoutsos, T. (2020). Used-cookingoil biodiesel: Life cycle assessment and comparison with first- and thirdgeneration b
- Hasyim, M. U. H. B., Sains, F., & Teknologi, D. A. N. (2017). *Analisis laju korosi baja karbon rendah terhadap lingkungan atmosferik kota makassar*.
- Iskandar, T., Abrina Anggraini, S. P., & Melinda, M. (2021). Pembuatan Bahan Bakar Diesel dari Limbah Plastik HDPE dengan Proses Pirolisis. *Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Dan Teknik Kimia*, 6(1), 23–29. <https://doi.org/10.33366/rekabuana.v6i1.2251>
- Iswadi, D., Nurisa, F., Liastuti, E., Kimia, J. T., Teknik, F., Pamulang, U., Surya, J., No, K., & Selatan, T. (2017). Utilization of LDPE and PET Plastic Waste into Oil Fuel By Pyrolysis Process. In *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia UNPAM* (Vol. 1, Issue 2).
- Jin, Dingfeng., Zhou, Xuehua., Wu, Panpan., Jiang, Li., and Ge, Hongliang., “Corrosion behavior of ASTM 1045 mild steel in palm biodiesel”, *J. Renewable Energi*, 81, pp. 457-463, 2015
- J.H. Van Gerpen, B. Dvorak, (2005) The effect of phosphorus level on the total glycerol and reaction yield of biodiesel, *Bioenergy 2005*, The 10th Biennial Bioenergy Conference, Boise, ID, Sept. 22–26, 2005.

- Kartika, W. (2022). Pemanfaatan Sampah Plastik Jenis HDPE dan PET sebagai Bahan Baku Pembuatan Bahan Bakar Minyak Alternatif menggunakan Metode Pirolisis dengan Katalis Zeolit Alam. *Agroindustrial Technology Journal*, 6(2), 106-117
- Mofijur, M., Atabani, A., Masjuki, H., Kalam, M., & Masum, B., 2013a. *A study on the effects of promising edible and non-edible biodiesel feedstocks on engine performance and emissions production: a comparative evaluation. Renewable and Sustainable Energy Reviews* 23, 391-404.
- Nasrun, N., Kurniawan, E., & Sari, I. (2017). Pengolahan Limbah Kantong Plastik Jenis Kresek Menjadi Bahan Bakar Menggunakan Proses Pirolisis. *Jurnal Energi Elektrik*, 4(1), 1–5. <https://doi.org/10.29103/Jee.V4i1.11>
- Naveen, S., Gopinath, K. P., Malolan, R., Ramesh, S. J., Aakriti, K., & Arun, J. (2020). *Novel Solar Parabolic Trough Collector cum Reactor for the Production of Biodiesel from Waste Cooking Oil using Calcium Oxide catalyst derived from seashells waste. Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 157, 108145-108158.
- Outili, N., Kerras, H., Nekkab, C., Merouani, R., & Meniai, A. H. (2020). Biodiesel production optimization from waste cooking oil using green chemistry metrics. *Renewable Energy*, 145, 2575-2586.
- Sifiani, E., Wijaya Dian, K., Ardianto, T., & Rahayu, S. (2023). PLASTIK LDPE (*Low Density Polyethylene*) SEBAGAI CAMPURAN KOMPOSIT POLIMER PAVING BLOCK. *Jurnal Orbita*, 1(1), 1–2.
- Silitonga, A., Masjuki, H., Mahlia, T., Ong, H., Atabani, A., & Chong, W., 2013. *A global comparative review of biodiesel production from jatropha curcas using different homogeneous acid and alkaline catalysts: Study of physical and chemical properties. Renewable and Sustainable Energy Reviews* 24, 514-533.
- Suherman, Abdullah, I., Sabri, M., Silitonga, A.R., Surono, B. 2022. “Pengaruh Perbedaan Jumlah Katalis Terhadap Angka Yield Pada Proses Pembuatan Biodiesel dari Minyak Goreng Sisa Menggunakan Pemanas Double Jacket. *Jurnal Rekayasa Mesin*. p-ISSN: 1411-6863, e-ISSN: 2540-7678 Vol.17, No.1, hal. 113-12.
- Sunarno, S. (2014). Sintesis Katalis Ni/ZSM-5 untuk Pirolisis Cangkang Sawit Menjadi Bio-Oil. *Eksergi*, 11(1), 23. <https://doi.org/10.31315/e.v11i1.326>
- Tanjung, I., Affandi, A., Huzni, S., & Fonna, S. (2020). Investigasi pengaruh jumlah elemen anoda terhadap distribusi potensial korosi pada beton bertulang menggunakan BEM 3D. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi* , 3(1), 57–64

- Trethewey, K. R., Chambedain, J. 2017. *Korosi Untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*. Gramedia Pustaka Utama Jakarta
- Vicente G.,Martinez M. dan Aracil J., (2006), “Kinetics of Brassica carinata Oil Methanolysis”, *Energy Fuels*, 20, hal. 1722–1726..
- Yuliana, S., Wijayanti, C., Qodriyah, N. R. L., Sanjaya, E. H., Wahab, R. A., & Susanti, E. (2023). Isolation and Identification of Indigenous Polypropylene-Degrading Bacteria Isolated From Bestari Landfill of Probolinggo. *Fullerene Journal of Chemistry*, 10(2), 45-57.

LAMPIRAN

LAJU KOROSI TEMBAGA

	Biodiesel	T Waktu (Hour)	Berat Spesimen		W Berat yang hilang (gram)	D Densitas (g/cm3)	A1 Luas Penampang (mm2)	A2 Luas Penampang (mm2)	A Luas Penampang (mm2)	CR (mm/year)
			Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)						
1 B0		500	9,0813	9,0800	1,30E-03	8,96	20,5600	2,90	17,6600	0,001439391
2 B10		500	9,6280	9,6275	0,0005	8,96	19,9000	2,90	17,0000	0,000575105
3 B20		500	9,5446	9,5430	0,0016	8,96	20,1200	2,90	17,2200	0,001816824
4 B30		500	9,6437	9,6410	0,0027	8,96	21,3400	2,90	18,4400	0,00286305
5 B40		500	9,4996	9,4973	0,0023	8,96	20,0000	2,90	17,1000	0,002630013
6 B0		1000	8,8333	8,8219	0,0114	8,96	21,6700	2,90	18,7700	0,005937952
7 B10		1000	9,4858	9,4753	0,0105	8,96	19,9000	2,90	17,0000	0,006038603
8 B20		1000	9,2196	9,2058	0,0138	8,96	20,9000	2,90	18,0000	0,007495536
9 B30		1000	8,6550	8,6458	0,0092	8,96	20,7800	2,90	17,8800	0,005030561
10 B40		1000	8,9123	8,9017	0,0106	8,96	20,9000	2,90	18,0000	0,00575744
11 B0		1500	8,7658	8,7653	0,0005	8,96	19,9000	2,90	17,0000	0,000191702
12 B10		1500	10,3458	10,3446	0,0012	8,96	20,5600	2,90	17,6600	0,00044289
13 B20		1500	9,8095	9,8085	0,001	8,96	21,2300	2,90	18,3300	0,000355584
14 B30		1500	9,8042	9,8036	0,0006	8,96	20,7000	2,90	17,8000	0,000219703
15 B40		1500	8,9678	8,9611	0,0067	8,96	20,4500	2,90	17,5500	0,002488299
16 B0		2000	9,1248	9,1219	0,0029	8,96	21,5600	2,90	18,6600	0,000759718
17 B10		2000	8,5545	8,5536	0,0009	8,96	20,8900	2,90	17,9900	0,000244556
18 B20		2000	9,5177	9,517	0,0007	8,96	19,9600	2,90	17,0600	0,000200579
19 B30		2000	8,3302	8,3289	0,0013	8,96	21,3400	2,90	18,4400	0,000344626
20 B40		2000	9,0242	9,0213	0,0029	8,96	21,1000	2,90	18,2000	0,00077892



LAPORAN HASIL UJI

Report of Analysis

Halaman: 1 dari 3
Page

Tanggal Penerbitan: 02 Juni 2025 Date of time	Nomor Laporan: 267 /UN5.4.6.K/KPM/2025 Report Number
Kepada: Surya Aduha	Nomor Order: KSB.SEM.25.05.29-34 Order Number

Yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa:

The undersigned certifies that examination

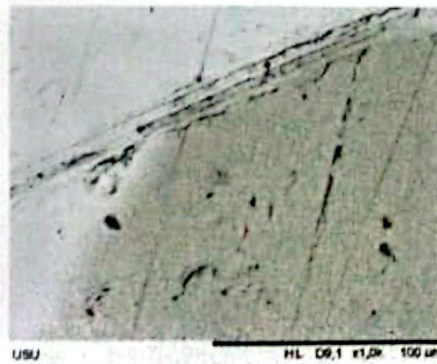
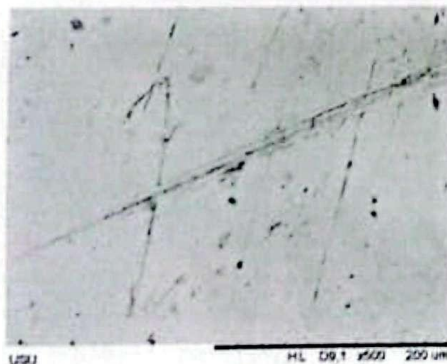
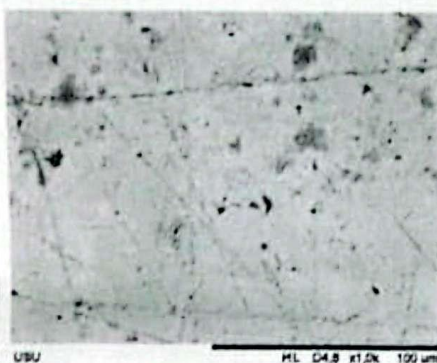
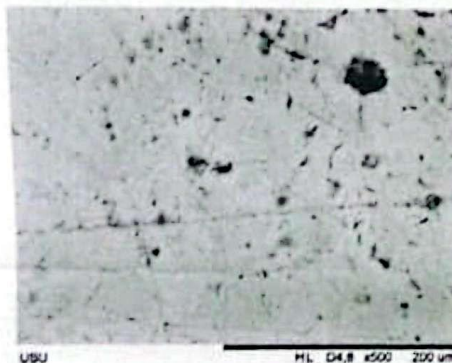
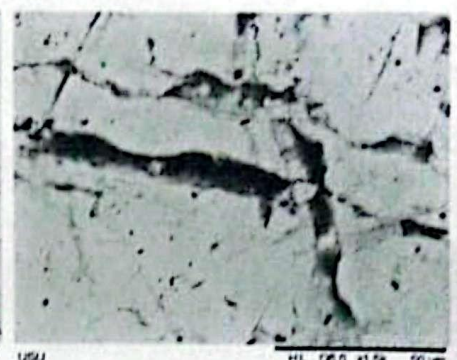
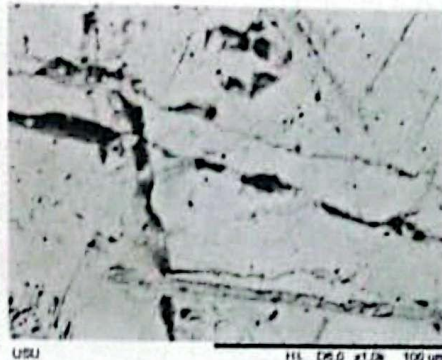
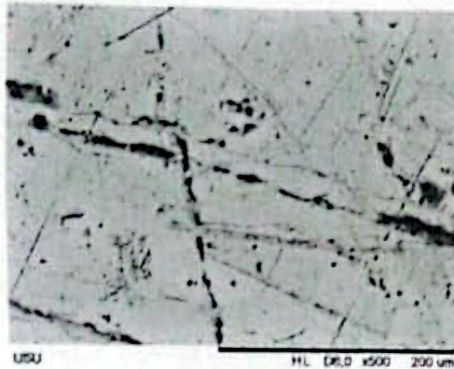
Nama Sampel: Name of the Sample(s) - Tembaga 4 - Tembaga 2 - Tembaga 19 - Tembaga 10 - Tembaga 15 - Tembaga 17	Untuk Parameter Uji: Uji SEM For Analysis
Tanggal Analisis: 28 Mei 2025 Date of Analysis	Tanggal Penerimaan: 23 Mei 2025 Received on
Hasil: Terlampir Results	

Kepala Laboratorium Terpadu
Universitas Sumatera Utara

Dr. Ir. Rahmi Karolina, ST., MT., IPM., GP
NIP. 198203182008122001

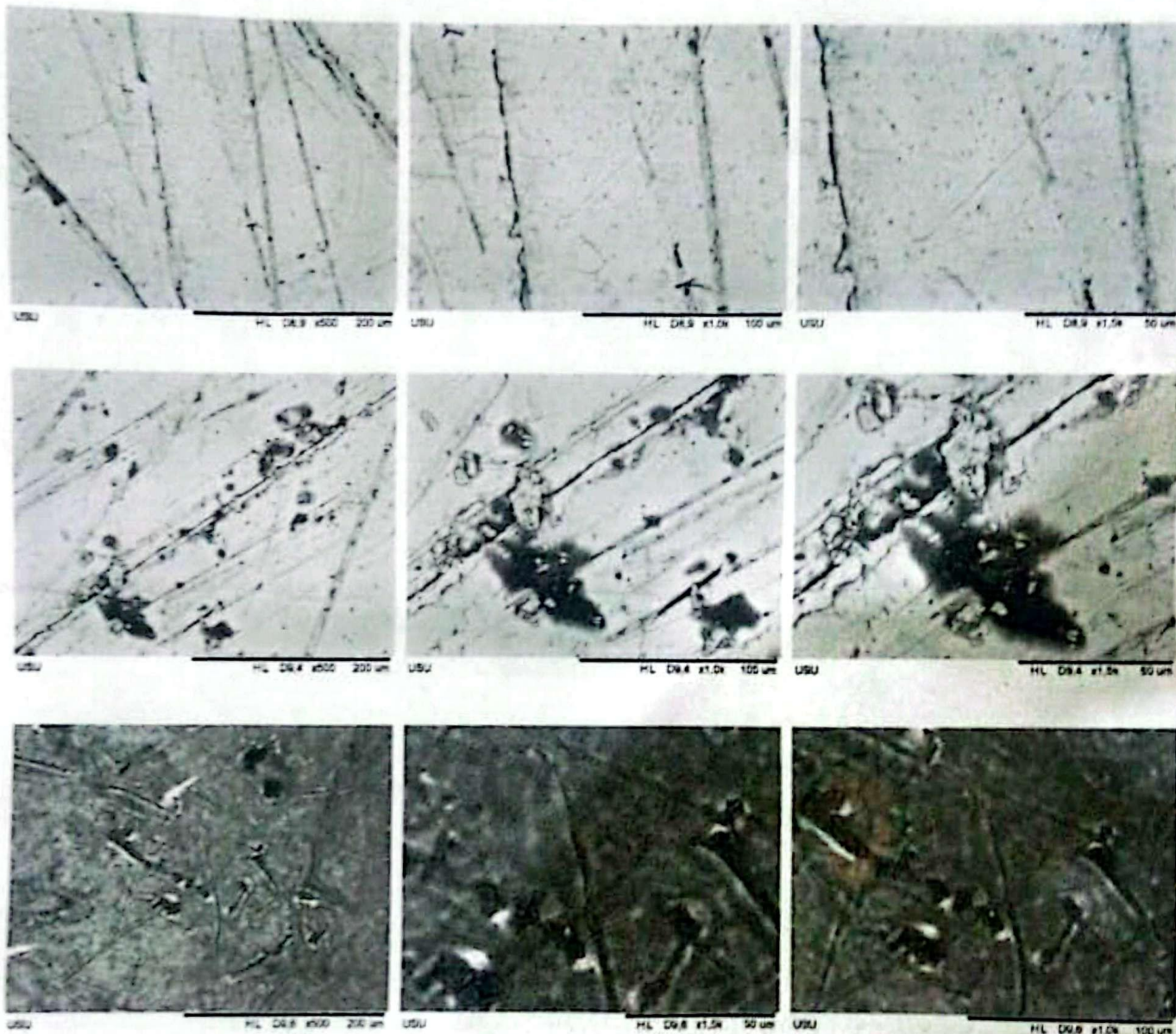


Lampiran Hasil Uji No. Laporan: 2021/UN5.4.6.K/KPM/2025:





Lampiran Hasil Uji No. Laporan: 2487/UN5.4.6.K/KPM/2025:



**Kepala Laboratorium Terpadu
Universitas Sumatera Utara**

Dr. Ir. Rahmi Karolina, ST., MT., IPM., GP
NIP. 198203182008122001

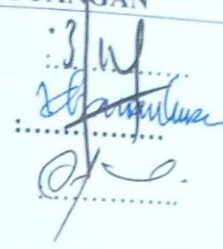
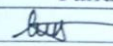
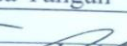
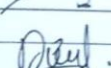
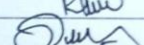
**DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK Mesin
FAKULTAS TEKNIK – UMSU
TAHUN AKADEMIK 2024 – 2025**

Peserta seminar

Nama : Surya Afduha

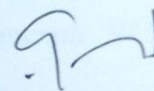
NPM : 2107230065

Judul Tugas Akhir : Pengaruh Pencampuran Minyak Pirolisis Plastic Biodiesel Dan Solar Terhadap Laju Korosi Tembaga Dalam Lingkungan Tertutup

DAFTAR HADIR			TANDA TANGAN
Pembimbing – I	:	Dr. Suherman ST.MT	
Pembimbing – II	:	Dr. Khairul Umurani ST.MT	
Pembimbing – II	:	Affandi ST.MT	
No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	2107230112	Basron Yahya Poluan	
2	2107230122	Rahm Syahputra Nst	
3	2107230006	Rahmat Gumaray Siregar	
4	2007230111	DIMAS SURYA PRATAMA	
5	2107230034	RAFIY RIZALDY IUBIS	
6	2107230019	Muhammad Dicky Padana	
7	2107230007	Rama Afrizani	
8			
9			
10			

Medan 20 Rabiul Awal 1447 H
13 September 2025 M

Ketua Prodi. T. Mesin



Chandra A Siregar ST.MT

DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

Nama : Surya Afduha
NPM : 2107230065
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Pencampuran Minyak Pirolisis Plastic Biodiesel Dan Solar Terhadap Laju Korosi Tembaga Dalam Lingkungan Tertutup

Dosen Pembanding - I : Dr Khairul Umurani ST.MT
Dosen Pembanding - II : Affandi ST.MT
Dosen Pembimbing - I : Dr. Suherman ST.MT

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

Mesin, hasil & pembahasan

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

Medan 20 Rabiul Awal 1447 H
13 September 2025 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Mesin

Dosen Pembanding- 1



Chandra A Siregar ST.MT



Dr Khairul Umurani ST.MT

DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

Nama : Surya Aduha
NPM : 2107230065
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Pencampuran Minyak Pirolisis Plastic Biodiesel Dan Solar Terhadap Laju Korosi Tembaga Dalam Lingkungan Tertutup

Dosen Pemanding - I : Dr. Khairul Umurani ST.MT
Dosen Pemanding - II : Affandi ST.MT
Dosen Pembimbing - I : Dr. Suherman ST.MT

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

lihat lampiran buku Skripsi

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

Medan 20 Rabiul Awal 1447 H
13 September 2025 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Mesin

Dosen Pemanding- II



Chandra A Siregar ST.MT



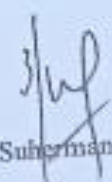
Affandi ST.MT

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Judul : Pengaruh Pencampuran Minyak Pirolisis Plastik Biodiesel
 Dan Solar Terhadap Laju Korosi Tembaga Dalam Lingkungan Tertutup
 Nama : Surya Afduha
 NPM : 2107230065
 Dosen Pembimbing : Dr. Suherman S.T.,M.T.

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
		Perbaiki Bab 3	/
		Tambahkan Grafik	/
		Perbaiki Grafik	/
		Tambahkan Pembahasan Grafik	/
		Perbaiki Perhitungan korosi	/
		Tambahkan Pembahasan Bab 4	/
		Perbaiki Gambar Sem	/
		Tambahkan Pembahasan Sem	/
		Perbaiki Penulisan	/
		Tambah Pembahasan Gambar	/
		rapikan Penulisan Ace Sembar	/

Dosen Pembimbing


 Dr. Suherman S.T.,M.T.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA PRIBADI

Nama : Surya Afduha
Tempat, Tanggal Lahir : Sipare-pare 22 September 2003
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Agama : Islam
Alamat : Indrapura, Sipare-pare, Dusun II
Nomor Telepon : +62 822-7568-23
Email : suryaafduha0508@gmail.com

PENDIDIKAN FORMAL

Tahun 2009-2015 : SDN 013869
Tahun 2015-2018 : MTSN Lima Puluh
Tahun 2018-2021 : SMKN 1 Air Putih
Tahun 2021-2025 : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara