

**PENANGGULANGAN PENCEMARAN LOGAM BESI PADA
BAJA DALAM AIR LAUT, AIR GAMBUT DAN ASAM
SULFAT MENGGUNAKAN ENKAPSUL EKSTRAK
KULIT KAKAO SEBAGAI INHIBITOR KOROSI**



TESIS

**Fida Toyyibah
P2F122008**

**PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS JAMBI
2025**

**PENANGGULANGAN PENCEMARAN LOGAM BESI PADA
BAJA DALAM AIR LAUT, AIR GAMBUT DAN ASAM
SULFAT MENGGUNAKAN ENKAPSUL EKSTRAK
KULIT KAKAO SEBAGAI INHIBITOR KOROSI**



TESIS

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Ilmu Lingkungan**

**Fida Toyyibah
P2F122008**

**PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS JAMBI**

2025

PERNYATAAN ORISINALITAS DAN BEBAS PLAGIARISME

Nama : Fida Toyyibah, S.Si.
Bidang Ilmu : Interdisiplin
Program Studi : Magister Ilmu Lingkungan
Judul Tesis : Penanggulangan Pencemaran Logam Besi pada Baja dalam Air Laut, Air Gambut dan Asam Sulfat Menggunakan Enkapsul Ekstrak Kulit Kakao Sebagai Inhibitor Korosi

Saya yang bertandatangan di bawah ini dengan sebenarnya menyatakan bahwa tesis ini saya susun tanpa tindakan plagiarisme sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Jambi. Semua sumber yang dikutip maupun yang dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Apabila di kemudian hari ternyata saya melakukan tindakan plagiarisme, saya akan bertanggungjawab sepenuhnya dan menerima sanksi yang dijatuhkan oleh Universitas Jambi kepada saya.

Jambi, Juli 2025



Fida Toyyibah
NIM. P2F122008

HALAMAN PERSETUJUAN PEMBIMBING

Dengan ini Pembimbing Tesis, menyatakan bahwa usulan penelitian tesis yang disusun oleh :

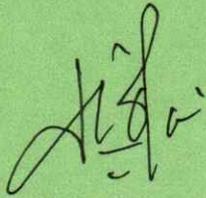
Nama : Fida Toyyibah, S.Si.
Nomor Mahasiswa : P2F122008
Program Studi : Magister Ilmu Lingkungan
Judul Tesis : Penanggulangan Pencemaran Logam Besi pada Baja dalam Air Laut, Air Gambut dan Asam Sulfat Menggunakan Enkapsul Ekstrak Kulit Kakao Sebagai Inhibitor Korosi

Telah layak dan memenuhi syarat untuk diseminarkan sesuai dengan prosedur, ketentuan dan kelaziman yang berlaku.

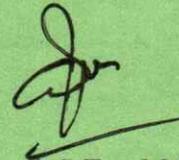
Jambi, Juli 2025

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



Dr. Diah Riski Gusti, S.Si., M.Si.
NIP. 197408102000122001



Addion Nizori, S.Tp., M.Sc., Ph.D.
NIP. 197410291999031002

HALAMAN PERSETUJUAN KETUA PROGRAM STUDI

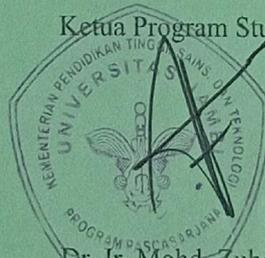
Dengan ini Ketua Program Studi, menyatakan bahwa usulan penelitian tesis yang disusun oleh :

Nama : Fida Toyyibah, S.Si.
Nomor Mahasiswa : P2F122008
Program Studi : Magister Ilmu Lingkungan
Judul Tesis : Penanggulangan Pencemaran Logam Besi pada Baja dalam Air Laut, Air Gambut dan Asam Sulfat Menggunakan Enkapsul Ekstrak Kulit Kakao Sebagai Inhibitor Korosi

Telah layak dan memenuhi syarat untuk diseminarkan sesuai dengan prosedur, ketentuan dan kelaziman yang berlaku.

Jambi, Juli 2025

Ketua Program Studi,



Dr. Ir. Mohd. Zuhdi, M.Sc.
NIP. 196705071994031006

HALAMAN PENGESAHAN

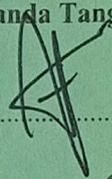
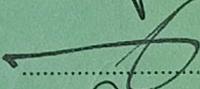
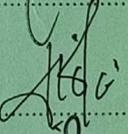
Tesis dengan judul Penanggulangan Pencemaran Logam Besi Pada Baja Dalam Air Laut, Air Gambut Dan Asam Sulfat Menggunakan Enkapsul Ekstrak Kulit Kakao Sebagai Inhibitor Korosi, yang ditulis oleh Fida Toyyibah, NIM. P2F122008 telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Ujian Naskah Tesis Program Studi Magister Ilmu Lingkungan pada :

Hari : Selasa

Tanggal : 08 Juli 2025

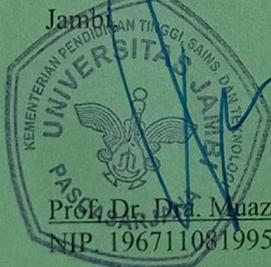
Tempat : Lantai III Program Pascasarjana Universitas Jambi, Ruang
Kuliah Prodi Magister Ilmu Lingkungan

SUSUNAN TIM/DEWAN PENGUJI

Jabatan	Nama	Tanda Tangan
Ketua Penguji	Dr. Ir. Mohd. Zuhdi, M.Sc. NIP. 196705071994031006	
Penguji Anggota	Prof. Drs. Damris M, M.Sc., Ph.D. NIP. 196605191991121001	
Penguji Anggota	Dr. Lenny Marlinda, S.T., M.T. NIP. 197907062008122002	
Pembimbing Ketua	Dr. Diah Riski Gusti, S.Si., M.Si. NIP. 197408102000122001	
Pembimbing Anggota	Addion Nizori, S.Tp., M.Sc., Ph.D. NIP. 197410291999031002	

Jambi, Juli 2025

Menyetujui
Direktur Pascasarjana Universitas
Jambi



Prof. Dr. Dra. Muazza, M.Si.
NIP. 196711081995112001

Mengetahui
Ketua Program Studi Magister Ilmu
Lingkungan,



Dr. Ir. Mohd. Zuhdi, M.Sc.
NIP. 196705071994031006

BIODATA PENULIS



Penulis, Fida Toyiyah, S.Si. dilahirkan di Desa Penerokan, Kecamatan Bajubang, Kabupaten Batanghari, Provinsi Jambi, pada 09 Desember 1996, anak kedua dari enam bersaudara, putri pasangan Bapak Sugino dan Ibu Kartika Hanim. Penulis menikah dengan Sarwono pada tahun 2023. Penulis adalah penganut agama Islam dan saat ini bertempat tinggal di Desa Pandan Makmur, Kecamatan Geragai, Kabupaten Tanjung Jabung Timur, Provinsi Jambi.

Penulis menyelesaikan pendidikan dasar di SDN 48/I Penerokan pada tahun 2008, pendidikan menengah di SMPN 8 Batanghari pada tahun 2011 dan kemudian di SMAN 5 Batanghari pada tahun 2014. Penulis melanjutkan studi jenjang S1 di Universitas Jambi Fakultas Sains dan Teknologi dan Jurusan/Program Studi Kimia dan lulus pada tahun 2018. Pendidikan jenjang S2 ditempuh di Universitas Jambi dan program studi Magister Ilmu Lingkungan.

Pengalaman kerja penulis diawali dengan menjadi PTT Petugas Laboratorium pada Januari 2019 hingga April 2025 di UPTD Balai Pengujian dan Sertifikasi Mutu Barang Dinas Perindustrian dan Perdagangan Provinsi Jambi dan menjadi PPPK Pranata Laboratorium Kesehatan di UPTD Balai Laboratorium Kesehatan, Dinas Kesehatan Provinsi Jambi pada Mei 2025 hingga saat ini.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Sains Ilmu Lingkungan program studi Ilmu Lingkungan pada Program Pascasarjana Universitas Jambi. Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Rektor Universitas Jambi Bapak Prof. Dr. Helmi, S.H., M.H
2. Direktur Pascasarjana Universitas Jambi Ibu Prof. Dr. Dra. Muazza, M.Si
3. Ibu Dr. Diah Riski Gusti, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing utama yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan tesis ini;
4. Bapak Addion Nizori, S.Tp., M.Sc., Ph.D. selaku Pembimbing pendamping yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan tesis ini;
5. Bapak Dr. Ir. Mohd. Zuhdi, M.Sc., Bapak Dr. Ir. Jalius, M.S., Bapak Prof. Drs. Damris M., M.Sc., Ph.D. dan Ibu Dr. Lenny Marlinda, S.T., M.T., selaku Tim penguji tesis;
6. UPTD BPSMB Disperindag Provinsi Jambi yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang penulis perlukan;
7. Suami, Orang tua dan keluarga penulis yang telah memberikan bantuan dukungan moral dan material; dan
8. Sahabat yang telah banyak membantu penulis menyelesaikan tesis ini.

Akhir kata, penulis berharap Tuhan Yang Mahaesa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Jambi, Juli 2025

Penulis

ABSTRAK

Penanggulangan Pencemaran Logam Besi pada Baja dalam Air Laut, Air Gambut dan Asam Sulfat Menggunakan Enkapsul Ekstrak Kulit Kakao Sebagai Inhibitor Korosi

Fida Toyyibah, Diah Riski Gusti dan Addion Nizori

Kerusakan akibat korosi dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan, kerusakan habitat, dan penipisan sumber daya. Kebocoran, tumpahan, dan emisi dari peralatan dan material yang terkorosi dapat mencemari tanah, badan air, dan udara, yang mengakibatkan dampak buruk pada ekosistem dan kesehatan manusia. Baja adalah salah satu material banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari dalam berbagai aplikasi, seperti industri dan manufaktur. Akan tetapi, baja sangat mudah mengalami korosi terutama dalam lingkungan korosif yang berdampak besar pada segi ekonomi, lingkungan hingga keamanan manusia. Upaya pencegahan korosi dengan pemanfaatan ekstrak bahan alam salah satunya yaitu ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao Linn.*) yang dilindungi menggunakan metode enkapsulasi. Proses enkapsulasi dilakukan dengan menggunakan penyalut maltodekstrin dan kitosan. Formulasi terbaik yang dihasilkan pada penelitian ini adalah perbandingan maltodekstrin : kitosan (8:2). Formulasi enkapsul terbaik selanjutnya digunakan sebagai inhibitor korosi pada baja dalam larutan asam sulfat 0.75 M, air laut dan air gambut. Penentuan efisiensi inhibisi baja dilakukan menggunakan metode kehilangan berat dengan variasi konsentrasi dan waktu perendaman. Untuk memperkuat hasil penelitian, dilakukan karakterisasi *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat dalam enkapsul ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao Linn.*) dan karakterisasi *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk mengetahui morfologi permukaan baja lunak sebelum dan sesudah perendaman. Hasil penelitian menunjukkan efisiensi inhibisi baja menggunakan inhibitor enkapsul ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao Linn.*) yang direndam dalam media korosi asam sulfat 0.75 M, air laut dan air gambut meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi inhibitor dan mengalami penurunan seiring bertambahnya waktu perendaman. Efisiensi inhibisi baja terbaik yakni dalam perendaman air gambut selama 1 hari dengan konsentrasi 2.5 mg/mL yaitu 94.07%.

Kata Kunci: Enkapsulasi, Ekstrak Kulit Kakao (*Theobroma cacao Linn.*), Inhibitor Korosi, Efisiensi Inhibisi.

ABSTRACT

The Control of Iron Contamination at Steel in Seawater, Peat Water and Sulfuric Acid Using Encapsulated Cocoa Peel Extract as a Corrosion Inhibitor

Fida Toyyibah, Diah Riski Gusti dan Addion Nizori

Corrosion damage can lead to environmental pollution, habitat destruction, and depletion of resources. Leaks, spills, and emissions from corroded equipment and materials can contaminate soil, water bodies, and air, resulting in harmful impacts on ecosystems and human health. Steel is one of the most commonly used materials in daily life across various applications, such as in industry and manufacturing. However, steel is highly susceptible to corrosion, especially in corrosive environments, which can have significant economic, environmental, and human safety impacts. Efforts to prevent corrosion using natural material extracts include cocoa peel extract (*Theobroma cacao* Linn.) which is protected through an encapsulation method. The encapsulation process is carried out using maltodextrin and chitosan coatings. The best formulation produced in this study is a maltodextrin:chitosan ratio of 8:2. This optimal encapsulation formulation is then used as a corrosion inhibitor for steel in 0.75 M sulfuric acid solution, seawater, and peat water. The inhibition efficiency of the steel is determined using the weight loss method with varying concentrations and immersion times. To strengthen the research findings, *Fourier Transform Infrared* (FTIR) characterization is conducted to identify the functional groups present in the encapsulated cocoa peel extract (*Theobroma cacao* Linn.), and *Scanning Electron Microscope* (SEM) characterization is used to observe the surface morphology of the mild steel before and after immersion. The results indicate that the inhibition efficiency of steel using the encapsulated cocoa peel extract (*Theobroma cacao* Linn.) increased with higher inhibitor concentrations and decreased with longer immersion times. The highest inhibition efficiency was found in the peat water immersion for 1 day at a concentration of 2.5 mg/mL, which reached 94.07%.

Keyword : Encapsulation, Cocoa Peel Extract (*Theobroma cacao* Linn.), Corrosion Inhibitors, Inhibition Efficiency

DAFTAR ISI

	Halaman
PERNYATAAN ORISINALITAS DAN BEBAS PLAGIARISME.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
HALAMAN PERSETUJUAN KETUA PROGRAM STUDI.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
BIODATA PENULIS	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah Penelitian	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II LANDASAN TEORI	6
2.1 Landasan Teori	6
2.1.1. Baja.....	6
2.1.2. Kakao.....	13
2.1.3. Inhibitor Korosi	16
2.1.4. Inhibitor Alami	17
2.1.5. Ekstraksi	18
2.1.6. Enkapsulasi.....	18
2.1.7. Bahan Penyalut Enkapsulasi.....	19
2.1.8 Rancangan Percobaan.....	21
2.1.9 Penelitian Terdahulu.....	23
2.2 Kerangka Berpikir	25
2.3 Hipotesis.....	27

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	28
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	28
3.2 Bahan dan Peralatan	28
3.3 Metode Penelitian.....	28
3.4 Metode Analisis Data Penelitian	31
3.4.1. Penentuan Kadar Air dan Kelarutan Enkapsul serta Stabilitas Tannin.....	31
3.4.2. Metode Kehilangan Berat.....	33
3.4.3. Analisis Morfologi Permukaan Menggunakan <i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i>	36
3.4.4. Analisis Gugus Fungsi Menggunakan <i>Fourier Transform Infra Red (FTIR)</i>	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Hasil Skrining Fitokimia Ekstrak Kulit Buah Kakao	37
4.2 Formulasi Enkapsulasi Ekstrak Kulit Kakao	39
4.3 Hasil Pengujian Sifat Fisika dan Kimia dari Enkapsul Ekstrak Kulit Kakao	40
4.4 Analisis Metode Kehilangan Berat (Weight Loss Method).....	50
4.5 Analisis Morfologi Permukaan menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM).....	81
4.6 Analisis Gugus Fungsi menggunakan Fourier Transform Infra Red (FTIR).....	85
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	93
5.1 Kesimpulan.....	93
5.2 Saran.....	94
DAFTAR PUSTAKA	95
LAMPIRAN.....	101

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Hasil Uji Fitokimia Ekstrak kulit kakao (Herman et al., 2020)	14
Tabel 2. Pengamatan Rancangan Acak Kelompok	23
Tabel 3. Tabel <i>Analysis of Variance</i> untuk Rancangan Acak Kelompok	23
Tabel 4. Penelitian Terdahulu	23
Tabel 5. Tabel Pengamatan untuk Uji Faktorial Rancangan Acak Kelompok	35
Tabel 6. Hasil Skrining Fitokimia Ekstrak Kulit Kakao	37
Tabel 7. Hasil Pengukuran Kadar Air Enkapsul Ekstrak Kulit Kakao	40
Tabel 8. Kelarutan Enkapsul Ekstrak Kulit Kakao dengan Penyalut Maltodekstrin- Kitosan (8 : 2) dalam Larutan Asam Sulfat 0.75 M, Air Laut dan Air Gambut	42
Tabel 9. Perbandingan pH Larutan Air Laut dan Air Gambut	45
Tabel 10. Absorbansi Larutan Standar Asam Tanat	46
Tabel 11. Hasil Uji Stabilitas Tanin Selama Waktu Penyimpanan	48
Tabel 12. Nilai laju korosi berdasarkan variasi konsentrasi inhibitor ekstrak kulit kakao (<i>Theobroma cacao</i> Linn.) yang dienkapsulasi dan waktu perendaman dalam media asam sulfat 0.75 M	52
Tabel 13. Nilai laju korosi berdasarkan variasi konsentrasi inhibitor ekstrak kulit kakao (<i>Theobroma cacao</i> Linn.) yang dienkapsulasi dan waktu perendaman dalam media air laut	56
Tabel 14. Nilai laju korosi berdasarkan variasi konsentrasi inhibitor ekstrak kulit kakao (<i>Theobroma cacao</i> Linn.) yang dienkapsulasi dan waktu perendaman dalam media air gambut	59
Tabel 15. Perbandingan Laju Korosi Baja pada Larutan Asam Sulfat 0.75 M (AS), Air Laut (AL) dan Air Gambut (AG)	62
Tabel 16. Analisis sidik ragam antara waktu perendaman (HARI) dan konsentrasi enkapsul (KONSENTRASI) terhadap Efisiensi Inhibisi korosi dalam asam sulfat 0.75 M menggunakan Ms. Excel	66

Tabel 17. Analisis sidik ragam antara waktu perendaman (HARI) dan konsentrasi enkapsul (KONSENTRASI) terhadap Efisiensi Inhibisi korosi dalam asam sulfat 0.75 M menggunakan SPSS	67
Tabel 18. Hasil Uji Regresi Linear Berganda pada Media Asam Sulfat 0.75 M	68
Tabel 19. Pengaruh waktu perendaman dan konsentrasi enkapsul terhadap efisiensi inhibisi korosi dalam media asam sulfat 0.75 M.....	69
Tabel 20. Analisis sidik ragam antara waktu perendaman (HARI) dan konsentrasi enkapsul (KONSENTRASI) terhadap Efisiensi Inhibisi korosi dalam media air laut menggunakan Ms. Excel.....	71
Tabel 21. Analisis sidik ragam antara waktu perendaman (HARI) dan konsentrasi enkapsul (KONSENTRASI) terhadap Efisiensi Inhibisi korosi dalam asam sulfat 0.75 M menggunakan SPSS	71
Tabel 22. Hasil Uji Regresi Linear Berganda pada Media Air Laut.....	72
Tabel 23. Pengaruh waktu perendaman dan konsentrasi enkapsul terhadap efisiensi inhibisi korosi dalam media air laut	73
Tabel 24. Analisis sidik ragam antara waktu perendaman (HARI) dan konsentrasi enkapsul (KONSENTRASI) terhadap Efisiensi Inhibisi korosi dalam media air gambut menggunakan Ms. Excel.....	75
Tabel 25. Analisis sidik ragam antara waktu perendaman (HARI) dan konsentrasi enkapsul (KONSENTRASI) terhadap Efisiensi Inhibisi korosi dalam air gambut menggunakan SPSS.....	76
Tabel 26. Hasil Uji Regresi Linear Berganda pada Media Air Gambut	77
Tabel 27. Pengaruh waktu perendaman dan konsentrasi enkapsul terhadap efisiensi inhibisi korosi dalam media air gambut	78
Tabel 28. Perbandingan Spektrum FTIR yang didapat dengan Literatur (de Carvalho et al., 2021) & (Nandiyanto et al., 2023)	89

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Proses Terjadinya Korosi (Radhamani et al., 2020).....	12
Gambar 2. Buah kakao yang telah masak (Yuliani & Fauzana, 2020)	14
Gambar 3. Struktur Tanin	15
Gambar 4. Mekanisme proses inhibisi Korosi (Xu et al., 2019).....	16
Gambar 5. Tipe Enkapsul (Agustin & Wibowo, 2021)	19
Gambar 6. Struktur Maltodekstrin (Guntero et al., 2021).....	20
Gambar 7. Struktur Kitosan (El-banna et al., 2019)	21
Gambar 8. Kerangka Berpikir Penelitian	26
Gambar 9. Hasil Uji Skrinning Fitokimia Ekstrak Kulit Kakao	38
Gambar 10. Enkapsul rasio campuran bahan penyalut maltodekstrin:kitosan (10% : 0% ; 9.5% : 0.5% ; 9% : 1% ; 8.5 : 1.5% ; dan 8% : 2%) dari kiri ke kanan.....	39
Gambar 11. Perbandingan Kelarutan Enkapsul Ekstrak Kulit Kakao dengan Penyalut Maltodekstrin-Kitosan (8 : 2) dalam Larutan Asam Sulfat 0.75 M, Air Laut dan Air Gambut	44
Gambar 12. Kurva Standar dari Larutan Standar Asam Tanat.....	46
Gambar 13. Grafik Perbandingan Kestabilan Antara Ekstrak Tanpa dienkapsulasi dan ekstrak yang dienkapsulasi selama waktu penyimpanan 15 hari	47
Gambar 14. Pengaruh konsentrasi inhibitor ekstrak kulit kakao (<i>Theobroma cacao</i> Linn.) yang dienkapsulasi dan waktu perendaman terhadap laju korosi baja dalam media asam sulfat 0.75 M.....	51
Gambar 15. Pengaruh waktu perendaman dan konsentrasi inhibitor ekstrak kulit kakao (<i>Theobroma cacao</i> Linn.) yang dienkapsulasi terhadap laju korosi baja dalam media asam sulfat 0.75 M	51
Gambar 16. Pengaruh konsentrasi inhibitor ekstrak kulit kakao (<i>Theobroma cacao</i> Linn.) yang dienkapsulasi dan waktu perendaman terhadap laju korosi baja dalam media air laut	54

Gambar 17. Pengaruh waktu perendaman dan konsentrasi inhibitor ekstrak kulit kakao (<i>Theobroma cacao</i> Linn.) yang dienkapsulasi terhadap laju korosi baja dalam media air laut.....	55
Gambar 18. Pengaruh konsentrasi inhibitor ekstrak kulit kakao (<i>Theobroma cacao</i> Linn.) yang dienkapsulasi dan waktu perendaman terhadap laju korosi baja dalam media air gambut.....	58
Gambar 19. Pengaruh waktu perendaman dan konsentrasi inhibitor ekstrak kulit kakao (<i>Theobroma cacao</i> Linn.) yang dienkapsulasi terhadap laju korosi baja dalam media air gambut.....	58
Gambar 20. Pengaruh konsentrasi inhibitor ekstrak kulit kakao (<i>Theobroma cacao</i> Linn.) yang dienkapsulasi dan waktu perendaman terhadap efisiensi inhibisi baja dalam media (a) asam sulfat 0.75 M (b) air laut, (c) air gambut	64
Gambar 21. Pengaruh waktu perendaman dan konsentrasi inhibitor ekstrak kulit kakao (<i>Theobroma cacao</i> Linn.) yang dienkapsulasi terhadap efisiensi inhibisi baja dalam media (a) asam sulfat 0.75 M (b) air laut, (c) air gambut	65
Gambar 22. Hasil SEM baja: a) sebelum perlakuan, b) baja dalam H ₂ SO ₄ 0.75 M tanpa inhibitor, c) baja dalam H ₂ SO ₄ 0.75 M dengan inhibitor enkapsul, d) baja dalam air laut tanpa inhibitor, e) baja dalam air laut dengan inhibitor enkapsul, f) baja dalam air gambut tanpa inhibitor, g) baja dalam air gambut dengan inhibitor enkapsul.	82
Gambar 23. Spektrum FTIR (a) maltodekstrin, (b) kitosan, (c) ekstrak kulit kakao, (d) enkapsul ekstrak kulit kakao, (e) baja dalam asam sulfat dengan enkapsul, (f) baja dalam air laut dengan enkapsul, (g) baja dalam air gambut dengan enkapsul.....	86

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Alur Penelitian.....	101
Lampiran 2. Diagram Alir Penelitian.....	102
Lampiran 3. Perhitungan.....	109
Lampiran 4. Dokumentasi.....	180

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pencemaran logam berat di perairan menjadi salah satu isu lingkungan yang semakin mendapatkan perhatian global. Pencemaran ini dapat mengancam ekosistem laut, kualitas air, kesehatan manusia serta menyebabkan kerusakan habitat dan penipisan sumber daya. Salah satu jenis logam berat yang sering ditemukan di perairan adalah besi, yang umumnya bersumber dari aktivitas industri dan limbah rumah tangga. Air laut, air gambut, dan asam sulfat dapat menyebabkan kerusakan pada infrastruktur, khususnya baja, yang rentan terhadap proses korosi (Yunus, 2019). Kebocoran, tumpahan, dan emisi dari peralatan dan material yang terkorosi dapat mencemari tanah, badan air, dan udara, yang mengakibatkan dampak buruk pada ekosistem dan kesehatan manusia (Harison, 2024).

Korosi dapat disebabkan oleh lingkungan yang korosif. Korosi pada baja merupakan proses alami yang dipicu oleh interaksi antara material dan lingkungan sekitarnya. Pada kondisi tertentu, seperti adanya air laut, air gambut, dan asam sulfat, korosi pada baja akan berlangsung lebih cepat dan intensif (Radhamani et al., 2020). Oleh karena itu, upaya untuk menanggulangi korosi pada baja di lingkungan tersebut sangat penting, baik untuk menjaga kualitas infrastruktur maupun untuk melindungi ekosistem perairan. Larutan asam sulfat banyak digunakan dalam industri pada proses pengawetan, pembersihan, dan pemeliharaan sehingga menjadi salah satu faktor pemicu terjadinya masalah korosi. Hal tersebut dikarenakan sifat asam yang umumnya agresif. Air gambut dan air laut diketahui dapat menyebabkan korosi pada logam. pH air gambut yang asam yakni berkisar antara pH 3-5, membuat air gambut menjadi sangat korosif (Cholil et al., 2018). Air laut juga dapat menyebabkan korosi, menurut Saputro & Sutjahjo (2017), makin asam tingkat keasaman dalam air dan semakin tinggi nilai salinitas dan zat yang terlarut dalam air maka semakin besar laju korosi yang terjadi.

Berbagai metode telah diterapkan untuk mengatasi masalah korosi, salah satunya adalah penggunaan inhibitor korosi. Inhibitor korosi berfungsi untuk mengurangi atau memperlambat proses korosi dengan cara membentuk lapisan pelindung pada permukaan logam (Wahyuni et al., 2022). Beberapa inhibitor korosi

yang umum digunakan berasal dari bahan kimia sintetik, namun penggunaannya sering kali menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan contohnya natrium kromat, fosfat, dan molibdat yang memiliki sifat toksik, karsinogenik dan berbahaya terutama bila diaplikasikan pada industri makanan dan juga berdampak buruk bagi lingkungan. Oleh karena itu, penelitian tentang penggunaan bahan alami sebagai inhibitor korosi semakin berkembang. Umumnya, senyawa organik yang efektif digunakan sebagai inhibitor korosi adalah senyawa yang memiliki gugus fungsi elektronegatif seperti O, N, P, S dan heteroatom lainnya, ikatan rangkap terkonjugasi atau ikatan rangkap tiga pada molekulnya yang dapat diadsorpsi pada permukaan logam (Lin et al., 2021).

Salah satu bahan alami yang menjanjikan adalah ekstrak kulit kakao. Saat ini pemanfaatan buah kakao hanya terdapat pada pengelolaan biji kakao menjadi makanan, menyebabkan kulit buah kakao menjadi limbah. Kulit pada buah kakao merupakan jumlah terbanyak dalam satu buah kakao menghasilkan limbah kering sebesar 872,3 ribu ton per tahun. Limbah kulit buah kakao belum dimanfaatkan secara optimal karena biasanya hanya dibuang disekitar tanaman kakao, maka perlu dicari cara mengenai pemanfaatan kulit buah kakao yang lebih efisien dan memiliki nilai ekonomis yang lebih tinggi (Afdhal et al., 2019).

Ekstrak kulit buah kakao mengandung tannin, polifenol, flavonoid, alkaloid dan saponin yang memiliki potensi sebagai antioksidan dan inhibitor korosi (Putra et al., 2018). Senyawa tanin di dalam ekstrak kulit kakao dapat membentuk senyawa kompleks dengan Fe(II)/Fe(III) di permukaan logam sehingga laju korosi akan mengalami penurunan. Senyawa kompleks ini akan menghalangi serangan ion-ion korosif pada permukaan logam (Putra et al., 2018).

Namun, senyawa pada ekstrak kulit kakao mudah rusak terhadap kondisi lingkungan. Untuk mengatasi hal tersebut dapat dilakukan dengan cara enkapsulasi. Enkapsulasi merupakan suatu proses penyalutan material inti (*core*) sebagai bahan aktif dilapisi atau diperangkap oleh material lain sebagai dinding (*wall material*). Enkapsulasi memungkinkan senyawa aktif dalam ekstrak kulit kakao untuk terjaga kestabilannya dan dapat dilepaskan secara perlahan, memberikan perlindungan jangka panjang terhadap korosi (Agustin & Wibowo, 2021). Bahan penyalut yang digunakan dalam enkapsulasi harus bersifat emulsifier yang baik, dapat membentuk

lapisan film, memiliki kelarutan yang baik dan bersifat inert terhadap bahan inti. Bahan penyalut yang digunakan dalam penelitian ini adalah maltodekstrin dan kitosan. Kitosan merupakan aminopolisakarida yang tidak beracun, dapat terbiodegradasi, dan biokompatibel sehingga berguna untuk enkapsulasi berbagai bahan aktif. Lapisan kitosan dalam enkapsulasi memberikan perlindungan dari kemungkinan serangan antimikroba, antioksidan, dan umur simpan yang lebih lama (Raza et al., 2020). Sementara maltodekstrin memiliki kelarutan yang tinggi, tidak mempunyai rasa dan aroma, serta baik untuk melindungi bahan inti dari oksidasi, mempunyai stabilitas yang baik terhadap oksigen dan bersifat inert terhadap bahan inti serta harga yang terjangkau (Hasrini et al., 2017).

Berdasarkan latar belakang tersebut penulis tertarik untuk melakukan penelitian yang berjudul “ Penanggulangan Pencemaran Logam Besi pada Baja dalam Air Laut, Air Gambut dan Asam Sulfat Menggunakan Enkapsul Ekstrak Kulit Kakao Sebagai Inhibitor Korosi”.

1.2 Rumusan Masalah Penelitian

Baja lunak mudah terkorosi dalam lingkungan seperti pada air laut, air gambut dan asam sulfat. Salah satu cara untuk memperlambat laju korosi adalah dengan menambahkan inhibitor korosi. Dalam penelitian ini ekstrak Kulit Kakao (*Theobroma cacao* Linn.) dipilih sebagai inhibitor korosi karena di dalamnya terdapat senyawa metabolit sekunder yang mampu menghambat laju korosi. Senyawa metabolit sekunder yang terkandung dalam Kulit Kakao (*Theobroma cacao* Linn.) salah satunya senyawa tanin, yang mana senyawa tanin termasuk senyawa polifenol. Gugus fungsi OH pada tanin memungkinkan tanin membentuk senyawa kompleks dengan logam. Akan tetapi, tanin mudah mengalami oksidasi dan degradasi sehingga perlu dilakukan enkapsulasi agar senyawa tersebut tetap stabil dan tidak teroksidasi saat disimpan dalam jangka waktu lama. Bahan penyalut yang digunakan dalam penelitian ini adalah maltodekstrin dan kitosan. Selain berperan sebagai bahan penyalut, maltodekstrin dan kitosan juga dapat berperan dalam menghambat laju korosi pada baja, dikarenakan maltodekstrin dan kitosan memiliki gugus OH dan heteroatom yang mana kedua penyalut ini berpotensi menghambat laju korosi dengan membentuk kompleks dengan logam sehingga

terbentuk lapisan pelindung di permukaan baja. Adapun rumusan masalah yang dihasilkan dari uraian di atas adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kadar air dan kelarutan enkapsul ekstrak Kulit Kakao menggunakan penyalut maltodekstrin-kitosan, serta stabilitas tanin yang terkandung berdasarkan rentang waktu tertentu?
2. Bagaimana pengaruh konsentrasi inhibitor dan waktu perendaman terhadap efisiensi inhibisi korosi pada baja lunak dalam larutan asam sulfat 0.75 M, air laut dan air gambut?
3. Bagaimana hasil karakterisasi morfologi permukaan pada baja sebelum dan sesudah ditambahkan enkapsul ekstrak Kulit Kakao?
4. Bagaimana hasil karakterisasi gugus fungsi ekstrak Kulit Kakao, enkapsul ekstrak Kulit Kakao formulasi terbaik, dan lapisan baja setelah direndam dengan media korosi yakni larutan asam sulfat 0.75 M, air laut dan air gambut berisi enkapsul ekstrak kulit kakao?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis kadar air dan kelarutan enkapsul ekstrak Kulit Kakao menggunakan penyalut maltodekstrin-kitosan, serta stabilitas tanin yang terkandung berdasarkan rentang waktu tertentu.
2. Menganalisis pengaruh konsentrasi inhibitor enkapsul ekstrak Kulit Kakao dan waktu perendaman terhadap laju korosi dan efisiensi inhibisi korosi pada baja lunak dalam larutan asam sulfat 0.75 M, air laut dan air gambut.
3. Menganalisis hasil karakterisasi morfologi permukaan pada baja sebelum dan sesudah ditambahkan enkapsul ekstrak Kulit Kakao.
4. Menganalisis hasil karakterisasi gugus fungsi ekstrak Kulit Kakao, enkapsul ekstrak Kulit Kakao formulasi terbaik, dan lapisan baja setelah direndam dengan media korosi larutan asam sulfat 0.75 M, air laut dan air gambut berisi enkapsul ekstrak kulit kakao.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pemanfaatan enkapsulasi ekstrak Kulit Kakao (*Theobroma Cacao* Linn.) dengan penyalut maltodekstrin-kitosan sebagai inhibitor korosi alami dalam larutan asam

sulfat, yang mana ekstrak Kulit Kakao (*Theobroma Cacao* Linn.) dilindungi menggunakan teknologi enkapsulasi agar senyawa aktif tidak teroksidasi dan menjaga stabilitas dari senyawa aktif tersebut serta dengan teknologi ini diharapkan penanganan bahan aktif menjadi lebih mudah. Selain itu, penelitian ini juga bermaksud meningkatkan potensi pemanfaatan dari tanaman Kakao (*Theobroma Cacao* Linn.), maltodekstrin dan kitosan sebagai alternatif inhibitor korosi alami dalam menanggulangi permasalahan korosi pada baja.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Landasan Teori

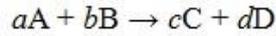
2.1.1. Baja

Baja banyak diaplikasikan sebagai alat perkakas seperti poros, bahan pasak dan sebagainya, untuk itu diharapkan memiliki kekuatan dan ketangguhan yang baik, agar pada saat digunakan dapat menahan beban dan bertahan lama dalam waktu pengoperasian (Khumaidah et al., 2019). Baja memiliki unsur yang meliputi besi (Fe) dan karbon (C) dengan sedikit tambahan unsur Si, P, Mn, S dan Cu. Unsur-unsur pada paduan diberikan dengan tujuan untuk memperbaiki atau memberi sifat yang sesuai dengan yang diinginkan (Raudatul Jannah et al., 2021). Walaupun baja memiliki beberapa kelebihan, namun kandungan asam-asam mineral dengan reaktifitas yang cukup tinggi dapat menyebabkan terjadinya korosi.

a. Pengertian Korosi

Korosi adalah salah satu proses perusakan material khususnya logam, akibat terjadinya reaksi logam tersebut dengan lingkungannya (Khumaidah et al., 2019). Korosi dapat juga diartikan sebagai serangan yang merusak logam karena logam bereaksi secara kimia atau elektrokimia dengan lingkungan. Proses korosi terjadi secara alamiah yaitu logam kembali bersenyawa dengan oksigen sebagaimana bahan baku (ores) pada proses ekstraksi metalurgi pembuatan logam yang juga bersenyawa dengan oksigen. Sehingga korosi adalah kebalikan dari proses ekstraksi metallurgy dimana sejumlah energi yang dibutuhkan untuk proses pembuatan logam kembali dilepaskan pada proses korosi.

Hal – hal yang mempengaruhi terjadinya korosi yakni temperature, pH, kadar oksigen dan kelembaban udara (Utomo, 2009). Faktor-faktor tersebut berkaitan dengan laju reaksi, laju reaksi adalah perubahan konsentrasi dari reaktan ataupun produk per satu satuan waktu. Untuk reaksi dengan reaktan A dan B menghasilkan produk C dan D seperti pada rumus persamaan reaksi berikut, seiring waktu jumlah molekul reaktan A dan B akan berkurang dan jumlah molekul produk C dan D akan bertambah, dan rumus laju reaksi (v) yaitu:



$$\frac{\Delta[A]}{\Delta t} = \frac{[A]_2 - [A]_1}{t_2 - t_1}, \text{ di mana } t_2 > t_1$$

$$v = -\frac{1}{a} \frac{\Delta[A]}{\Delta t} = -\frac{1}{b} \frac{\Delta[B]}{\Delta t} = +\frac{1}{c} \frac{\Delta[C]}{\Delta t} = +\frac{1}{d} \frac{\Delta[D]}{\Delta t}$$

Tanda negatif pada laju perubahan konsentrasi reaktan A dan B (reaktan) ditujukan agar nilainya positif, sebagaimana laju reaksi adalah besaran yang nilainya harus selalu positif. Satuannya adalah $M s^{-1}$ atau $mol L^{-1} s^{-1}$.

Hukum laju untuk reaksi yang melibatkan reaktan A, B...dst dapat ditulis:

$$\text{laju, } v = k[A]^x[B]^y \dots$$

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa laju reaksi (v) dipengaruhi oleh konsentrasi reaktan $[A]$ dan $[B]$, serta konstanta laju reaksi (k) dan orde reaksi (x dan y). Orde reaksi menunjukkan seberapa besar pengaruh perubahan konsentrasi reaktan terhadap laju reaksi.

Terkait dengan faktor yang mempengaruhi laju reaksi, ada salah satu teori yang menjelaskan tentang proses terjadinya reaksi, yakni teori tumbukan. Menurut teori ini, suatu reaksi kimia dapat terjadi apabila molekul-molekul reaktan bertumbukan satu sama lain dengan orientasi yang tepat dan memiliki energi yang cukup. Pada teori tumbukan, syarat yang harus dipenuhi agar suatu reaksi kimia dapat terjadi adalah:

1. Molekul-molekul harus saling bertumbukan (berinteraksi)
2. Molekul-molekul yang bertumbukan memiliki energi yang cukup, melebihi energi aktivasi (E_a) dari reaksi yang akan dijalani
3. Molekul-molekul yang bertumbukan harus pada orientasi yang tepat

Penjelasan mengenai faktor yang memengaruhi laju korosi yakni:

- Temperatur, semakin tinggi temperature maka reaksi kimia akan semakin cepat sehingga korosi akan semakin cepat terjadi. Temperatur yang lebih tinggi akan menyebabkan molekul-molekul lebih cepat dan bergerak, sehingga menyebabkan molekul-molekul akan lebih sering bertumbukan dan memiliki energi yang lebih tinggi agar reaksi kimia dapat terjadi. Temperatur yang lebih tinggi akan membuat laju reaksi menjadi lebih besar. Hal ini sesuai dengan

Persamaan Arrhenius, yang dirumuskan oleh Svante Arrhenius, menyatakan hubungan antara konstanta laju reaksi (k) dan suhu (T) yakni $k = Ae^{-Ea/RT}$. Dimana, k : adalah konstanta laju reaksi (dalam konteks ini, laju korosi), A : adalah faktor pre-eksponensial atau faktor frekuensi (tergantung pada frekuensi tumbukan antar partikel reaktan), Ea : adalah energi aktivasi (energi minimum untuk memulai reaksi), R : adalah konstanta gas ideal, T : adalah suhu dalam Kelvin

Dari persamaan tersebut, dapat dilihat bahwa Semakin tinggi suhu (T), maka semakin kecil nilai Ea/RT (karena T ada di penyebut), sehingga nilai eksponensialnya $e^{-Ea/RT}$ akan semakin besar.

Karena konstanta laju (k) berbanding lurus dengan nilai eksponensial tersebut, maka semakin tinggi suhu, semakin besar pula konstanta laju reaksi (k), yang berarti laju korosi semakin cepat.

Dengan kata lain, kenaikan suhu akan meningkatkan energi kinetik partikel-partikel yang terlibat dalam reaksi korosi, sehingga kemungkinan terjadinya tumbukan yang efektif (tumbukan yang menghasilkan reaksi) akan lebih besar. Hal ini menyebabkan laju korosi meningkat.

2. Konsentrasi Bahan Korosif, Hal ini berhubungan dengan pH atau tingkat keasaman dan kebasaan suatu larutan. Semakin rendah nilai pH (semakin asam) suatu lingkungan, maka semakin tinggi konsentrasi ion hidrogen (H^+), dan semakin tinggi laju korosi pada logam. Ion hidrogen (H^+) dalam larutan asam dapat bereaksi dengan logam, menyebabkan proses oksidasi dan akhirnya korosi. Semakin tinggi konsentrasi H^+ , semakin banyak ion H^+ yang tersedia untuk bereaksi dengan logam, sehingga laju korosi meningkat. Hal ini sesuai dengan persamaan laju reaksi $v = k[A]^x[B]^y$, menunjukkan bahwa laju reaksi (dalam hal ini, laju korosi) berbanding lurus dengan konsentrasi reaktan (dalam hal ini, ion hidrogen).
3. Kadar Oksigen, semakin tinggi kadar oksigen pada suatu tempat maka reaksi oksidasi akan mudah terjadi sehingga akan mempengaruhi laju reaksi korosi. Hal ini berhubungan dengan konsentrasi. Semakin tinggi konsentrasi reaktan, semakin banyak jumlah partikel reaktan yang bertumbukan, sehingga semakin tinggi frekuensi terjadinya tumbukan dan lajunya meningkat. Hal ini sesuai

dengan persamaan laju reaksi $v = k[A]^x[B]^y$, menunjukkan bahwa laju reaksi (dalam hal ini, laju korosi) berbanding lurus dengan konsentrasi reaktan (dalam hal ini, oksigen).

4. Kelembaban udara Kelembaban udara disekitar material akan mengakibatkan terjadinya korosi. Semakin tinggi kelembaban udara pada lingkungan maka akan semakin cepat laju korosi yang terjadi pada material. Hal ini berhubungan dengan konsentrasi. Semakin tinggi konsentrasi reaktan, semakin banyak jumlah partikel reaktan yang bertumbukan, sehingga semakin tinggi frekuensi terjadinya tumbukan dan lajunya meningkat. Dalam reaksi korosi besi di udara, laju reaksi korosi besi lebih tinggi pada udara yang kelembabannya lebih tinggi (konsentrasi reaktan H₂O tinggi). Hal ini sesuai dengan persamaan laju reaksi $v = k[A]^x[B]^y$, menunjukkan bahwa laju reaksi (dalam hal ini, laju korosi) berbanding lurus dengan konsentrasi reaktan (dalam hal ini, H₂O).

Pada penelitian ini menggunakan beberapa media korosi yakni:

A. Air Gambut

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki luas lahan gambut terbesar di dunia yaitu 10,8% dari luasan daratan Indonesia (14.9 juta ha). Provinsi Jambi sendiri memiliki lahan gambut ke-3 terluas di pulau Sumatera yakni mencapai 736.227,20 HA atau sekitar 14% dari luas Provinsi Jambi (Nurjanah et al., 2013). Proses pembentukan gambut dimulai dari adanya danau dangkal yang secara perlahan ditumbuhi oleh tanaman air dan vegetasi lahan basah. Tanaman yang mati dan melapuk secara bertahap membentuk lapisan yang kemudian menjadi lapisan transisi antara lapisan gambut dengan substratum (lapisan di bawahnya) berupa tanah mineral. Tanaman berikutnya tumbuh pada bagian yang lebih tengah dari danau dangkal ini dan membentuk lapisan-lapisan gambut sehingga danau tersebut menjadi penuh (Pandjaitan dan Hardjoamidjojo, 1999). Air gambut mempunyai ciri-ciri yaitu intensitas warna yang tinggi (berwarna coklat kemerahan), keasamannya tinggi (pH yang rendah), kandungan zat organik yang tinggi, kekeruhan dan kandungan partikel tersuspensi yang rendah dan kandungan kation yang rendah. Warna merah kecoklatan pada air gambut merupakan akibat dari tingginya kandungan zat organik (bahan humus) terlarut terutama dalam bentuk asam humus dan turunannya. Asam humus tersebut berasal dari

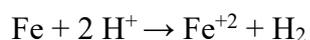
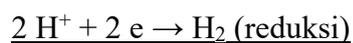
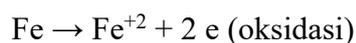
dekomposisi bahan organik seperti daun, pohon, atau kayu dengan berbagai tingkat dekomposisi. Air gambut digunakan sebagai media korosif pada penelitian ini karena bersifat asam dengan pH sekitar 3 – 6 dan mengandung senyawa organik dan anorganik seperti asam humat (AH), asam fulvat (AF), anion seperti Cl^- dan SO_4^{2-} serta mengandung kation seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} dan K^+ (Alif et al., 2003).

B. Air Laut

Faktor lingkungan menyebabkan bahan logam mengalami korosi. Pada lingkungan air laut korosi dapat terjadi karena adanya sifat kimia air laut seperti salinitas air laut yang dapat mempengaruhi laju korosi dengan berbagai konstituen dan sifat korosinya. Di dalam air laut terkandung ion kalsium dan magnesium klorida sebagai penyebab korosi pada baja. Faktor-faktor seperti lingkungan basah dengan nilai pH asam, salinitas air laut, dan konsentrasi ion klorida mempercepat laju korosi. Logam rentan terhadap korosi oleh elektrolit yang mempercepat laju korosi. Dengan demikian, semakin tinggi salinitas air laut dan semakin tinggi kandungan klorida, semakin cepat laju korosi. Degradasi dan penurunan berat material logam akan lebih cepat karena keberadaan klorida mempercepat reaksi. Tidak hanya salinitas yang akan mempengaruhi laju korosi, sifat kimia air laut yang lain (seperti pH) juga sangat berperan pada laju korosi logam. pH yang rendah dapat meningkatkan laju korosi pada logam (Febryani et al., 2024).

C. Asam Sulfat

Asam sulfat bersifat sangat korosif. Asam sulfat sebagai zat pengoksidator kuat mengakibatkan logam Fe teroksidasi menjadi Fe^{+2} yang tidak stabil yang dapat bereaksi dengan ion hidroksil yang bermuatan negatif yang diperoleh dari reaksi disosiasi air membentuk ferihidroksida yang dapat bereaksi kembali dengan ion Fe^{+2} menghasilkan endapan ferosoferioksida (Fe_3O_4) yang berwarna kuning kemerahan yang bersifat magnetik, yang dapat dijelaskan dengan reaksi berikut:



Selanjutnya,



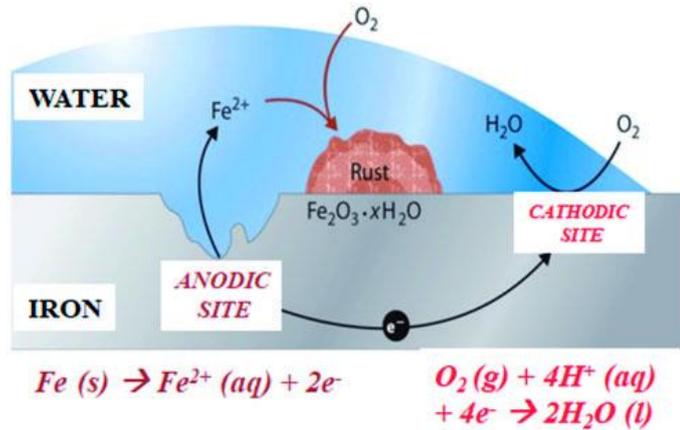


Dari reaksi diatas dapat dijelaskan bahwa semakin besar konsentrasi asam sulfat maka semakin banyak atom-atom yang terlepas dari besi sehingga kecepatan korosi semakin besar (Gusti, 2011). Proses reaksi oksidasi dari logam besi terjadi pada fase ferrite sedangkan proses reaksi reduksi dari gas hidrogen terjadi pada fasa cementite di dalam baja karbon. Pada saat berkontak dengan larutan asam sulfat terjadi proses difusi dari ion hidrogen menuju permukaan baja karbon melalui pori-porinya. Ion hidrogen pada permukaan katoda tereduksi menghasilkan gas hidrogen dan permukaan besi teroksidasi membentuk senyawa ferrous sulfat dengan mekanisme reaksi sebagai berikut: $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Fe} \rightarrow \text{FeSO}_4 + \text{H}_2$

Lapisan FeSO_4 tersebut akan menempel permukaan baja karbon dan membentuk lapisan proteksi terhadap korosi lebih lanjut. Namun adanya reaksi pembentukan gas hidrogen yang relatif cepat dalam bentuk gelembung gas menyebabkan lapisan proteksi yang telah terbentuk pada permukaan logam berpindah pada fase *bulk liquid*. Hal tersebut menyebabkan semakin pekat asam maka laju korosi pada larutan asam semakin meningkat (Setiawan et al., 2019).

b. Proses Terjadinya Korosi

Proses terjadinya korosi pada suatu logam membentuk suatu sel elektrokimia yang terdiri dari: anoda, katoda, larutan elektrolit dan hubungan listrik antara anoda dan katoda. Ada beberapa macam tatacara pengendalian korosi yaitu pemilihan bahan yang tepat, perancangan instalasi yang benar, pelapisan atau rekayasa permukaan, proteksi katodik dan pengondisian lingkungan. Maka kemampuan seorang perancang dalam memahami proses terjadinya korosi akan menentukan jenis pengendalian korosi yang sesuai, oleh karena prinsip terjadinya korosi dipicu oleh hal yang hampir sama, sehingga ke 5 jenis metode pengendalian korosi tersebut sering digunakan secara parallel satu dengan lainnya untuk efisiensi biaya (Yunus, 2019). Korosi merupakan reaksi elektrokimia yang terdiri dari dua reaksi setengah sel (*half cell reaction*), yaitu reaksi anodik atau oksidasi yang melepaskan elektron dan reaksi katodik atau reduksi yang menerima elektron. Umumnya ada 3 reaksi katodik yang terjadi, yaitu: reduksi oksigen (cepat), pelepasan hidrogen dari air netral (lambat), dan pelepasan hidrogen dari asam (cepat).



Gambar 1. Proses Terjadinya Korosi (Radhamani et al., 2020)

Gambar 1 merupakan proses terjadinya korosi. Mekanisme yang terjadi yakni :

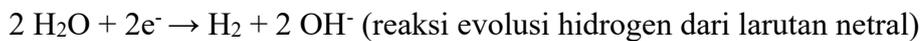
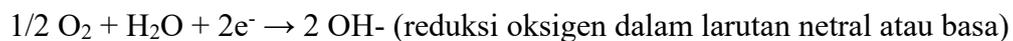
1) Reaksi anodik :



M = Metal atau logam.

n = Sejumlah elektron yang dilepaskan oleh atom dalam logam.

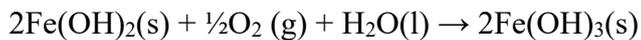
2) Reaksi katodik :



Menurut (Afdhal et al., 2019), mekanisme reaksi korosi yang terjadi pada besi (Fe) dituliskan sebagai berikut:



Fero hidroksida $[Fe(OH)_2]$ yang terjadi merupakan hasil sementara yang dapat teroksidasi secara alami oleh air dan udara menjadi feri hidroksida $[Fe(OH)_3]$, sehingga mekanisme reaksi selanjutnya adalah :



Feri hidroksida $(Fe(OH)_3)$ yang terbentuk akan mengalami perubahan menjadi Fe_2O_3 yang berwarna merah kecoklatan atau yang biasa disebut dengan karat, reaksinya adalah:



Peristiwa korosi dapat terjadi dimana saja dan kapan saja. Dari peristiwa korosi yang biasa terjadi, dapat menimbulkan kerusakan yang mengakibatkan kerugian baik secara keamanan maupun perekonomian.

2.1.2. Kakao

Kakao (*Theobroma cacao* L.) atau dikenal sebagai coklat merupakan salah satu komoditas unggulan Indonesia yang memiliki keragaman tinggi. Salah satu penyebab perbedaan karakter tanaman dapat disebabkan oleh kondisi lingkungan, misalnya ketinggian tempat, intensitas cahaya, letak geografis, iklim, suhu, kelembaban udara, jenis tanah, kondisi tanah, dan tingkat kesuburan tanah (Farhanandi & Indah, 2022).

Klasifikasi tanaman kakao menurut Bhattacharjee & Akoroda (2018) yakni:

Domain: *Eukaryota*

Kingdom: *Plantae*

Subkingdom: *Tracheobionta* (Tumbuhan Berpembuluh)

Superdivisi: *Spermatophyta* (Tumbuhan Berbiji)

Divisi: *Magnoliophyta* (Tumbuhan Berbunga)

Phylum: *Spermatophyta*

Subphylum: *Angiospermae*

Kelas: *Magnoliopsida* (Dicotyledons)

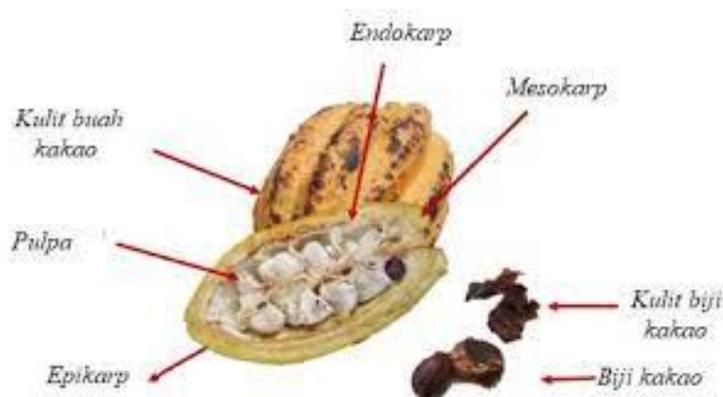
Subclass : *Dilleniidae*

Ordo: *Malvales*

Famili: *Malvaceae/Sterculiaceae*

Genus: *Theobroma*

Spesies: *Theobroma cacao*



Gambar 2. Buah kakao yang telah masak (Yuliani & Fauzana, 2020)

Gambar 2 merupakan bagian-bagian dari buah kakao. Dapat dilihat pada gambar bahwa, kulit buah kakao dideskripsikan sebagai bahan pelapis alami yang terdiri dari tiga lapisan berbeda yaitu epikarp (perikarp luar), mesokarp (perikarp tengah) dan endokarp (perikarp bagian dalam). Pemanfaatan tanaman kakao hanya sebatas pada biji buah kakao yang dapat diolah menjadi makanan dan bernilai ekonomis. Semakin banyak olahan biji kakao maka akan menghasilkan limbah kulit kakao sebagai limbah biomassa terbanyak. Limbah pertanian yang tidak terpakai akan menghasilkan bau busuk yang dapat menjadi polusi udara, sehingga perlu ada pemanfaatan limbah kulit buah kakao. Kulit buah kakao merupakan hasil samping dari perkebunan yang tidak dimanfaatkan secara optimal. Pengelolaannya masih sebatas pada pakan ternak, pupuk kompos, arang dan asap cair. Hasil uji kualitatif komponen aktif dari ekstrak kulit buah kakao, ternyata mengandung tannin, polifenol, flavonoid, alkaloid dan saponin (Afdhal et al., 2019)

Tabel 1. Hasil Uji Fitokimia Ekstrak kulit kakao (Herman et al., 2020)

Jenis Pengujian	Hasil Uji
Alkaloid	+
Flavonoid	+
Fenolik	+
Tanin	+
Saponin	+
Steroid/ Triterpenoid	-

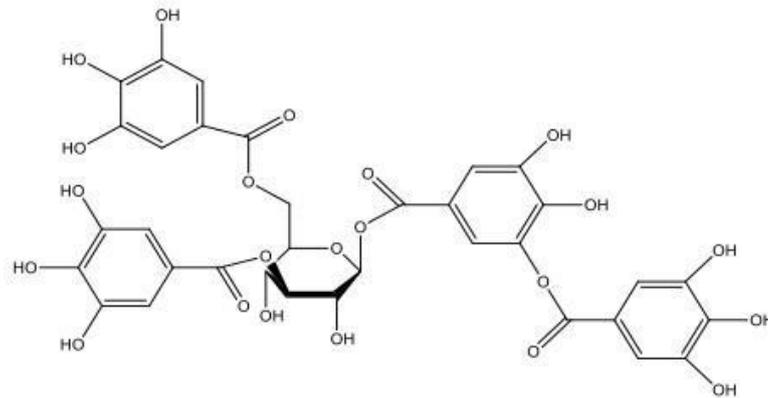
Keterangan : + (mengandung senyawa aktif)
- (tidak mengandung senyawa aktif)

Berdasarkan Tabel 1, menunjukkan bahwa ekstrak kulit buah kakao positif mengandung senyawa metabolit sekunder seperti Alkaloid, fenolik, flavonoid, saponin, dan tanin. Sedangkan untuk senyawa triterpenoid dan steroid menunjukkan hasil yang negatif.

Tanin

Tanin adalah senyawa kimia yang diklasifikasikan sebagai senyawa polifenol. Tanin secara alami dapat larut dalam air dan memberi warna yang bervariasi dari terang sampai merah tua atau coklat, karena setiap turunan tanin mempunyai warna yang berbeda, tergantung sumbernya (Kurniawan & Zahra, 2021).

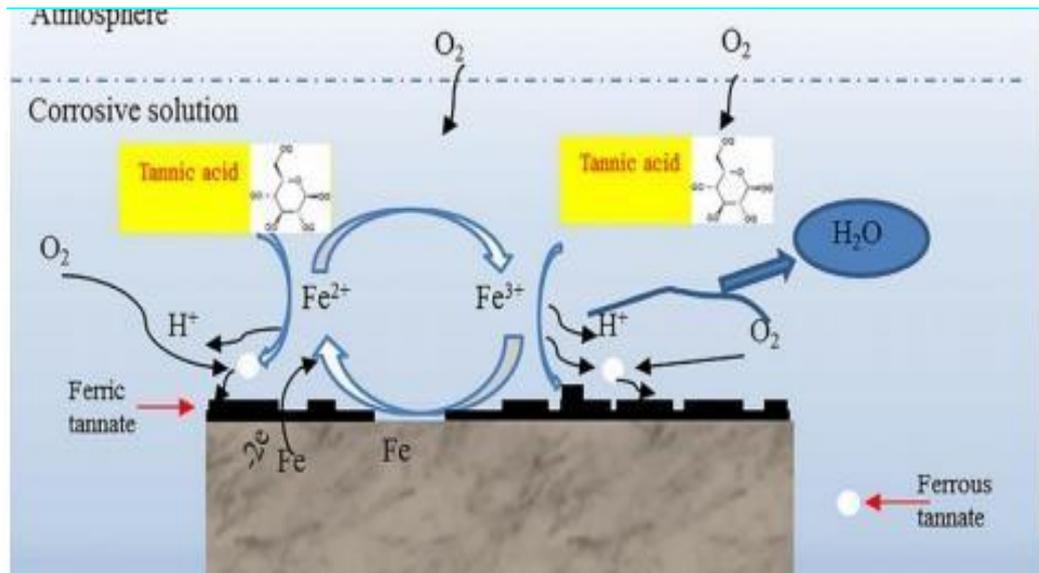
Tanin merupakan bahan alam yang tidak beracun, biodegradable, dan merupakan senyawa organik ramah terhadap lingkungan. Tanin terdapat di bagian dalam seperti pada daun, buah, kulit, dan kayu dalam tanaman (Xu et al., 2019). Berikut ini merupakan struktur kimia dari tanin digambarkan pada Gambar 3.



Gambar 3.Struktur Tanin

Tanin merupakan senyawa organik yang terdiri dari campuran senyawa polifenol kompleks, dibangun unsur C, H, dan O serta sering membentuk molekul besar dengan berat molekul lebih besar (Nofita & Rahmat, 2021). Tanin dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis berdasarkan bentuknya yaitu *hydrolyzable tannin* (tanin terhidrolisis) dan *condensed tannin* (tanin terkondensasi) (Iriany et al., 2017). Sifat kimia tanin yakni memiliki gugus fenol dan bersifat koloid, karena itu di dalam air bersifat koloid dan asam lemah. Tanin dapat larut dalam air. Kelarutannya besar, dan akan bertambah besar apabila dilarutkan dalam air panas. Begitu juga tanin akan larut dalam pelarut organik seperti metanol, etanol, aseton dan pelarut organik lainnya. Sifat fisik tanin umumnya tanin mempunyai berat molekul tinggi dan cenderung mudah dioksidasi menjadi suatu polimer, sebagian besar tanin bentuknya amorf dan tidak mempunyai titik leleh. tanin berwarna putih kekuning-kuningan sampai coklat terang, tergantung dari sumber tanin tersebut. Tanin berbentuk serbuk atau berlapis-lapis seperti kulit kerang, berbau khas dan mempunyai rasa sepat (Nofita & Rahmat, 2021).

Dalam proses pelapisan baja dengan menggunakan tanin sebagai inhibitor, tanin membentuk senyawa kompleks dengan ion Fe menjadi Fe-tanat. Senyawa kompleks Fe-tanat akan menjadi pelindung bagi logam Fe saat kontak langsung dengan air (Xu et al., 2019). Mekanisme inhibisi korosi oleh senyawa kompleks Fe-tanat dapat terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Mekanisme proses inhibisi Korosi (Xu et al., 2019)

Pada gambar 4, Asam tanat akan menurunkan pH dan membentuk kompleks dengan besi yang menempel di permukaan. Adapun pelarutan besi karbon anodik, oksidasi terjadi dari Fe menjadi Fe^{2+} pada awalnya terlibat. Kemudian, oksidasi Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} oleh oksigen. Fe^{3+} direduksi menjadi ion Fe^{2+} melalui kontak dengan logam besi di pori-pori sehingga muncul perubahan warna (Rochmat et al., 2019).

Asam tanat bekerja pada ion besi yang tersedia dalam tiga cara. Pertama, tanin dapat membentuk senyawa kompleks dengan ion Fe^{2+} menjadi ferrotanat, yang mudah teroksidasi menjadi ferri tannat jika ada kehadiran oksigen. Kedua, tanin dapat bereaksi langsung dengan ion Fe^{3+} membentuk ferri tannat. Ketiga, karena kemampuan sifat reduksi dari tanin, Fe_2O_3 dapat direduksi menjadi ion - ion Fe^{2+} (Xu et al., 2019). Ferro-tanat dapat secara langsung direduksi menjadi ferri-tanat ketika kontak dengan O_2 dan air.

2.1.3. Inhibitor Korosi

Inhibitor korosi merupakan suatu zat yang ditambahkan dalam jumlah yang sedikit ke lingkungan korosif, sehingga dapat mengurangi tingkat laju dari berjalannya korosi yang disebabkan oleh lingkungan. Inhibitor korosi ini merupakan salah satu pengendalian korosi secara penerapan pelapisan. Pelapisan yang mampu mengontrol reaksi anodic pada permukaan logam yang dilindunginya adalah bahan-bahan yang mengandung pigmen yang mengendalikan melalui

pembentukan *coating-inhibitive chemicals* (inhibitor). Mengingat bahwa proses pelapisan pada hakikatnya adalah melapiskan suatu material lain ke atas permukaan material lainnya, maka tingkat keberhasilan dari suatu proses pelapisan sangat tergantung pada kondisi permukaan yang akan dilapisi. Salah satu persyaratan dari permukaan yang akan dilapisi adalah harus bebas dari debu, pelumas, lemak, terak, produk korosi (karatan), sisa logam pelapis, dan cacat permukaan. Tahapan mengkondisikan permukaan yang akan dilapisi lazim disebut dengan tahapan penyiapan permukaan (*surface preparation*). Penyiapan permukaan biasanya terdiri dari tahapan pembersihan dan kadangkadang dilanjutkan dengan tahapan pengkasaran permukaan (*roughning*) (Yunus, 2019).

Mayoritas inhibitor korosi yang digunakan adalah senyawa organik yang mengandung atom nitrogen, oksigen dan sulfur. Inhibitor yang mempunyai dua atau lebih ikatan rangkap juga mengambil bagian penting dalam memfasilitasi adsorpsi senyawa ini ke permukaan logam, karena ikatan dapat terbentuk antara pasangan elektron dan atau awan elektron atom donor dan permukaan logam sehingga mengurangi serangan zat korosif pada media asam (Afdhal, 2019).

Pada umumnya, inhibitor organik terbuat dari berbagai ekstrak tumbuhan. Salah satu kandungan dari ekstrak bahan alam yang dapat digunakan menjadi inhibitor korosi adalah tanin. Tanin mempunyai kemampuan untuk membentuk senyawa kompleks dikarenakan memiliki unsur-unsur yang memiliki pasangan bebas dan memiliki fungsi sebagai pendonor elektron terhadap logam Fe^{2+} yang berfungsi sebagai inhibitor (Stiadi et al., 2019).

2.1.4. Inhibitor Alami

Senyawa organik alami dari ekstrak tumbuhan memiliki beberapa heteroatom dalam struktur molekulnya sehingga dapat berperan sebagai inhibitor. Penggunaan inhibitor adalah salah satu cara terbaik untuk melindungi logam dari korosi yang disebabkan oleh larutan asam. Dengan demikian, ekstrak tumbuhan menjadi penting sebagai sumber penghambat korosi efektif yang ramah lingkungan, ekonomis, mudah tersedia dan terbarukan. Green inhibitor merupakan inhibitor yang terbuat dari bahan organik atau tanaman yang diekstraksi. Senyawa organik dengan gugus fungsi yang mengandung atom nitrogen, sulfur dan oksigen yang biasanya digunakan sebagai inhibitor korosi (Stiadi et al., 2019). Pada

penelitian sebelumnya, telah banyak memanfaatkan ekstrak tumbuhan sebagai inhibitor alami seperti ekstrak biji alpukat (*Persea americana mill*) (Gusti et al., 2019), ekstrak daun ketapang (Rochmat et al., 2019), ekstrak buah pinang (*Areca catechu L.*) (Khumaidah et al., 2019) dan ekstrak kulit buah manggis (*Garcinia mangostana L.*) (Sudiarti et al., 2019). Produk tanaman bersifat organik, dan beberapa penyusunnya termasuk tanin, asam organik dan asam amino, alkaloid, dan pigmen diketahui dapat menghambat korosi pada baja (Stiadi et al., 2019).

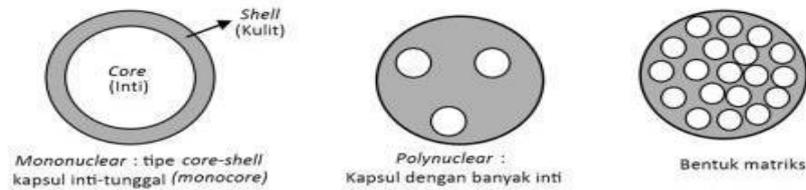
2.1.5. Ekstraksi

Ekstraksi merupakan proses pemisahan senyawa dari simplisia dengan menggunakan pelarut yang sesuai. Metode pemisahan ekstraksi menggunakan prinsip kelarutan *like dissolve like* dimana suatu pelarut polar akan melarutkan senyawa polar dan pelarut nonpolar akan melarutkan senyawa nonpolar. Tujuan ekstraksi yaitu untuk menarik atau memisahkan senyawa dari simplisia atau campurannya (Syamsul et al., 2020). Pemilihan metode ekstraksi sangat penting dilakukan karena hasil ekstraksi akan mencerminkan tingkat keberhasilan metode tersebut. Pemilihan metode dilakukan dengan memperhatikan senyawa, pelarut yang digunakan serta alat yang tersedia. Metode ekstraksi yang umum digunakan adalah maserasi dan refluks (Syamsul et al., 2020).

2.1.6. Enkapsulasi

Enkapsulasi adalah suatu proses pelapisan suatu bahan menggunakan bahan lainnya (Agustin & Wibowo, 2021). Lapisan tipis tersebut dapat melindungi dari kebusukan, mengurangi penguapan komponen aktif, dan menghindari dari kondisi yang tidak diinginkan. Proses ini juga berguna untuk melindungi bahan aktif dari proses oksidasi, menghindari kontak dengan udara dan aroma yang tidak diinginkan, mengurangi reaktivitas senyawa bahan aktif dari berbagai faktor lingkungan yang dapat menyebabkan kerusakan seperti oksigen, panas dan cahaya serta meningkatkan stabilitas dan daya simpan (RiauWati et al., 2020). Enkapsul dapat memiliki bentuk berupa bola, persegi panjang ataupun tak beraturan. Struktur utama dari enkapsul terdiri dari inti dan penyalut. Bahan inti merupakan bahan yang ada di dalam kapsul yang sering disebut materi inti, bahan aktif, pengisi, dan fasa internal. Bahan penyalut merupakan bahan yang melapisi

bagian inti sering disebut pelapis, kulit, membran, dinding bahan, fase luar atau matrik. Beberapa tipe dari enkapsul dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 5. Tipe Enkapsul (Agustin & Wibowo, 2021)

Gambar 5 merupakan 3 tipe umum enkapsul yaitu enkapsul satu inti (single core), enkapsul banyak inti (multiple core) dan tipe matriks. Enkapsul dengan satu inti biasanya memiliki muatan inti yang tinggi, misalnya 90% dari total berat enkapsul. Sedangkan enkapsul dengan struktur banyak inti biasanya memiliki persentasi pelapis hingga 70% dari berat kapsul. Sementara tipe matriks memiliki inti yang terdispersi secara merata pada dindingnya. Bahan pelapis ini akan rusak secara mekanik (pengunyahan, pemanasan, dan pelarut), perubahan pH, enzim, serta sifat fisik dan kimia dari bahan inti (kelarutan, difusivitas, tekanan uap, dan koefisien partisi) dan pelapis (seperti ketebalan, porositas dan kemampuan bereaksi) sehingga bahan inti akan terlepas (Agustin & Wibowo, 2021).

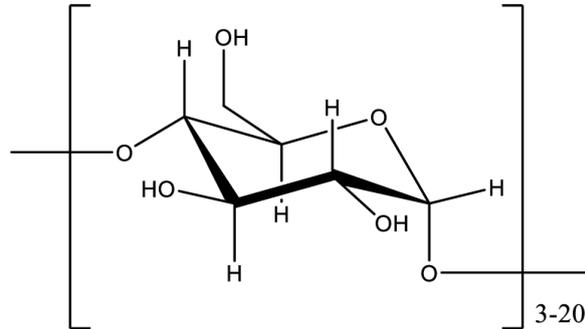
Bahan-bahan pelapis yang dapat digunakan dalam proses enkapsulasi harus memiliki syarat yang diantaranya yaitu dapat memberikan lapisan tipis yang bersifat kohesif dengan bahan inti, stabilitas pada bahan inti, tidak higroskopis dan tidak bereaksi dengan bahan inti, mampu melapisi bahan inti secara kuat, keras dan fleksibel, mampu terlepas dibawah kondisi tertentu, dan ekonomis. Bahan penyalut yang umum digunakan sebagai enkapsulan dapat berasal dari gum, karbohidrat, dan protein seperti susu skim, laktosa, sukrosa, maltodekstrin, alginat, gum arab, pati, agar, gelatin, karagenan, albumin, dan kasein. Bahan penyalut merupakan bahan yang digunakan untuk melapisi bahan inti dengan tujuan tertentu seperti menutupi rasa dan bau yang tidak enak, perlindungan terhadap pengaruh lingkungan, meningkatkan stabilitas, dan mencegah penguapan (Agustin & Wibowo, 2021).

2.1.7. Bahan Penyalut Enkapsulasi

a. Maltodekstrin

Maltodekstrin adalah produk hidrolisis pati yang mengandung unit α -D-glukosa yang sebagian besar terikat melalui ikatan 1,4 glikosidik (Saloko et al.,

2021). Maltodekstrin didefinisikan sebagai produk hidrolisat pati (polisakarida tidak manis) yang diproduksi dengan hidrolisis terkontrol menggunakan enzim α -amilase atau asam (Hartini et al., 2023). Struktur maltodekstrin yakni :



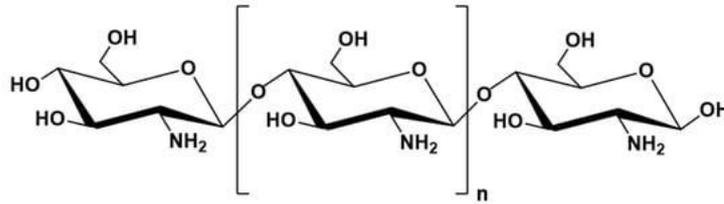
Gambar 6. Struktur Maltodekstrin (Guntero et al., 2021)

Gambar 6 merupakan struktur molekul maltodekstrin, yang merupakan polisakarida yang terbuat dari beberapa unit glukosa yang terhubung satu sama lain. Maltodekstrin merupakan produk hidrolisis pati yang mengandung unit α -D-glukosa yang sebagian besar terikat melalui ikatan 1,4 glikosidik dengan DE kurang dari 20. Maltodekstrin merupakan campuran dari glukosa, maltosa, oligosakarida dan dekstrin. Maltodekstrin biasanya dideskripsikan oleh DE (*Dextrose Equivalent*). Maltodekstrin dengan DE yang rendah bersifat non-higroskopis, sedangkan maltodekstrin dengan DE tinggi cenderung menyerap air. Maltodekstrin memiliki berat molekul yang rendah yaitu kurang dari 4000, titik leleh yaitu 240 °C dan memiliki struktur yang sederhana (Saloko et al., 2021). Maltodekstrin banyak digunakan karena mudah ditemukan dan mudah dalam penanganan proses, dapat mengalami dispersi yang cepat, memiliki kelarutan yang tinggi, mampu membentuk matriks, kemungkinan terjadi pencoklatan rendah, mampu menghambat kristalisasi, memiliki daya ikat kuat, viskositas rendah, dan stabil pada emulsi minyak dan air. Maltodekstrin memiliki kemampuan menghambat reaksi oksidasi sehingga kapsul memiliki umur simpan yang baik (Yuliyati et al., 2020).

b. Kitosan

Kitosan merupakan hasil diasetilasi kitin, keunggulan kitosan adalah termasuk bahan alami, kitosan mempunyai muatan positif yang kuat yang dapat mengikat muatan negatif dari senyawa lain atau berperan sebagai detoksifikasi,

menghambat pertumbuhan bakteri, serta mudah mengalami degradasi secara biologis dan tidak beracun (Saloko et al., 2021).



Gambar 7. Struktur Kitosan (El-banna et al., 2019)

Gambar 7 merupakan struktur kitosan yang merupakan polisakarida yang terdiri dari unit-unit N-glukosamin dan N-asetil-glukosamin yang dihubungkan oleh β -1,4 glikosida. Setiap unit glukosamin mengandung gugus amino ($-\text{NH}_2$) yang menggantikan gugus acetyl ($-\text{COCH}_3$) yang ada pada kitin. Proses deasetilasi kitin menghasilkan kitosan, yang meningkatkan kandungan kelompok amino bebas. Kitosan adalah polisakarida biodegradable hasil deasetilasi kitin yang ditemukan pada cangkang udang, kepiting dan kutikula serangga. Polimer ini dapat dimanfaatkan karena adanya heteroatom oksigen dan nitrogen dalam strukturnya membuat kitosan memenuhi syarat sebagai penghambat korosi pada logam. Kemampuan inhibisi kitosan dikarenakan fungsi dari struktur molekulnya, adanya gugus amino dan hidroksilnya yang kaya elektron mampu membentuk ikatan pada permukaan logam sehingga menghasilkan perlindungan korosi melalui koordinat ikatan karena elektron-elektron ini dilepaskan secara bebas ke orbital besi yang kosong atau terisi sebagian (Possani et al., 2021). Pemanfaatan kitosan dan turunannya sebagai inhibitor korosi yang efektif didasarkan pada fakta bahwa mereka mengandung beberapa gugus fungsi polar seperti amino ($-\text{NH}_2$), hidroksil Gugus ($-\text{OH}$) dan asetil ($-\text{COCH}_3$) yang efektif berikatan dengan permukaan logam dan berperilaku sebagai pusat adsorpsi (Verma et al., 2018).

2.1.8 Rancangan Percobaan

Menurut beberapa ahli, definisi dari rancangan percobaan adalah:

- a. Pola atau tata cara penerapan tindakan-tindakan (perlakuan dan nonperlakuan) dalam suatu percobaan pada kondisi/lingkungan tertentu yang kemudian menjadi dasar penataan dan metode analisis statistik terhadap data hasilnya disebut rancangan percobaan (experimental design)

- b. Perancangan percobaan merupakan langkah-langkah lengkap yang perlu diambil jauh sebelum eksperimen dilakukan agar data yang semestinya diperoleh sehingga akan membawa kepada analisis obyektif dan kesimpulan yang berlaku untuk persoalan yang sedang dibahas

Percobaan Faktorial dengan Rancangan Acak Kelompok

Rancangan Acak Kelompok (RAK) digunakan jika media percobaan dalam penelitian bersifat heterogen. Pengacakan dalam RAK dilakukan pada setiap kelompok secara terpisah, sehingga menghasilkan sumber keragaman tambahan, yaitu keragaman antar kelompok atau blok. Fungsi dari kelompok/blok sama dengan ulangan. Persamaan matematis RAK yaitu (Adinugraha & Wijyaningrum, 2017):

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

Keterangan:

$$i = 1, 2, \dots, p$$

$$j = 1, 2, \dots, k$$

Y_{ij} = pengamatan pada perlakuan ke- i ulangan ke- j

μ = rata-rata variabel respon

τ_i = pengaruh perlakuan ke- i

β_j = pengaruh kelompok ke- j

ϵ_{ij} = galat atau error dari perlakuan ke- i dan kelompok ke- j

Langkah-langkah pengujian dan analisis Rancangan Acak Kelompok (RAK) yaitu:

1. Menentukan hipotesis

Hipotesis yang diuji untuk pengaruh perlakuan yaitu:

$H_0 : \tau_i = 0$ (tidak ada pengaruh perlakuan terhadap respon)

H_1 : paling sedikit ada satu i dimana $\tau_i \neq 0$ (ada pengaruh perlakuan terhadap respon)

Hipotesis yang diuji untuk pengaruh kelompok yaitu:

$H_0 : \beta_1 = \dots = \beta_j = 0$ (tidak ada berpengaruh kelompok terhadap respon)

H_1 : paling sedikit ada satu j dimana $\beta_j \neq 0$ (ada berpengaruh kelompok terhadap respon)

2. Pengacakan

Tabel Pengamatan Rancangan Acak Kelompok ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengamatan Rancangan Acak Kelompok

Kelompok	Perlakuan				Total Kelompok ($Y_{..k}$)
	P1	P2	...	Pi	
1	Y_{11}	Y_{12}	...	Y_{i1}	$Y_{..1}$
2	Y_{12}	Y_{22}	...	Y_{i2}	$Y_{..2}$
...
k	Y_{1k}	Y_{2k}	...	Y_{ik}	$Y_{..k}$
Total Perlakuan ($Y_{i.}$)	$Y_{.1}$	$Y_{.2}$...	$Y_{.i}$	$Y_{...}$

Tabel 3. Tabel *Analysis of Variance* untuk Rancangan Acak Kelompok

Sumber Keragaman (SK)	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F-Hitung	F-Tabel
Kelompok	$k - 1$	JKK	KTK	$\frac{KTK}{KTG}$	F_{tabel}
Perlakuan	$p - 1$	JKP	KTP	$\frac{KTP}{KTG}$	
Galat	$(k - 1)(p - 1)$	JKG	KTG		
Total	$pk - 1$	JKT			

Untuk menguji ada tidaknya pengaruh perlakuan terhadap variabel respon, dapat dibandingkan nilai Fhitung dan Ftabel. Jika Fhitung > Ftabel atau nilai sig < α , berarti ada pengaruh perlakuan terhadap hasil pengamatan. Selanjutnya dilakukan uji DMRT (*Duncan Multiple Range Test*) pada taraf kepercayaan 95 % (Syilfi dan Rahmat, 2024).

2.1.9 Penelitian Terdahulu

Tabel 4. Penelitian Terdahulu

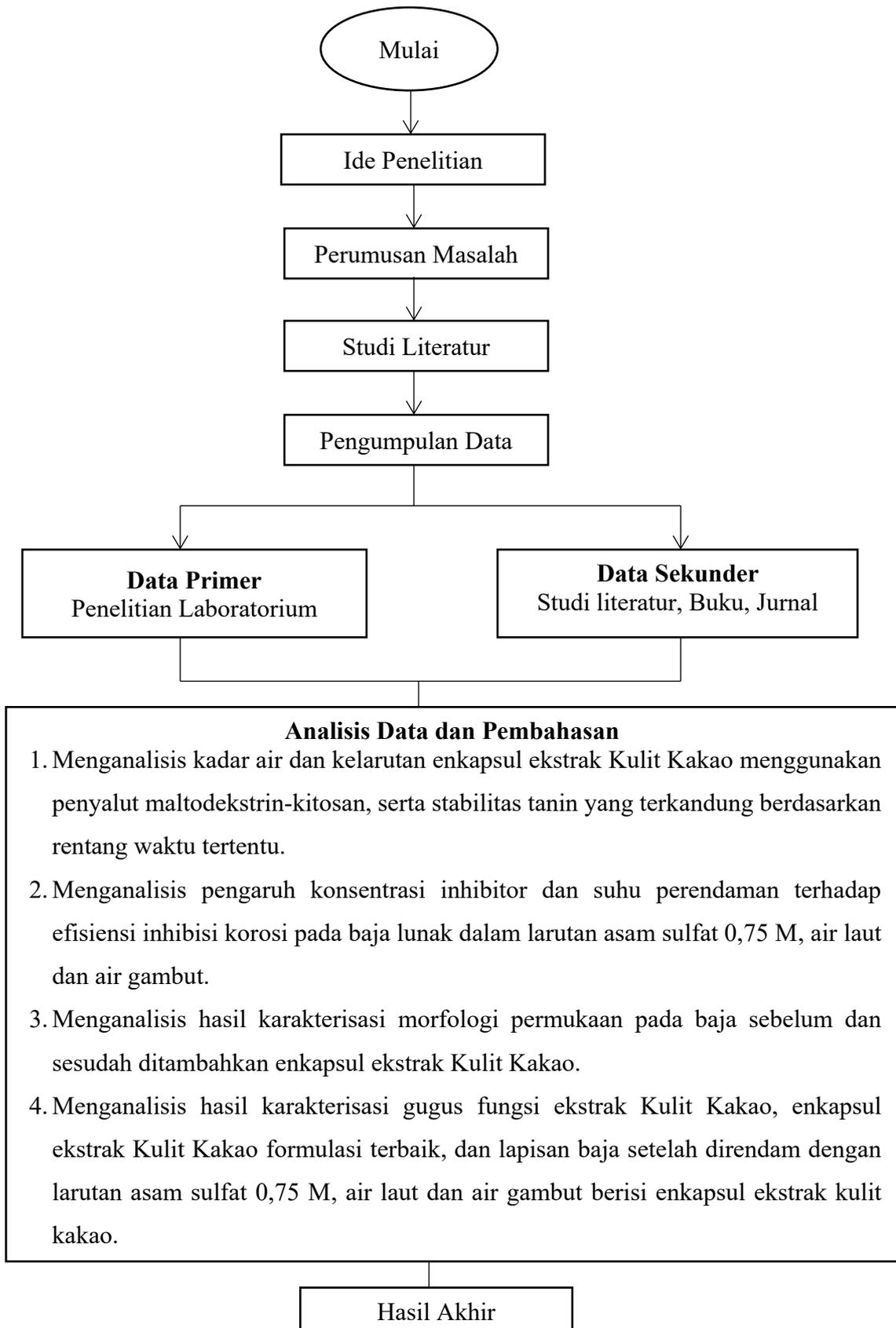
No	Penulis dan Judul	Metode	Hasil
1	Pemanfaatan Ekstrak Kulit Kakao Sebagai Aditif Cat Untuk Pengendalian Laju Korosi Pada Paku Konstruksi Kapal Kayu (Putra et al., 2018)	Ekstrak kulit buah kakao diperoleh dengan cara maserasi menggunakan pelarut etanol 97% dan pemekatan dengan evaporasi. Medium korosif Air laut dengan 3.26% HCl. Pengujian dilakukan dengan metode penurunan berat.	Penambahan ekstrak kulit kakao menunjukkan pengaruh signifikan terhadap laju korosi, hal ini karena kulit kakao mengandung senyawa metabolit sekunder salah satunya adalah tannin. Senyawa tanin dalam ekstrak dapat membentuk senyawa kompleks dengan Fe(III) di permukaan logam, sehingga laju reaksi

No	Penulis dan Judul	Metode	Hasil
			korosi akan mengalami penurunan.
2	Pemanfaatan Ekstrak Kulit Buah Kakao (<i>Theobroma Cacao</i>) Sebagai Inhibitor pada Proses Korosi Besi (Afdhal et al., 2019)	Ekstrak kulit buah kakao diperoleh dengan cara maserasi menggunakan pelarut metanol dan pemekatan dengan evaporasi. Medium korosif HCl 1 N dan air laut. Pengujian dilakukan dengan metode penurunan berat.	Hasil penelitian laju korosi pada besi menunjukkan bahwa ekstrak kulit buah kakao dapat digunakan sebagai inhibitor korosi besi. Laju korosi terendah tanpa penambahan inhibitor terjadi pada salinitas 10‰ dan pH 6. Sedangkan laju korosi terendah pada penambahan inhibitor ekstrak kulit buah kakao terjadi pada konsentrasi 1200 ppm dengan salinitas 20‰ dan pH 6
3	Pengaruh Penambahan Inhibitor Ekstrak Kulit Kakao (<i>Theobroma cacao</i>) Terhadap Laju Korosi Baja Api 5L Pada Medium NaCl 3% Dan HCl 3% (Mardova et al., 2018)	Ekstrak kulit buah kakao diperoleh dengan cara maserasi menggunakan pelarut etanol dan pemekatan dengan evaporasi. Medium korosif NaCl dan HCl. Pengujian dilakukan dengan metode penurunan berat.	semakin besar konsentrasi inhibitor ekstrak ekstrak kulit kakao yang digunakan maka laju korosi akan semakin berkurang dan kemampuan menginhibisi korosi akan meningkat.
4	Storage Time Evaluation of a Recidu from Wine Industry as a Microencapsulated Corrosion Inhibitor for 1 M HCl (Furtado et al., 2020)	Kulit anggur diekstrak menggunakan pelarut 50%etanol dan pemekatan dengan evaporasi, lalu ekstrak tersebut dilakukan mikroenkapsulasi dengan maltodekstrin menggunakan metode <i>spray drying</i> . Medium korosif HCl. Pengujian dilakukan dengan metode penurunan berat.	Mikroenkapsulasi ekstrak kulit anggur berhasil dilakukan menggunakan metode <i>spray drying</i> dengan penyalut maltodekstrin dengan rasio antara maltodekstrin : ekstrak yaitu 1:1. Mikroenkapsul ekstrak kulit anggur yang disimpan selama 2 tahun menunjukkan efisiensi inhibisi sebesar 83.81% pada suhu 303 K dengan konsentrasi ekstrak 4 g/L.

No	Penulis dan Judul	Metode	Hasil
5	Maltodextrin and Chitosan Polymers as Inhibitors for the Corrosion of Carbon Steel in 1.0 M Hydrochloric Acid (Abdallah et al., 2020)	Maltodextrin dan Kitosan sebagai inhibitor korosi baja karbon. Medium korosif 1 M HCl. Pengujian dilakukan dengan metode penurunan berat.	Maltodekstrin dan kitosan terbukti efektif dalam menghambat laju korosi pada baja karbon dalam larutan HCl 1 M. Efisiensi penghambatan meningkat seiring meningkatnya konsentrasi dan menurun seiring kenaikan suhu. Efisiensi penghambatan kitosan diketahui lebih tinggi daripada maltodekstrin.
6	Chitosan: A macromolecule as green Corrosion Inhibitor for mild steel in sulfamic acid useful for sugar industry (Gupta et al., 2018)	Kitosan sebagai inhibitor korosi dan dikombinasikan dengan KI untuk inhibisi baja ringan dalam media korosif asam sulfamat 1 M menggunakan teknik analisis gravimetri, elektrokimia dan permukaan.	Kitosan efektif digunakan sebagai inhibitor korosi. Dan didapatkan bahwa kitosan menunjukkan efisiensi penghambatan sebesar 73.8% pada konsentrasi 200 ppm.
7	Synthesis of water-soluble chitosan inhibitor from shrimp shells and its corrosion rate on mild steel in acidic solution (Amanah et al., 2021)	Sintesis WSCI (<i>Water Soluble Chitosan Inhibitor</i>) dari limbah cangkang udang untuk inhibisi baja karbon rendah SS400 dalam media korosif HCl 1 M menggunakan metode penurunan berat badan pada berbagai konsentrasi dan suhu.	Hasil penelitian menunjukkan, sintesis WSCI yang digunakan untuk inhibitor korosi mempunyai efisiensi penghambatan hingga 74.6% pada konsentrasi 200 ppm pada suhu 28°C. Efisiensi penghambatan dan laju korosi diketahui meningkat dengan meningkatnya konsentrasi WSCI dan laju korosi menurun seiring dengan meningkatnya suhu.

2.2 Kerangka Berpikir

Berdasarkan latar belakang dan kajian pustaka, dapat disusun kerangka konsep dari penelitian dalam bentuk gambar 8 berikut :



Gambar 8. Kerangka Berpikir Penelitian

2.3 Hipotesis

Ekstrak Kulit Kakao (*Theobroma Cacao* Linn.) mengandung senyawa metabolit sekunder yaitu alkaloid, flavonoid, fenolik, saponin dan tanin yang mana senyawa tersebut mengandung gugus OH dan gugus fungsi heteroatom sehingga dapat berpotensi sebagai inhibitor korosi. Salah satu senyawa metabolit sekunder yang terkandung dalam Kulit Kakao (*Theobroma Cacao* Linn.) yaitu senyawa tanin, yang mana senyawa tanin termasuk senyawa polifenol. Gugus fungsi OH pada tanin memungkinkan tanin membentuk senyawa kompleks dengan logam. Akan tetapi, tanin mudah teroksidasi dan terdegradasi sehingga teknologi enkapsulasi diperlukan, agar senyawa tersebut tidak teroksidasi dan memiliki tingkat stabilitas yang baik. Selain itu, maltodekstrin dan kitosan juga berperan dalam menghambat laju korosi pada baja, dikarenakan maltodekstrin dan kitosan memiliki gugus OH dan heteroatom oksigen yang mana kedua penyalut ini juga berpotensi dalam menghambat laju korosi dengan membentuk kompleks dengan logam dan terbentuk lapisan pelindung di permukaan baja sehingga efisiensi penghambatan laju korosi semakin besar.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Januari s.d Mei 2025. Tempat penelitian dilaksanakan di Laboratorium Penguji Unit Pelayanan Teknis Daerah (UPTD) Balai Pengujian dan Sertifikasi Mutu Barang (BPSMB) Jambi yang berada dibawah naungan Dinas Perindustrian dan Perdagangan (PERINDAG) Provinsi Jambi dan Laboratorium Tugas Akhir (TA) Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi.

3.2 Bahan dan Peralatan

Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan yakni Kulit Kakao (*Theobroma Cacao* Linn.) yang diperoleh dari Desa Pandan Makmur, Kecamatan Geragai, Kabupaten Tanjung Tabung Timur, Provinsi Jambi, aquades, etanol 96%, baja lunak (Fe = 98.5%, C=0.19 %, Si = 0.22 % dan Mn = 0.654 %), H₂SO₄ p.a 18 M, air laut dari Pulau Berhala yang terletak di Selat Berhala antara Jambi dan Singkep, air gambut dari daerah lahan gambut Hutan Akasia PT. Wirakarya Sakti di Muaro Jambi, asam tanat, pereaksi folin denis, Na₂CO₃, maltodekstrin, kitosan, dan aseton.

Alat Penelitian

Alat yang digunakan yakni *magnetic stirrer*, *hot plate*, jarum suntik (*syringe*), benang nilon, amplas besi grade 120, jangka sorong, tusuk gigi, tisu, bor listrik, seperangkat alat gelas, pipet ukur, pipet tetes, spatula, timbangan analitik ketelitian 0.0001 g, termometer, aluminium foil, labu ukur, kertas saring Whatman no.42, batang pengaduk, corong, oven, Spektrofotometer UV-Vis, SEM, dan FTIR.

3.3 Metode Penelitian

3.3.1. Ekstraksi Kulit Kakao (*Theobroma Cacao* Linn.)

Prosedur pembuatan ekstrak ini mengacu pada penelitian (Wijayanti, 2017) yang di modifikasi. Kulit buah Kakao (*Theobroma Cacao* Linn.) dibersihkan dari kotoran-kotoran, kemudian dirajang kecil-kecil lalu dikeringkan diudara terbuka dengan ditutup kain hitam. Kulit buah kakao (*Theobroma cacao*) yang telah kering lalu dihaluskan (Sumelka, 2016). Melakukan metode maserasi dengan memasukkan kulit buah kakao kering yang telah halus ke dalam wadah botol yang

berisi etanol 96% sehingga perbandingan bahan dengan pelarut adalah 1:3. Lalu, dilakukan pengocokan agar simplisia serta pelarut tercampur merata. Setelah itu dibiarkan selama 3 hari. Hasil perendaman disaring menggunakan kertas saring hingga diperoleh filtrat. Residu yang berupa ampas kembali direndam dengan pelarut etanol selama 3 hari pada suhu kamar dan dilakukan hal yang sama hingga 3 kali perendaman. Filtrat yang diperoleh selanjutnya diuapkan sehingga menghasilkan ekstrak pekat berupa pasta. Kemudian pelarut yang sudah diuapkan dapat digunakan untuk diremaserasi kembali. Pasta hasil ekstraksi kemudian ditimbang.

3.3.2. Formulasi Produk Enkapsul

Pembuatan Enkapsul berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Antares et al., (2017) dengan modifikasi pada lama pengeringan berdasarkan penelitian (Saloko et al., 2021). Pembuatan larutan enkapsulasi sebanyak 50 mL dilakukan dengan cara ditimbang maltodekstrin dan kitosan sebanyak 10% (b/v) dari larutan enkapsulan. Maltodekstrin dan kitosan ditimbang sesuai perlakuan (10% : 0% ; 9.5% : 0.5% ; 9% : 1% ; 8.5 : 1.5% ; dan 8% : 2%) kemudian ditambah akuades sampai 50 mL. Lalu diaduk menggunakan magnetik stirrer sampai larut, kemudian ditambahkan ekstrak kulit kakao sebanyak 1% dari volume larutan enkapsulan dan langsung dihomogenasi dengan alat homogenezier selama 30 menit. Setelah dihomogenasi, larutan enkapsulan dituang ke dalam cawan petri dengan ketebalan 3 mm. Selanjutnya dikeringkan pada suhu $50\pm 5^{\circ}\text{C}$ sampai mudah dilepaskan dari cawan petri (selama sekitar 2 jam). Setelah itu dihancurkan dan diayak dengan ayakan 40 mesh. Enkapsul yang telah kering disimpan dalam desikator. Produk yang sudah jadi dilakukan analisis meliputi kadar air. Hasil produk dengan kadar air terbaik kemudian di uji kelarutan nya dalam berbagai media korosi dan juga di uji stabilitas tannin nya.

3.3.3. Pembuatan Larutan Asam Sulfat 0.75 M

Dipipet 41.67 ml H_2SO_4 p.a lalu dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 mL. Kemudian diencerkan dengan akuades hingga tanda tera dan dihomogenkan. Diperoleh larutan asam sulfat dengan konsentrasi 0.75 M (Sibarani et al., 2021).

3.3.4. Pengujian Enkapsul Terhadap Laju Korosi Pada Baja

1. Persiapan Spesimen Baja

Baja lunak dipotong berukuran (2x1) cm dan dilubangi menggunakan bor dengan diameter 3 mm. Permukaan baja dihaluskan menggunakan amplas besi grade 120 mesh, lalu dicuci menggunakan akuades dan aseton untuk menghilangkan lemak yang menempel pada spesimen. Kemudian didiamkan hingga kering selama 5 menit. Diukur panjang dan lebarnya menggunakan jangka sorong lalu ditimbang massanya menggunakan neraca analitik dan hasilnya dinyatakan sebagai massa awal (m_1). Selanjutnya dilakukan analisa menggunakan instrumen SEM (Gusti et al., 2017a).

2. Perendaman Baja Lunak pada Media Korosi yakni Larutan Asam Sulfat 0.75 M, Air Laut dan Air Gambut

Baja lunak ditimbang massa awal (m_1) dan kemudian direndam dalam 50 mL larutan asam sulfat 0.75 M sebagai media korosi, pada suhu kamar dengan variasi waktu perendaman masing-masing 1;3;5; dan 7 hari. Lalu diangkat dan dicuci menggunakan akuades dan aseton. Kemudian diukur massanya (m_2). Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali (triplo). Dilakukan hal yang serupa namun menggunakan media korosi air laut dan air gambut. Dianalisis menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) (Gusti et al., 2017a). Pengujian ini disebut blanko karena tidak ditambahkan enkapsul maltodekstrin-kitosan sebagai inhibitor korosi .

3. Perendaman Baja Lunak pada Enkapsul dalam Larutan Asam Sulfat 0.75 M, Air Laut dan Air Gambut

Baja lunak yang telah disiapkan ditimbang massa awal (m_1) diikatkan dengan tali dan digantung dalam gelas beaker yang berisi media korosi 50 mL larutan asam sulfat 0.75 M dan enkapsul variasi terbaik dengan variasi konsentrasi 0.5; 1; 1.5; 2; 2.5 mg/mL pada suhu kamar. Dilakukan variasi waktu perendaman masing-masing 1;3;5; dan 7 hari. Setelah perendaman selesai, baja diangkat, dicuci dengan akuades dan aseton, lalu dikeringkan. Setelah kering, baja ditimbang dan hasil penimbangan dinyatakan sebagai berat akhir (m_2). Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali (triplo). Dilakukan hal yang serupa namun menggunakan media

korosi air laut dan air gambut. Data yang diperoleh dapat digunakan untuk menentukan laju korosi dan efisiensi inhibisi korosi pada baja.

3.4 Metode Analisis Data Penelitian

3.4.1. Penentuan Kadar Air dan Kelarutan Enkapsul serta Stabilitas Tannin

a. Kadar Air Enkapsul

Metode penentuan kadar air dilakukan menurut Antares et al., (2017). Dikeringkan terlebih dahulu botol timbang selama 1 jam dalam oven pada suhu 105 °C, lalu didinginkan dalam desikator. Kemudian ditimbang beratnya lalu ditambahkan sampel sebanyak 1 gram (a), dimasukkan ke dalam botol timbang, kemudian dikeringkan ke dalam oven selama 4 jam pada suhu 105 °C, lalu didinginkan dalam desikator selama 15 menit dan ditimbang kembali. Prosedur ini diulang sampai berat konstan (b). Kadar air yang terdapat dalam sampel dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{(a-b)}{a} \times 100\% \text{ (Antares et al., 2017)}$$

Keterangan :

a = Bobot sampel sebelum pemanasan(g)

b = Bobot sampel sesudah pemanasan (g)

b. Kelarutan Enkapsul dalam Larutan

Uji kelarutan sampel dalam media korosi asam sulfat, air laut dan air gambut dilakukan menurut prosedur dalam literatur (Lestari, 2022) dengan sedikit modifikasi. Sebanyak 100 mg sampel produk enkapsulasi ditambahkan 10 mL air kemudian digelatinisasi pada suhu 90 °C - 95 °C selama 30 menit disertai pengadukan (Satmalawati et al., 2024). Selanjutnya, didinginkan pada suhu kamar dan dilakukan sentrifugasi pada 2000 rpm selama 30 menit. Supernatan ditimbang dan dimasukkan dalam cawan aluminium serta dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C selama 4 jam hingga beratnya konstan. Kelarutan dalam air dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Kelarutan (\%)} = \frac{M_1}{M_2} \times 100 \% \text{ (Lestari, 2022)}$$

Keterangan :

M₁ = berat padatan dalam supernatan (g)

M_2 = berat sampel supernatan (g)

c. Uji Stabilitas Tanin pada Encapsul dan Ekstrak Kulit Kakao Selama Penyimpanan

Dalam pengujian ini, dipilih salah satu senyawa metabolit sekunder yang terdapat di dalam ekstrak kulit kakao sebagai tolak ukur dari pengaruh waktu penyimpanan antara ekstrak yang telah dienkapsulasi dan ekstrak tanpa dienkapsulasi, yang mana senyawa metabolit sekunder yang dipilih yaitu senyawa tanin. Encapsul dan ekstrak kulit buah kakao (*Theobroma cacao*) disimpan pada tempat gelap dan pada suhu ruang selama 0, 3, 6, 9, 12, dan 15 hari. Dilihat data penurunan kadar total tanin yang terkandung dalam ekstrak dan encapsul ekstrak kulit buah kakao (*Theobroma cacao*) selama 0, 3, 6, 9, 12, dan 15 hari. Pada pengujian stabilitas tannin ini dihitung secara kuantitatif kadar tannin yang terkandung dalam sampel mengikuti metode yang dilakukan oleh Pratama et al., (2019) yakni:

Pembuatan larutan Asam Tanat 1000 ppm

Sebanyak 10 mg asam tanat ditimbang kemudian dilarutkan dengan aquadest dalam gelas kimia. Selanjutnya dimasukkan dalam labu ukur 10 mL dan ditambah aquadest sampai tanda batas. Larutan tersebut dijadikan sebagai larutan induk 1000 ppm, dari larutan tersebut dibuat larutan standar dengan konsentrasi 10, 15, 20, 25, 30, 35 ppm.

Pembuatan Reagen Folin Denis

Sodium tungstate diambil sebanyak 5 gram dan dicampurkan dengan asam fosfomolibdat sebanyak 1 gram. dilarutkan dengan menggunakan aquadest dalam gelas kimia. Setelah larut sempurna dimasukkan kedalam labu ukur 50 mL selanjutnya ditambahkan asam fosfat 2,5 mL dan ditambahkan quadest sampai tanda batas.

Pembuatan larutan Na_2CO_3 jenuh

Pembuatan larutan Na_2CO_3 jenuh dilakukan dengan cara menimbang sebanyak 7.5 gram Na_2CO_3 kemudian dilarutkan dengan aquadest dalam gelas kimia dan dipanaskan pada suhu 60°C . Setelah larut sempurna dimasukkan kedalam labu ukur 100 mL.

Penetapan panjang gelombang serapan maksimum

Salah satu konsentrasi larutan baku diambil dan diukur serapannya pada rentang panjang gelombang 400-800 nm. Panjang gelombang yang menunjukkan nilai serapan tertinggi merupakan panjang gelombang maksimum.

Pembuatan Kurva Standar

Larutan standar dari masing-masing konsentrasi 10, 15, 20, 25, 30, 35 ppm diambil sebanyak 1 mL selanjutnya dicampur dengan 1 mL reagen Folin. Campuran dibiarkan selama 3 menit kemudian ditambah dengan Na₂CO₃ jenuh sebanyak 1 mL dan diletakkan di tempat yang tidak terkena cahaya selama 15 menit untuk proses homogenisasi. Setelah itu, dilakukan pengukuran dengan spektrofotometri sinar tampak pada panjang gelombang maksimum. Hasil pembacaan absorbansi yang diperoleh digunakan untuk pembuatan kurva kalibrasi standar terhadap konsentrasi dari larutan standar asam tanat.

Penetapan Kadar Tanin

Sebanyak 0.1 gram sampel ditimbang dan dilarutkan dengan akuades sampai 10 ml. Dipipet 1 ml sampel, dimasukkan ke dalam wadah berukuran 10 ml yang telah berisi 7.5 ml akuades. Ditambahkan 0.5 ml pereaksi folin denis, didiamkan selama 3 menit, ditambahkan 1 ml larutan Na₂CO₃ jenuh. Diinkubasi selama 15 menit, kemudian dibaca serapannya pada panjang gelombang maksimum. Dihitung dengan menggunakan kurva baku yang telah didapat sehingga diketahui konsentrasi dari sampel yang diukur.

3.4.2. Metode Kehilangan Berat

Untuk menentukan pengaruh konsentrasi inhibitor dan waktu perendaman terhadap efisiensi inhibisi korosi pada baja lunak dalam berbagai media korosi yakni larutan asam sulfat 0.75 M, air laut dan air gambut digunakan metode kehilangan berat. Metode ini didasarkan pada selisih awal dan massa akhir dari baja lunak setelah perlakuan dalam media korosi yang bercampur dengan enkapsul ekstrak kulit buah kakao (*Theobroma cacao*). Kemudian di tentukan laju korosi dan efisiensi inhibisi korosi pada baja lunak.

Laju Korosi :

$$r = \frac{(M_1 - M_2)}{A \times t} \text{ (Gusti et al., 2017a)}$$

Keterangan :

- r = laju korosi ($\frac{g}{cm^2.hari}$)
M₁ = berat awal besi (g)
M₂ = berat akhir besi (g)
A = luas permukaan plat besi (cm²)
t = waktu perendaman (hari)

Efisiensi Inhibisi :

$$\%E = \frac{(r_1 - r_2)}{r_1} \times 100 \% \text{ (Gusti et al., 2017a)}$$

Keterangan :

- %E = Efisiensi Inhibisi (%)
r₁ = laju korosi tanpa inhibitor ($\frac{g}{cm^2.hari}$)
r₂ = laju korosi dengan inhibitor ($\frac{g}{cm^2.hari}$)

Nilai Efisiensi Inhibisi tersebut kemudian di lakukan penghitungan menggunakan Uji Rancangan Acak Kelompok (RAK) Faktorial, terdiri dari 2 faktor dengan 20 kombinasi perlakuan dan 3 ulangan sehingga terdapat 60 plot penelitian.

Faktor-faktor yang diteliti terdiri dari :

1) Faktor A : Waktu Perendaman yang terdiri dari 4 taraf faktor yaitu :

- a₁ : 1 hari
a₂ : 3 hari
a₃ : 5 hari
a₄ : 7 hari

2) Faktor B : Konsentrasi Inhibitor korosi yang ditambahkan yang terdiri dari 5 taraf faktor yaitu :

- b₁ : 0.5 mg/mL
b₂ : 1 mg/mL
b₃ : 1.5 mg/mL
b₄ : 2 mg/mL
b₅ : 2.5 mg/mL

a. Kombinasi perlakuan terdiri dari 20 kombinasi

A_1B_1 A_1B_2 A_1B_3 A_1B_4 A_1B_5
 A_2B_1 A_2B_2 A_2B_3 A_2B_4 A_2B_5
 A_3B_1 A_3B_2 A_3B_3 A_3B_4 A_3B_5
 A_4B_1 A_4B_2 A_4B_3 A_4B_4 A_4B_5

b. Jumlah ulangan

$$\begin{aligned}
 (t-1)(n-1) &\geq 15 \\
 (20-1)(n-1) &\geq 15 \\
 19(n-1) &\geq 15 \\
 19n-19 &\geq 15 \\
 19n &\geq 15+19 \\
 19n &\geq 34 \\
 n &\geq \frac{34}{19} \\
 n &\geq 1.8 \dots \dots \dots \text{minimal 2 ulangan}
 \end{aligned}$$

Tabel 5. Tabel Pengamatan untuk Uji Faktorial Rancangan Acak Kelompok

Faktor A (Waktu, hari)	Faktor B (Konsentrasi, mg/mL)	Ulangan			Total
		1	2	3	
1 hari	0.5				
	1				
	1.5				
	2				
	2.5				
3 hari	0.5				
	1				
	1.5				
	2				
	2.5				
5 hari	0.5				
	1				
	1.5				
	2				
	2.5				
7 hari	0.5				
	1				
	1.5				
	2				
	2.5				
Total					

Data yang didapat kemudian dianalisis lebih lanjut di dalam tabel *Analysis of Variance* (ANOVA), lalu analisis ragam (uji F). Perbedaan yang nyata pada penelitian selanjutnya dilakukan uji lanjut DMRT (*Duncan Multiple Range Test*) taraf 5%S.

3.4.3. Analisis Morfologi Permukaan Menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Analisis SEM dilakukan di Universitas Lampung (UNILA). Baja direndam dalam larutan asam sulfat 0.75 M, air laut dan air gambut dengan penambahan enkapsul ekstrak kulit buah kakao (*Theobroma cacao*) yang memiliki efisiensi yang tinggi. Kemudian dikeringkan dan dianalisa menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dengan perbesaran 500 kali serta dilakukan untuk baja tanpa perlakuan.

3.4.4. Analisis Gugus Fungsi Menggunakan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)

Analisis Gugus Fungsi Menggunakan *Fourier-Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR). Spektrum inframerah dianalisis terhadap penyalut maltodekstrin, kitosan, formula terbaik enkapsul ekstrak kulit buah kakao (*Theobroma cacao*) dan ekstrak kulit buah kakao (*Theobroma cacao*) sebagai pembanding. Hasil analisis direkam dalam spektrofotometer Varian 640-IR FTIR pada bilangan gelombang 600 dan 4000 cm^{-1} .

Dianalisis pula produk korosi nya yakni : Baja direndam dalam larutan asam sulfat 0.75 M , air laut dan air gambut dengan penambahan enkapsul ekstrak kulit buah kakao (*Theobroma cacao*) yang memiliki efisiensi yang tinggi. Produk korosi (lapisan) yang menempel pada permukaan baja diambil dan dikeringkan. Kemudian dianalisa menggunakan instrumen FTIR.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Skrining Fitokimia Ekstrak Kulit Buah Kakao

Kulit buah kakao diekstraksi dengan cara maserasi bertujuan agar kandungan dalam kulit buah kakao lebih tertarik dan didapatkan ekstraknya. Ekstraksi merupakan proses pemisahan kandungan senyawa aktif dari jaringan tumbuhan menggunakan pelarut tertentu. Beberapa hal yang dapat mempengaruhi efisiensi ekstraksi, yaitu bahan tanaman yang digunakan, pemilihan pelarut, dan metode yang digunakan. Bahan tanaman yang digunakan dapat berupa bagian tanaman utuh atau yang telah melalui proses pengeringan. Pemilihan metode dan pelarut yang digunakan harus tepat untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Penggunaan cara maserasi dikarenakan metode yang paling mudah dilakukan karena pengerjaannya sederhana dan alat-alat yang digunakan mudah didapat. Selain itu untuk menghindari adanya kerusakan komponen aktif karena proses pemanasan, maka cara maserasi dianggap paling aman (Herman et al., 2020)

Skrining fitokimia dilakukan untuk mengidentifikasi golongan senyawa metabolit sekunder yang terkandung di dalam ekstrak kulit kakao. Adapun hasil dari skrining fitokimia dari ekstrak kulit kakao yaitu sebagai berikut:

Tabel 6. Hasil Skrining Fitokimia Ekstrak Kulit Kakao

No	Senyawa Metabolit Sekunder	Hasil
1	Alkaloid :	
	- Uji Mayer	Positif (+)
	- Uji Dragendorff	Negatif (-)
2	Flavonoid	Positif (+)
3	Fenolik	Positif (+)
4	Tanin	Positif (+)
5	Saponin	Positif (+)
6	Terpenoid	Negatif (-)

Keterangan: (+) terdeteksi, (-) tidak terdeteksi

Berdasarkan tabel 6, menunjukkan bahwa ekstrak kulit kakao memiliki kandungan senyawa metabolit sekunder yaitu alkaloid, flavonoid, fenolik, tannin, dan saponin sedangkan untuk senyawa terpenoid menunjukkan hasil uji negatif. Hal ini sesuai dengan penelitian Herman et al., (2020), mengenai kandungan senyawa yang terdapat pada kulit kakao seperti tanin. Adapun senyawa-senyawa yang

menunjukkan uji positif tersebut dapat digunakan sebagai inhibitor korosi. Gusti et al (2017) melaporkan bahwa senyawa yang mengandung heteroatom O, N, dan/atau S, serta memiliki ikatan rangkap dan pasangan elektron bebas dapat digunakan sebagai inhibitor korosi yang efektif karena dapat teradsorpsi pada permukaan baja lunak membentuk lapisan tipis sebagai pelindung dari lingkungan korosif.



Gambar 9. Hasil Uji Skrinning Fitokimia Ekstrak Kulit Kakao

Pada gambar 9 menunjukkan hasil dari uji fitokimia ekstrak kulit kakao, yakni :

Hasil pengujian alkaloid menunjukkan bahwa pada ekstrak kulit kakao menggunakan pelarut etanol mengandung alkaloid. Terbentuknya endapan pada permukaan tabung dan adanya perubahan warna saat ditambahkan pereaksi menandakan bahwa kulit buah kakao mengandung alkaloid. Pada Uji Mayer didapat hasil Positif (+), ini menunjukkan adanya senyawa alkaloid dalam ekstrak kulit kakao. Uji Dragendorff didapat hasil Negatif (-), menunjukkan bahwa tidak ada alkaloid yang terdeteksi dengan uji ini. Uji Dragendorff digunakan untuk mendeteksi alkaloid yang memiliki nitrogen dalam strukturnya, sehingga tidak semua alkaloid dapat terdeteksi dengan uji ini.

Hasil pengujian flavonoid menunjukkan adanya kandungan flavonoid pada ekstrak kulit kakao. Terbentuknya perubahan warna kuning pekat saat direaksikan dengan NaOH, warna merah pekat jika direaksikan dengan H₂SO₄, dan berubah warna saat direaksikan dengan serbuk MgCl.

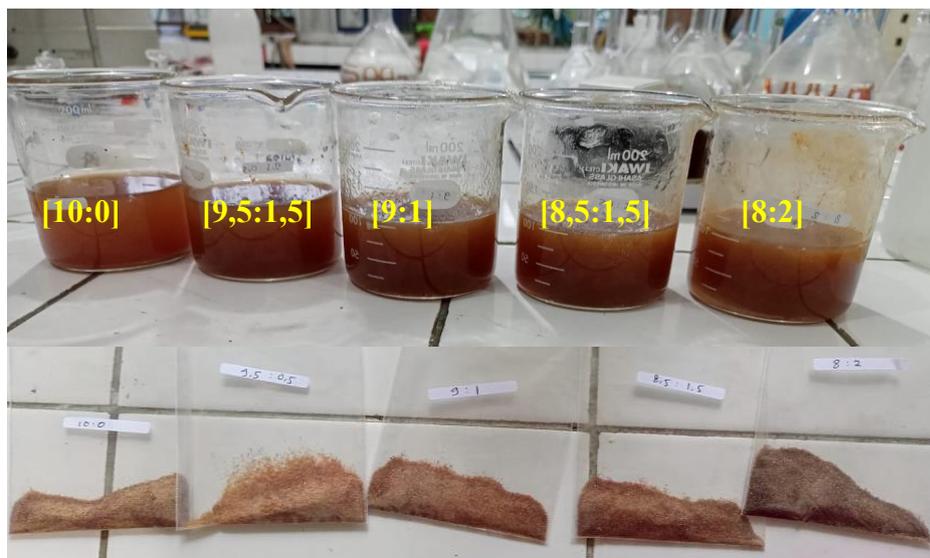
Hasil pengujian fenolik dan tanin menunjukkan adanya kandungan fenolik dan tanin pada ekstrak kulit kakao. Sampel yang diekstrak menggunakan etanol. Hasil positif ditunjukkan dengan terbentuknya warna hitam kebiruan atau hijau

Berdasarkan hasil pengujian, ekstrak kulit kakao menunjukkan keberadaan saponin. Keberadaan saponin ditunjukkan dengan terbentuknya busa saat ekstrak dikocok bersama air di dalam tabung reaksi.

Ekstrak kulit kakao yang diekstrak menggunakan pelarut etanol dengan uji fitokimia terpenoid tidak menunjukkan hasil positif. Adanya senyawa berupa alkaloid, flavonoid, fenolik, tanin, saponin menunjukkan bahwa ekstrak kulit kakao berpotensi obat. Senyawa-senyawa fenolik, flavonoid dan tanin pada kulit buah kakao diketahui memiliki aktivitas antimikroba.

4.2 Formulasi Enkapsulasi Ekstrak Kulit Kakao

Formulasi rasio bahan penyalut maltodekstrin dan kitosan yakni (10% : 0% ; 9.5% : 0.5% ; 9% : 1% ; 8.5 : 1.5% ; dan 8% : 2%). Hasil yang didapatkan yaitu kapsul dapat terbentuk, memiliki bentuk serbuk dan warna yang dihasilkan berbentuk coklat. Semakin banyak kitosan yang ditambahkan pada pembuatan kapsul maka bentuk larutan saat pembuatan kapsul semakin kental serta warnanya semakin pekat. Perbandingan kapsul ekstrak kulit kakao dengan rasio campuran bahan penyalut maltodekstrin:kitosan ditunjukkan pada gambar 10.



Gambar 10. Enkapsulasi rasio campuran bahan penyalut maltodekstrin:kitosan (10% : 0% ; 9.5% : 0.5% ; 9% : 1% ; 8.5 : 1.5% ; dan 8% : 2%) dari kiri ke kanan

Pada gambar 10, dapat dilihat bahwa semakin banyak jumlah kitosan yang digunakan maka kemampuan kitosan dalam membentuk gel semakin tinggi pula dan dapat menghasilkan tekstur yang lebih padat. Dan dalam segi warna, semakin tinggi konsentrasi kitosan yang digunakan, warna yang dihasilkan semakin pekat. Hal ini dikarenakan kitosan memiliki warna yaitu putih kekuningan sehingga seiring dengan peningkatan konsentrasi kitosan yang digunakan, maka warna produk yang dihasilkan akan semakin pekat.

4.3 Hasil Pengujian Sifat Fisika dan Kimia dari Enkapsul Ekstrak Kulit Kakao

4.3.1. Kadar Air

Kadar air merupakan salah satu parameter penting untuk menentukan kualitas suatu produk. Kadar air yang rendah dapat mencegah tumbuhnya bakteri atau jamur yang mana hal tersebut akan menyebabkan kerusakan dan penurunan kualitas dari produk. Adapun hasil pengukuran kadar air pada produk enkapsul dapat dilihat pada Tabel 7 .

Tabel 7. Hasil Pengukuran Kadar Air Enkapsul Ekstrak Kulit Kakao

Perbandingan Penyalut (Maltodekstrin : Kitosan)	Kadar Air (%)
10 : 0	6.82
9.5 : 0.5	5.73
9 : 1	5.68
8.5 : 1.5	4.88
8 : 2	3.51

Dapat dilihat pada Tabel 7 , bahwa kadar air terendah terdapat pada enkapsul dengan perbandingan penyalut maltodekstrin : kitosan yaitu 8:2 . Sementara kadar air tertinggi terdapat pada penyalut maltodekstrin : kitosan yaitu 10:0. Hal ini sejalan dengan penelitian Saloko *et al* (2021) bahwa semakin tinggi kitosan yang ditambahkan dalam pembuatan enkapsul, maka kadar air akan semakin rendah.

Pada Perbandingan 10 : 0 (Maltodekstrin : Kitosan) menghasilkan kadar air tertinggi yaitu 6.82%. Ini menunjukkan bahwa penggunaan maltodekstrin dalam jumlah besar cenderung menghasilkan enkapsul dengan kadar air yang lebih tinggi, kemungkinan karena maltodekstrin sendiri cenderung menyerap kelembapan lebih banyak. Perbandingan 9.5 : 0.5 menghasilkan kadar air sedikit lebih rendah, yaitu 5.73%, menandakan sedikit pengaruh kitosan meskipun jumlahnya kecil. Perbandingan 9 : 1 menghasilkan kadar air 5.68%, yang semakin menurun seiring

peningkatan kitosan. Perbandingan 8.5 : 1.5 menghasilkan kadar air 4.88%, menandakan pengaruh yang lebih besar dari kitosan terhadap pengurangan kadar air dalam enkapsul. Perbandingan 8 : 2 menghasilkan kadar air terendah, yaitu 3.51%, yang menunjukkan bahwa penambahan lebih banyak kitosan secara signifikan mengurangi kadar air dalam enkapsul.

Penurunan kadar air dengan meningkatnya jumlah kitosan dalam perbandingan penyalut dapat disebabkan oleh sifat kitosan yang hidrofobik dan kemampuannya dalam mengikat air lebih baik daripada maltodekstrin. Kitosan yang lebih banyak akan membuat enkapsul lebih kedap terhadap kelembapan, sehingga mengurangi kadar air. Maltodekstrin, sebagai karbohidrat polisakarida yang lebih higroskopis, memiliki kecenderungan untuk menyerap lebih banyak air, yang menjelaskan mengapa kadar air lebih tinggi pada perbandingan dengan lebih banyak maltodekstrin (seperti pada perbandingan 10:0). Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Saloko et al., 2021), bahwa penambahan kitosan ke dalam maltodekstrin dapat mengurangi kadar air dalam enkapsulasi ekstrak tanaman, sejalan dengan temuan dalam tabel ini. Penurunan kadar air terjadi karena kitosan yang lebih hidrofobik mengikat lebih sedikit air dibandingkan maltodekstrin. Penurunan kadar air diduga disebabkan oleh peningkatan zat padat dalam serbuk. Penambahan jumlah enkapsulan dapat meningkatkan zat padat terlarut dan mengurangi kandungan airnya. Dengan demikian, dapat menurunkan kadar air bubuk yang dihasilkan. Selain itu, kemampuan dari kitosan yang tinggi untuk mengikat air menjurus ke viskositas yang tinggi bertanggung jawab terhadap kemampuan dalam menurunkan kadar air.

Produk yang memiliki kadar air yang lebih tinggi akan lebih mudah rusak karena dapat menyebabkan pertumbuhan bakteri dan jamur sehingga akan mengurangi kualitas dari produk. Pada penelitian ini, kadar air yang terdapat pada enkapsul dengan rasio maltodekstrin dan kitosan berkisar antara 3.5-6.8%, sehingga dapat dikatakan bahwa proses enkapsulasi dengan kombinasi penyalut dapat memperpanjang umur simpan produk. Menurut Noviyanty et al., (2023) kadar air yang baik yakni dibawah 5 %, yang mengindikasikan stabilitas yang baik dan kemampuan untuk melindungi bahan aktif. Penurunan kadar air dapat menjadikan enkapsul lebih stabil dan memperpanjang umur simpan produk, karena

pengurangan kadar air akan menurunkan kemungkinan pertumbuhan mikroorganisme.

Adapun kadar air terendah pada penelitian ini terdapat pada enkapsul dengan rasio penyalut 8:2 dengan persen kadar air yaitu sebesar 3.51%. Kadar air yang lebih rendah memberikan stabilitas terhadap degradasi bahan aktif, sementara kadar air yang lebih tinggi dapat meningkatkan kelembapan dan memperpendek umur simpan. Semakin kecil kadar air juga akan meningkatkan kelarutan enkapsul (Yudhistira dan Choiriyah, 2021). Sehingga pada penelitian ini, selanjutnya digunakan enkapsul ekstrak kulit kakao menggunakan penyalut maltodekstrin-kitosan 8:2.

4.3.2. Kelarutan

Kelarutan merupakan sebagian jumlah maksimum zat terlarut (solut) yang dapat dilarutkan pada pelarut tertentu membentuk larutan homogen (Pari, et al. 2022). Uji kelarutan dilakukan untuk mengetahui nilai kelarutan enkapsul dalam larutan uji yang berhubungan dengan pelepasan bahan aktif dimana larutan uji yang digunakan adalah media korosif yang digunakan dalam penelitian ini yaitu asam sulfat 0.75 M, Air Laut dan Air Gambut. Adapun hasil analisis kelarutan enkapsul dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Kelarutan Enkapsul Ekstrak Kulit Kakao dengan Penyalut Maltodekstrin-Kitosan (8 : 2) dalam Larutan Asam Sulfat 0.75 M, Air Laut dan Air Gambut

Media Korosi	Kelarutan (%)
Asam Sulfat 0.75 M	85.10
Air Laut	95.01
Air Gambut	99.07

Tabel 8 menunjukkan hasil pengukuran kelarutan enkapsul ekstrak kulit kakao yang menggunakan kombinasi penyalut maltodekstrin dan kitosan (8 : 2) dalam tiga media berbeda, yaitu larutan asam sulfat 0.75 M, air laut, dan air gambut. Hasil kelarutan menunjukkan bagaimana kadar bahan aktif dalam enkapsul terlepas dalam masing-masing media tersebut.

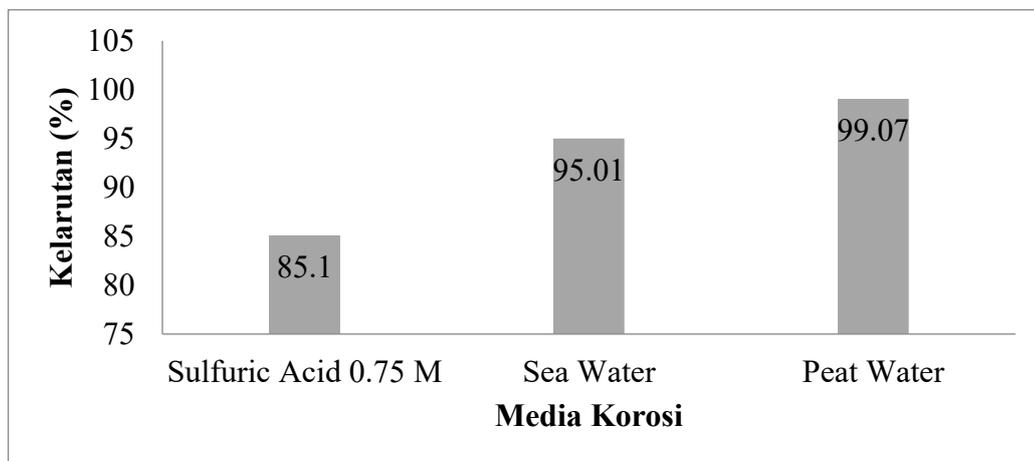
Kelarutan enkapsul dalam asam sulfat 0.75 M tercatat sebesar 85.10%, menunjukkan bahwa sebagian besar enkapsul dapat larut dalam kondisi asam. Ini mengindikasikan bahwa asam sulfat dapat mempengaruhi pelepasan bahan aktif dari enkapsul, tetapi tidak sepenuhnya melarutkan enkapsul dalam waktu yang

singkat. Kadar kelarutan yang sedikit lebih rendah dalam asam sulfat menunjukkan bahwa kitosan, yang digunakan dalam kombinasi penyalut, mungkin lebih tahan terhadap pelarutan pada pH rendah. Kitosan, yang bersifat hidrofobik, tidak mudah larut dalam kondisi asam, yang menjelaskan mengapa kelarutan dalam media ini lebih rendah. Pina et al. (2020) dalam penelitian mereka mengenai enkapsul ekstrak tumbuhan menggunakan maltodekstrin dan kitosan menemukan bahwa enkapsul berbahan kitosan cenderung lebih tahan terhadap pelarutan dalam kondisi asam dibandingkan dengan bahan berbasis maltodekstrin. Hasil mereka menunjukkan bahwa kitosan memberikan stabilitas yang lebih tinggi terhadap kondisi asam, yang menjelaskan mengapa kelarutan dalam asam sulfat 0.75 M (85.10%) sedikit lebih rendah dibandingkan dengan media lainnya. Gomes et al. (2021) juga mencatat bahwa kitosan lebih sulit larut pada pH rendah, yang sejalan dengan temuan dalam Tabel 8, di mana kelarutan enkapsul dalam asam sulfat lebih rendah dibandingkan dengan air laut dan air gambut.

Kelarutan enkapsul dalam air laut lebih tinggi, yaitu 95.01%. Media air laut, yang mengandung garam, menunjukkan bahwa garam dapat meningkatkan kelarutan enkapsul dibandingkan dengan asam sulfat, karena adanya interaksi antara ion-ion garam dan struktur enkapsul yang lebih memudahkan proses pelarutan. Air laut mengandung garam dan memiliki pH yang lebih netral, yang mungkin membantu mengurangi ketahanan enkapsul terhadap pelarutan, terutama karena maltodekstrin lebih mudah larut dalam media air dibandingkan dengan kitosan. Oleh karena itu, kelarutan enkapsul dalam air laut lebih tinggi dibandingkan dengan asam sulfat. Rahman et al. (2021) melaporkan bahwa garam dalam air laut dapat meningkatkan kelarutan enkapsul berbahan maltodekstrin karena interaksi antara ion garam dan struktur polimer dari maltodekstrin yang lebih larut. Temuan ini mendukung data Tabel 8 yang menunjukkan kelarutan lebih tinggi (95.01%) dalam air laut dibandingkan dengan asam sulfat.

Kelarutan tertinggi tercatat pada air gambut dengan nilai 99.07%. Media gambut, yang memiliki kandungan organik dan pH yang lebih tinggi (lebih netral), tampaknya sangat mendukung pelarutan enkapsul secara lebih cepat dan menyeluruh. Hal ini dapat disebabkan oleh karakteristik pH dan komponen organik dalam air gambut yang lebih baik dalam melarutkan enkapsul dibandingkan dengan

media asam dan air laut. Air gambut, yang bersifat lebih netral dan mengandung berbagai komponen organik, tampaknya sangat efektif dalam melarutkan enkapsul. Hal ini bisa disebabkan oleh interaksi yang lebih baik antara enkapsul dan komponen organik dalam air gambut yang mempercepat proses pelepasan bahan aktif. Silva et al. (2019) menunjukkan bahwa media air gambut, cenderung lebih efektif dalam melarutkan enkapsul berbahan maltodekstrin dan kitosan. Penelitian mereka mengonfirmasi bahwa air gambut mendukung kelarutan yang lebih tinggi karena karakteristik pH dan komponen organiknya. Hasil ini sesuai dengan data dalam Tabel 8, yang menunjukkan kelarutan tertinggi (99.07%) dalam air gambut.



Gambar 11. Perbandingan Kelarutan Enkapsul Ekstrak Kulit Kakao dengan Penyalut Maltodekstrin-Kitosan (8 : 2) dalam Larutan Asam Sulfat 0.75 M, Air Laut dan Air Gambut

Pada gambar 11 menunjukkan bahwa Enkapsul Ekstrak Kulit Kakao dengan Penyalut Maltodekstrin-Kitosan (8 : 2) lebih larut di air gambut dibandingkan air laut dan asam sulfat. Hal ini sejalan dengan penelitian Triastiningrum dan Alfian (2016) dan Setiawan et al. (2015), pada umumnya kitosan mudah larut pada larutan asam lemah. Hal tersebut disebabkan pada kondisi pH asam, molekul kitosan menjadi polycationic serta menyebabkan molekul kitosan terprotonasi menghasilkan ion NH_3^+ yang berpengaruh terhadap meningkatnya harga potensial zeta. Pada $\text{pH} > 7$ kitosan mengalami deprotonasi sehingga molekul kitosan terpresipitasi disebabkan terjadinya pembentukan ikatan hidrogen antar molekulnya sehingga kelarutan kitosan menurun. Selain itu, pada beberapa jenis asam seperti asam fosfat dan asam sulfat kelarutan kitosan sangat rendah hanya berkisar 0.5-1.1%.

Berikut tabel 9 hasil pengukuran pH pada media korosi yang digunakan.

Tabel 9. Perbandingan pH Larutan Air Laut dan Air Gambut

Media Korosi	pH
Air Laut	7.77
Air Gambut	2.75

Tabel 9 merupakan hasil dari pengukuran pH air laut dan air gambut. Air laut didapat pH nya 7.77 dan air gambut 2.75 sedangkan untuk asam sulfat saat dilakukan pengukuran pH meter tidak bisa menunjukkan nilai yang jelas hal ini bisa disebabkan karena pH asam sulfat yang terlalu asam sehingga tidak bisa dibaca di alat pH meter. Untuk menghitung pH larutan asam sulfat (H_2SO_4) 0.75 M, pertamanya perlu diingat bahwa asam sulfat adalah asam diprotik, yang berarti setiap molekulnya melepaskan dua ion H^+ . Jadi, konsentrasi ion H^+ dalam larutan akan menjadi dua kali lipat dari konsentrasi asam sulfat. Setelah itu, gunakan rumus $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$ untuk menghitung pH. Pertama, Tentukan konsentrasi ion H^+ :
Konsentrasi $\text{H}_2\text{SO}_4 = 0.75 \text{ M}$

Karena H_2SO_4 adalah asam diprotik, maka setiap mol H_2SO_4 menghasilkan 2 mol H^+ . Sehingga, Konsentrasi $\text{H}^+ = 2 * 0.75 \text{ M} = 1.5 \text{ M}$. Lalu, Hitung pH:

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] \rightarrow \text{pH} = -\log(1.5) \rightarrow \text{pH} \approx -0.176$$

Jadi, pH larutan asam sulfat 0.75 M adalah sekitar -0.176. Nilai pH bisa negatif untuk larutan asam yang sangat kuat. Oleh karena itu, pada saat pengukuran, pH meter yang digunakan tidak bisa mendeteksi pH asam sulfat 0.75 M.

4.3.3. Uji Stabilitas Enkapsul Ekstrak Kulit Kakao

a. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum

Sebelum melakukan pengujian kadar total tanin pada enkapsul ekstrak kulit kakao dan ekstrak kulit kakao tanpa dienkapsulasi (sebagai pembandingan), dilakukan penentuan panjang gelombang maksimum pada asam tanat terlebih dahulu menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada rentang 400-800 nm. Adapun panjang gelombang maksimum dari asam tanat yang diperoleh pada penelitian ini sebesar 750.2 nm sesuai dengan penelitian Ferdinan, *et al.* (2022) bahwa panjang gelombang maksimum larutan asam tanat berada pada panjang gelombang 700-800 nm dan hasil pengukuran panjang gelombang maksimum yang mereka dapat yakni 734.1 nm. Penelitian lain oleh Nofita dan Rahmat (2021) didapat Panjang gelombang maksimum asam tanat yakni 765 nm.

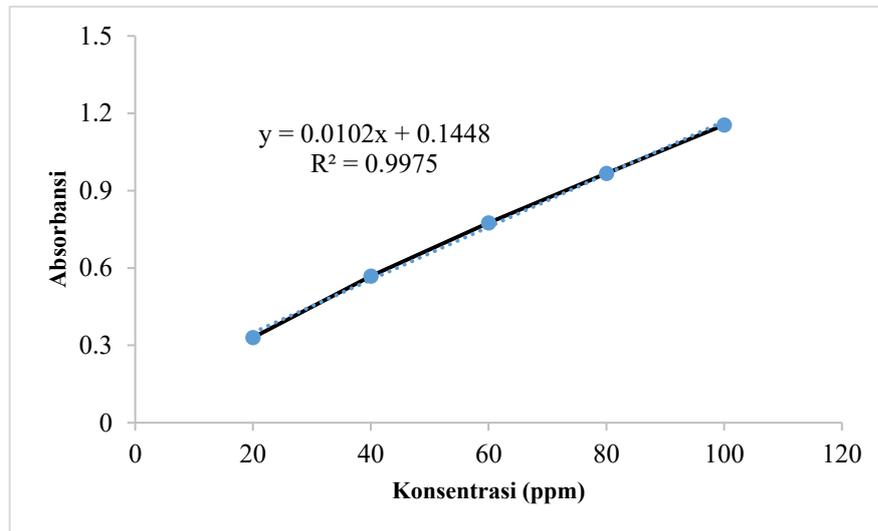
b. Pembuatan Kurva Standar Asam Tanat

Penelitian ini menggunakan 5 variasi konsentrasi larutan asam tanat yaitu 20 ppm, 40 ppm, 60 ppm, 80 ppm dan 100 ppm. Hasil absorbansi dari asam tanat dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Absorbansi Larutan Standar Asam Tanat

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
20	0.33
40	0.569
60	0.775
80	0.967
100	1.155

Tabel 10 merupakan data absorbansi larutan standar asam tanat yang jika diplotkan akan menghasilkan kurva standar asam tanat. Adapun kurva standar asam tanat dapat dilihat pada Gambar 12.

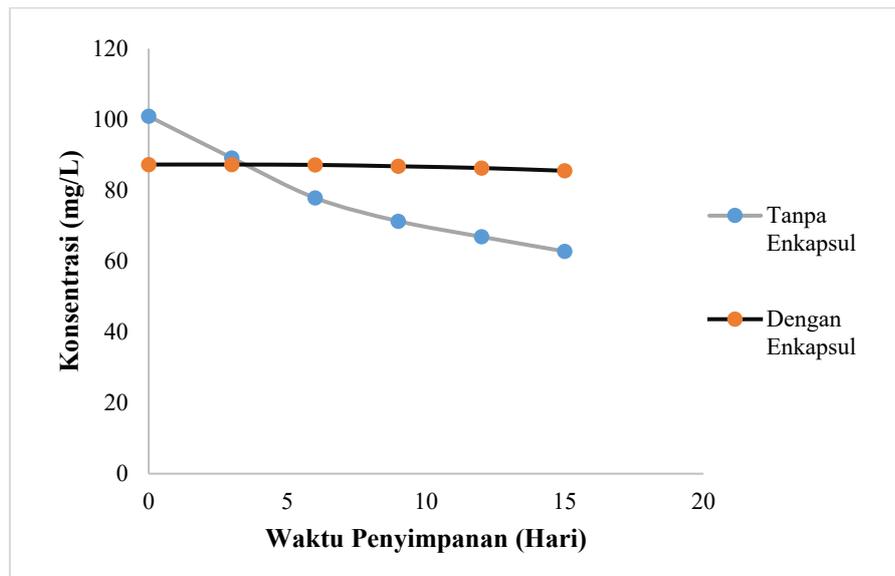


Gambar 12. Kurva Standar dari Larutan Standar Asam Tanat

Dapat dilihat pada Gambar 12, diperoleh persamaan regresi linier yakni $y = 0.0102x + 0.1448$ dengan nilai $R^2 = 0.9975$. Nilai korelasi ini menunjukkan bahwa adanya hubungan linier antara konsentrasi yang diukur dengan absorbansi yang dihasilkan. Nilai koefisien korelasi yang baik adalah nilai yang mendekati 1. Dalam hal ini, nilai koefisien korelasi yang dihasilkan sudah sangat baik yakni 0.9975, yang mana nilai ini telah mendekati 1. Selanjutnya persamaan regresi linier yang didapat, akan digunakan untuk menghitung kadar total tanin yang terkandung dalam kapsul ekstrak kulit kakao dan ekstrak kulit kakao tanpa dienkapsulasi sebagai pembanding.

c. Pengukuran Kadar Total Tanin Terhadap Waktu Penyimpanan

Salah satu senyawa yang diuji pada uji stabilitas dalam penelitian ini adalah senyawa tanin. Uji stabilitas senyawa tanin terhadap ekstrak yang dienkapsulasi dan ekstrak yang tidak dienkapsulasi (sebagai pembandingan) dilakukan selama 15 hari, dilakukan pengukuran kadar total tanin setiap 0, 3, 6, 9, 12, dan 15 hari pada panjang gelombang 750.2 nm. Adapun pengaruh waktu penyimpanan terhadap stabilitas enkapsul dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 13. Grafik Perbandingan Kestabilan Antara Ekstrak Tanpa dienkapsulasi dan ekstrak yang dienkapsulasi selama waktu penyimpanan 15 hari

Berdasarkan Gambar 13, dapat dilihat bahwa pengaruh waktu penyimpanan terhadap kadar senyawa tanin yang dihasilkan pada 0, 3, 6, 9, 12 dan 15 hari pada ekstrak yang dienkapsulasi lebih stabil dibandingkan dengan ekstrak tanpa dienkapsulasi. Pada ekstrak yang tidak dienkapsulasi, terjadi penurunan kadar tanin yang cukup tajam dibandingkan ekstrak yang dienkapsulasi. Hal ini menunjukkan bahwa proses enkapsulasi sangat berpengaruh terhadap kestabilan ekstrak kulit kakao. Hal ini dikarenakan pada ekstrak yang tidak dienkapsulasi, ekstrak mengalami proses oksidasi yang disebabkan oleh pengaruh lingkungan. Sedangkan pada ekstrak yang dienkapsulasi, ekstrak telah terlindungi dari pengaruh lingkungan sehingga senyawa-senyawa yang terdapat dalam ekstrak kulit kakao tidak teroksidasi. Adapun data hasil absorbansi dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Hasil Uji Stabilitas Tanin Selama Waktu Penyimpanan

Waktu Penyimpanan (Hari)	Kadar Tanin (mg/L)		% Penurunan Kadar Tanin	
	Ekstrak Tanpa Enkapsulasi	Ekstrak yang dienkapsulasi (Enkapsul)	Ekstrak Tanpa Enkapsulasi	Ekstrak yang dienkapsulasi (Enkapsul)
0	100.901	87.2745	0.00%	0.00%
3	89.137	87.2745	11.65%	0.00%
6	77.862	87.1764	22.83%	0.11%
9	71.294	86.7843	29.34%	0.56%
12	66.882	86.2941	33.71%	0.98%
15	62.764	85.5098	37.79%	2.02%

Tabel 11 menunjukkan hasil uji stabilitas tanin pada ekstrak yang dienkapsulasi dan tanpa enkapsulasi selama periode penyimpanan. Data ini menunjukkan bagaimana kadar tanin berubah seiring berjalannya waktu, baik untuk ekstrak tanpa enkapsulasi maupun ekstrak yang dienkapsulasi (enkapsulasi yang berfungsi untuk melindungi bahan aktif dalam ekstrak).

Ekstrak tanpa enkapsulasi menunjukkan penurunan kadar tanin yang signifikan selama waktu penyimpanan. Pada hari ke-3, kadar tanin turun menjadi 89.137 mg/L, yang mencatatkan penurunan 11.65% dibandingkan dengan hari pertama (0 hari) yang memiliki kadar tanin 100.901 mg/L. Pada hari ke-6, kadar tanin menurun lebih jauh menjadi 77.862 mg/L dengan penurunan 22.83%. Penurunan terus berlanjut hingga hari ke-15, di mana kadar tanin mencapai 62.764 mg/L, yang menunjukkan penurunan sebesar 37.79% dibandingkan dengan nilai awal (0 hari).

Ekstrak yang dienkapsulasi menunjukkan penurunan kadar tanin yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan ekstrak tanpa enkapsulasi. Pada hari ke-3, kadar tanin tetap stabil pada 87.2745 mg/L (tanpa penurunan sama sekali), menunjukkan bahwa enkapsulasi melindungi bahan aktif tanin dari degradasi awal. Pada hari ke-6, kadar tanin menurun sedikit menjadi 87.1764 mg/L dengan penurunan hanya 0.11%. Hari ke-15 menunjukkan kadar tanin 85.5098 mg/L, dengan penurunan hanya 2.02% dibandingkan dengan kadar awal (0 hari).

Perbandingan penurunan kadar tanin antara ekstrak tanpa enkapsulasi dan ekstrak yang dienkapsulasi, yakni bahwa kadar tanin pada ekstrak kulit kakao yang tidak dienkapsulasi mengalami penurunan sebesar 37.79% setelah 15 hari waktu penyimpanan. Sedangkan kadar tanin pada ekstrak kulit kakao yang

dienkapsulasi hanya mengalami penurunan sebesar 2.02% setelah 15 hari penyimpanan. Hal ini membuktikan bahwa proses enkapsulasi terbukti dalam melindungi dan menjaga kestabilan senyawa-senyawa metabolit sekunder yang terkandung di dalam ekstrak kulit kakao. Data ini juga menunjukkan bahwa enkapsulasi memiliki pengaruh yang signifikan dalam menjaga stabilitas bahan aktif (tanin) selama penyimpanan, mengurangi degradasi yang biasa terjadi pada ekstrak tanpa enkapsulasi.

Pina et al. (2020) menemukan bahwa enkapsulasi dapat mengurangi degradasi bahan aktif dalam ekstrak tumbuhan, seperti senyawa fenolik dan tanin, selama penyimpanan. Dalam penelitian mereka, ekstrak yang dienkapsulasi menunjukkan stabilitas yang lebih baik dibandingkan dengan ekstrak yang tidak dienkapsulasi, yang mengalami degradasi lebih cepat. Ini sejalan dengan temuan dalam Tabel 11, di mana ekstrak yang dienkapsulasi menunjukkan penurunan kadar tanin yang jauh lebih rendah dibandingkan ekstrak tanpa enkapsulasi.

Gomes et al. (2021) melaporkan bahwa enkapsulasi menggunakan bahan seperti maltodekstrin atau kitosan dapat melindungi senyawa bioaktif dari degradasi yang disebabkan oleh oksidasi atau kondisi lingkungan yang tidak stabil. Penurunan yang sangat kecil dalam kadar tanin pada ekstrak yang dienkapsulasi (seperti yang terlihat pada hari ke-15) menunjukkan kemampuan enkapsulasi untuk memperpanjang umur simpan bahan aktif.

Silva et al. (2019) juga mengamati bahwa enkapsulasi pada ekstrak tanaman dapat meningkatkan ketahanan terhadap pengaruh oksigen, cahaya, dan kelembapan, yang berkontribusi terhadap stabilitas bahan aktif selama penyimpanan. Penurunan kadar bahan aktif yang sangat kecil pada ekstrak yang dienkapsulasi (seperti pada Tabel 11) mendukung hasil yang serupa dalam penelitian mereka. Penelitian oleh Rahman et al. (2021) mengenai stabilitas tanin dalam enkapsulasi juga menunjukkan bahwa enkapsulasi berfungsi untuk melindungi senyawa aktif seperti tanin dari pengaruh faktor eksternal, termasuk kelembapan dan oksidasi. Hal ini menyebabkan penurunan kadar tanin yang lebih kecil dalam ekstrak yang dienkapsulasi, yang sesuai dengan Tabel 11.

Jadi, enkapsulasi memiliki efek positif yang signifikan dalam menjaga stabilitas bahan aktif, seperti tanin, selama waktu penyimpanan tertentu. Data

menunjukkan bahwa ekstrak yang dikapsulasi mengalami penurunan yang jauh lebih kecil dalam kadar tanin dibandingkan dengan ekstrak tanpa enkapsulasi, yang mengalami penurunan yang lebih tajam. Penurunan kadar tanin yang lebih rendah pada ekstrak yang dikapsulasi menunjukkan bahwa penyalut seperti maltodekstrin dan kitosan efektif dalam melindungi bahan aktif dari degradasi akibat faktor lingkungan seperti kelembapan dan oksidasi. Temuan ini sejalan dengan penelitian terdahulu, yang juga mengindikasikan bahwa enkapsulasi meningkatkan stabilitas bahan aktif dan memperpanjang umur simpan ekstrak, terutama bahan bioaktif yang rentan terhadap degradasi.

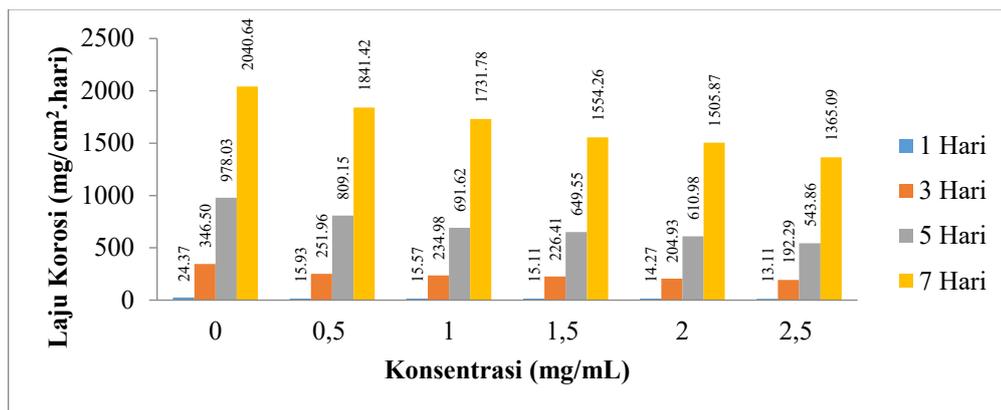
4.4 Analisis Metode Kehilangan Berat (*Weight Loss Method*)

Metode kehilangan berat digunakan untuk mempelajari pengaruh penambahan kapsul ekstrak kulit kakao terhadap laju korosi baja dan persentase efisiensi inhibisi dalam media korosif larutan asam sulfat 0.75 M, air laut dan air gambut.

Pada penelitian ini, baja direndam dalam media H₂SO₄ 0.75 M, air laut dan air gambut tanpa inhibitor sebagai blanko dan dengan penambahan inhibitor ekstrak yang dikapsulasi dengan variasi konsentrasi 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 dan 2.5 mg/mL dalam larutan. Tujuan dilakukannya variasi konsentrasi inhibitor adalah untuk mengetahui pengaruh konsentrasi inhibitor terhadap laju korosi dan persentase efisiensi inhibisi pada baja. Pada penelitian ini juga dilakukan variasi waktu perendaman yaitu 1 hari, 3 hari, 5 hari dan 7 hari. Tujuan dilakukannya variasi pada waktu perendaman adalah untuk mengetahui pengaruh waktu terhadap laju korosi, dikarenakan waktu juga merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi laju korosi. Dan juga dihitung persentase efisiensi inhibisi.

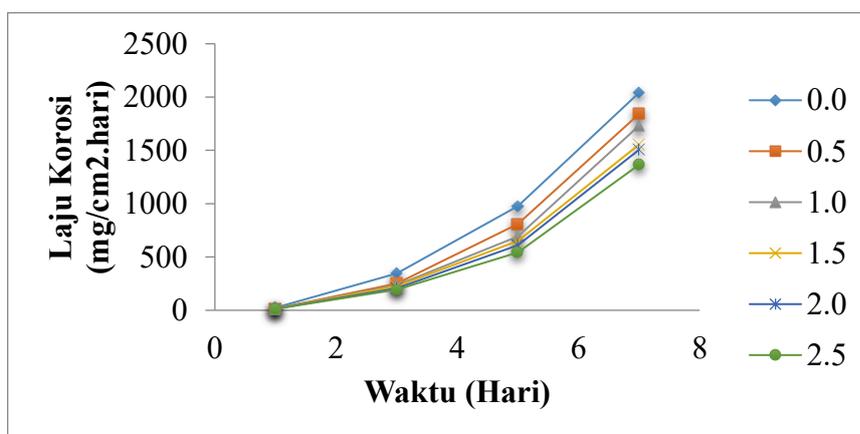
Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao* Linn.) dan Waktu Perendaman terhadap Laju Korosi Baja Lunak

Pengaruh konsentrasi inhibitor terhadap laju korosi dalam asam sulfat 0,75 M dapat dilihat pada gambar 14.



Gambar 14. Pengaruh konsentrasi inhibitor ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao* Linn.) yang dienkapsulasi dan waktu perendaman terhadap laju korosi baja dalam media asam sulfat 0.75 M

Pada gambar 14 dapat dilihat bahwa konsentrasi inhibitor enkapsul ekstrak kulit kakao berperan penting dalam mengurangi laju korosi baja dalam media asam sulfat 0.75 M. Semakin tinggi konsentrasi, maka semakin rendah laju korosi. Konsentrasi 0 (tanpa inhibitor) menunjukkan laju korosi tertinggi di setiap titik waktu. Pada hari ke-7, laju korosi mencapai lebih dari 2000 mg/cm².hari. Ketika konsentrasi inhibitor ekstrak kulit kakao ditambahkan (0.5 hingga 2.5 mg/mL), laju korosi menurun signifikan. Peningkatan konsentrasi inhibitor memberikan efek pengurangan laju korosi yang signifikan, dengan konsentrasi yang lebih tinggi memberikan efek perlindungan yang lebih baik terhadap korosi baja. Sedangkan pengaruh waktu perendaman konsentrasi inhibitor ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao* Linn.) yang dienkapsulasi terhadap laju korosi baja dalam media asam sulfat 0.75 M dapat dilihat pada gambar 15.



Gambar 15. Pengaruh waktu perendaman dan konsentrasi inhibitor ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao* Linn.) yang dienkapsulasi terhadap laju korosi baja dalam media asam sulfat 0.75 M

Berdasarkan gambar 15, variasi waktu yang digunakan menunjukkan adanya pengaruh waktu terhadap laju korosi pada baja. Semakin lama waktu perendaman maka laju korosi pada baja juga meningkat. Hal ini disebabkan waktu perendaman yang lebih lama memberikan kesempatan lebih besar bagi reaksi korosi untuk berlangsung. Peningkatan laju korosi pada kenaikan waktu disebabkan oleh melemahnya interaksi dari senyawa-senyawa metabolit sekunder dari ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao* Linn.) pada permukaan baja lunak. Gambar 15 menunjukkan nilai laju korosi yang cukup besar adalah pada perendaman didalam asam sulfat tanpa menggunakan inhibitor. Hal itu terjadi karena asam sulfat memiliki sifat asam yang cukup tinggi sehingga dapat menyerang baja. Tingkat Keasaman mempengaruhi terjadinya proses korosi karena pH menunjukkan konsentrasi dari ion H^+ dalam air dan membantu mempercepat pertukaran ion dan mempengaruhi pelepasan electron pada logam (Saputro & Sutjahjo, 2017).

Untuk masing-masing nilai pada gambar 14 dan gambar 15 dapat dilihat pada tabel 12 berikut :

Tabel 12. Nilai laju korosi berdasarkan variasi konsentrasi inhibitor ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao* Linn.) yang dienkapsulasi dan waktu perendaman dalam media asam sulfat 0.75 M

VARIASI	Konsentrasi (mg/mL)						
	0	0.5	1	1.5	2	2.5	
Waktu Perendaman (Hari)	1	24.373	15.930	15.573	15.114	14.267	13.113
	3	346.499	251.956	234.982	226.406	204.931	192.293
	5	978.035	809.146	691.620	649.549	610.977	543.861
	7	2040.636	1841.423	1731.783	1554.261	1505.867	1365.091

Tabel 12 didapat pengaruh konsentrasi inhibitor terhadap laju korosi dalam asam sulfat yakni, pada konsentrasi inhibitor 0 mg/mL (tanpa inhibitor), laju korosi meningkat drastis dengan bertambahnya waktu perendaman. Pada hari pertama, laju korosi tercatat 24.373 ($mg/cm^2.hari$), namun pada hari ke-7 meningkat tajam menjadi 2040.636. Hal ini menunjukkan bahwa tanpa inhibitor, baja mengalami korosi yang cepat dan signifikan. Pada konsentrasi inhibitor 0.5 mg/mL, laju korosi juga meningkat dengan waktu, tetapi peningkatan laju korosi lebih lambat dibandingkan dengan tanpa inhibitor. Pada hari pertama, laju korosi tercatat 15.930, sedangkan pada hari ke-7, laju korosi mencapai 1841.423, ini menunjukkan bahwa

penurunan laju korosi terjadi karena adanya inhibitor, meskipun penurunan ini tidak sepenuhnya mencegah korosi.

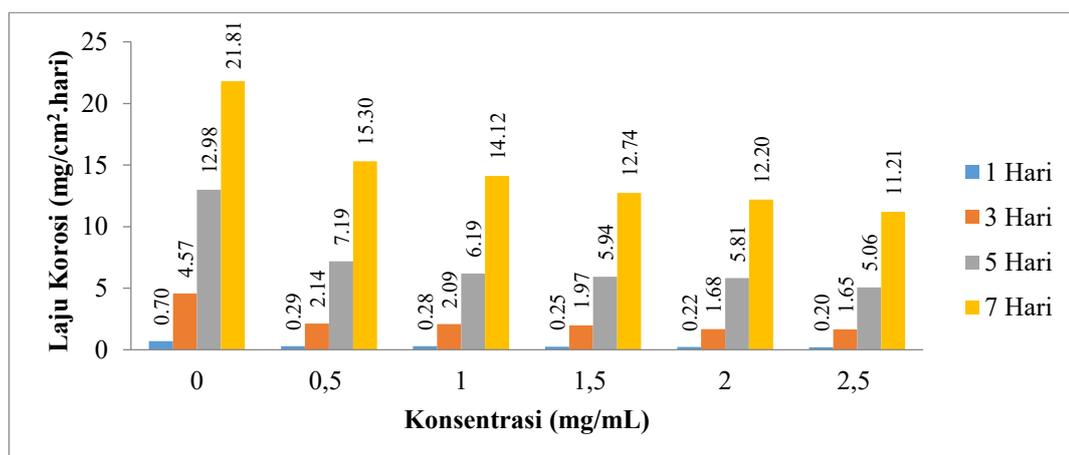
Konsentrasi inhibitor yang lebih tinggi menunjukkan penurunan laju korosi yang lebih signifikan. Semakin tinggi konsentrasi inhibitor, semakin lambat laju korosi yang tercatat. Pada konsentrasi 2.5 mg/mL, laju korosi pada hari ke-7 tercatat 1365.091, jauh lebih rendah dibandingkan dengan tanpa inhibitor. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Pina et al. (2020) dalam penelitian mereka mengenai inhibitor berbasis tanaman menemukan bahwa ekstrak tanaman yang dikapsulasi dapat mengurangi laju korosi pada baja di dalam media asam. Hasil mereka menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi inhibitor akan mengurangi laju korosi secara signifikan. Ini sejalan dengan hasil dalam Tabel 12, yang menunjukkan penurunan laju korosi dengan peningkatan konsentrasi inhibitor. Penelitian lain yang dilakukan oleh Gomes et al. (2021) yang menguji inhibitor berbahan ekstrak tumbuhan dan menemukan bahwa konsentrasi yang lebih tinggi dari bahan aktif dalam ekstrak dapat menurunkan laju korosi, dengan pengaruh yang lebih signifikan pada waktu perendaman yang lebih lama. Ini sesuai dengan tren dalam Tabel 12, di mana konsentrasi yang lebih tinggi menunjukkan penurunan laju korosi yang lebih besar setelah hari ke-7.

Pengaruh Waktu Perendaman terhadap Laju Korosi yakni, Laju korosi meningkat seiring bertambahnya waktu perendaman. Ini menunjukkan bahwa waktu perendaman yang lebih lama memberikan waktu lebih banyak bagi asam untuk bereaksi dengan baja, sehingga meningkatkan proses korosi. Pada hari pertama, perbedaan antara laju korosi pada konsentrasi yang berbeda masih cukup kecil. Namun, pada hari ke-7, perbedaan tersebut semakin besar, dengan konsentrasi inhibitor yang lebih tinggi menunjukkan penurunan laju korosi yang signifikan. Penurunan laju korosi seiring bertambahnya waktu perendaman juga telah diamati oleh Cholil et al., (2018) dalam studi mereka mengenai inhibitor kitosan limbah cangkang rajungan. Dalam penelitian tersebut, mereka mencatat bahwa laju korosi meningkat seiring waktu, namun inhibitor yang lebih efektif mengurangi kecepatan ini. Hal ini sejalan dengan data dalam Tabel 12, di mana semakin tinggi konsentrasi inhibitor, semakin rendah laju korosi meskipun ada peningkatan laju korosi seiring waktu. Dalam penelitian terkait ekstrak kulit kakao,

Mardova et al., (2018) melaporkan bahwa tanin dalam kulit kakao memiliki potensi besar sebagai inhibitor korosi. Hasil mereka mendukung temuan dalam Tabel 12, yang menunjukkan bahwa ekstrak kulit kakao dapat menurunkan laju korosi baja dalam media asam sulfat. Pemberian inhibitor ekstrak kulit kakao dengan penambahan waktu perendaman akan menyebabkan laju korosi pada permukaan baja semakin menurun. Hal ini terjadi karena semakin lama perendaman baja dalam ekstrak kulit kakao maka semakin banyak inhibitor yang teradsorpsi. Oleh karena itu, senyawa tanin yang terdapat dalam ekstrak kulit kakao akan membentuk senyawa yang lebih kompleks dengan Fe(III), sehingga akan terbentuk lapisan pelindung yang lebih tebal pada permukaan baja.

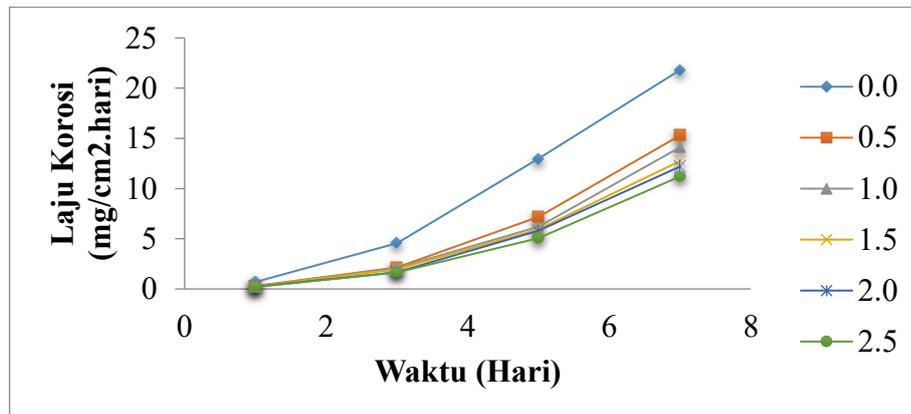
Jadi pada penelitian ini didapat hasil bahwa inhibitor ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao* Linn.) yang dienkapsulasi menunjukkan efektivitas yang signifikan dalam menurunkan laju korosi baja dalam media asam sulfat. Peningkatan konsentrasi inhibitor menyebabkan penurunan laju korosi, dan pengaruh ini menjadi lebih jelas pada waktu perendaman yang lebih lama. Penelitian terdahulu seperti yang dilakukan oleh Prameswari et al. (2023) menunjukkan hasil yang serupa, di mana inhibitor ekstrak tanaman dapat mengurangi kecepatan korosi, khususnya pada konsentrasi yang lebih tinggi dan waktu perendaman lebih lama.

Pengaruh konsentrasi inhibitor terhadap laju korosi dalam air laut dapat dilihat pada gambar 16.



Gambar 16. Pengaruh konsentrasi inhibitor ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao* Linn.) yang dienkapsulasi dan waktu perendaman terhadap laju korosi baja dalam media air laut

Pada gambar 16 dapat dilihat bahwa Konsentrasi inhibitor enkapsul ekstrak kulit kakao berperan penting dalam mengurangi laju korosi baja dalam media air laut. Semakin tinggi konsentrasi, maka semakin rendah laju korosi. Konsentrasi 0 (tanpa inhibitor) menunjukkan laju korosi tertinggi di setiap titik waktu. Pada hari ke-7, laju korosi mencapai 21.81 mg/cm².hari. Ketika konsentrasi inhibitor ekstrak kulit kakao ditambahkan (0.5 hingga 2.5 mg/mL), laju korosi menurun signifikan. Peningkatan konsentrasi inhibitor memberikan efek pengurangan laju korosi yang signifikan, dengan konsentrasi yang lebih tinggi memberikan efek perlindungan yang lebih baik terhadap korosi baja. Sedangkan pengaruh waktu perendaman konsentrasi inhibitor ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao* Linn.) yang dienkapsulasi terhadap laju korosi baja dalam media air laut dapat dilihat pada gambar 17.



Gambar 17. Pengaruh waktu perendaman dan konsentrasi inhibitor ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao* Linn.) yang dienkapsulasi terhadap laju korosi baja dalam media air laut

Berdasarkan gambar 17, variasi waktu yang digunakan menunjukkan adanya pengaruh waktu terhadap laju korosi pada baja. Semakin lama waktu perendaman maka laju korosi pada baja juga meningkat. Hal ini disebabkan waktu perendaman yang lebih lama memberikan kesempatan lebih besar bagi reaksi korosi untuk berlangsung. Peningkatan laju korosi pada kenaikan waktu disebabkan oleh melemahnya interaksi dari senyawa-senyawa metabolit sekunder dari ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao* Linn.) pada permukaan baja lunak. Gambar 17 menunjukkan nilai laju korosi yang cukup besar adalah pada perendaman didalam air laut tanpa menggunakan inhibitor. Hal itu terjadi karena di dalam air laut terkandung ion kalsium dan magnesium klorida sebagai penyebab korosi

pada baja. Faktor-faktor lain seperti nilai pH asam, salinitas air laut, dan konsentrasi ion klorida dapat mempercepat laju korosi. Logam rentan terkena korosi oleh larutan elektrolit. Dengan demikian, semakin tinggi salinitas air laut dan semakin tinggi kandungan klorida, maka semakin cepat laju korosi. Sifat kimia air laut yang lain (seperti pH) juga sangat berperan pada laju korosi logam. pH yang rendah dapat meningkatkan laju korosi pada logam (Febryani et al., 2024).

Untuk masing-masing nilai pada gambar 16 dan gambar 17 dapat dilihat pada tabel 13 berikut :

Tabel 13. Nilai laju korosi berdasarkan variasi konsentrasi inhibitor ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao* Linn.) yang dienkapsulasi dan waktu perendaman dalam media air laut

VARIASI		Konsentrasi (mg/mL)					
		0	0.5	1	1.5	2	2.5
Waktu Perendaman (Hari)	1	0.695	0.288	0.283	0.250	0.222	0.197
	3	4.570	2.136	2.093	1.975	1.682	1.652
	5	12.984	7.190	6.192	5.937	5.815	5.065
	7	21.808	15.300	14.115	12.744	12.201	11.206

Tabel 13 didapat pengaruh Konsentrasi Inhibitor terhadap Laju Korosi dalam air laut yakni, Pada konsentrasi inhibitor 0 mg/mL (tanpa inhibitor), laju korosi meningkat tajam seiring bertambahnya waktu perendaman. Pada hari pertama, laju korosi tercatat 0.695, namun pada hari ke-7 meningkat menjadi 21.808, ini menunjukkan bahwa tanpa inhibitor, baja mengalami korosi yang sangat cepat dalam air laut. Pada konsentrasi inhibitor 0.5 mg/mL, laju korosi menurun dibandingkan tanpa inhibitor, tetapi masih mengalami peningkatan yang signifikan dengan waktu perendaman. Pada hari pertama, laju korosi tercatat 0.288, sementara pada hari ke-7, laju korosi mencapai 15.300, ini menunjukkan bahwa meskipun inhibitor mengurangi laju korosi, penurunannya tidak sepenuhnya menghentikan proses korosi.

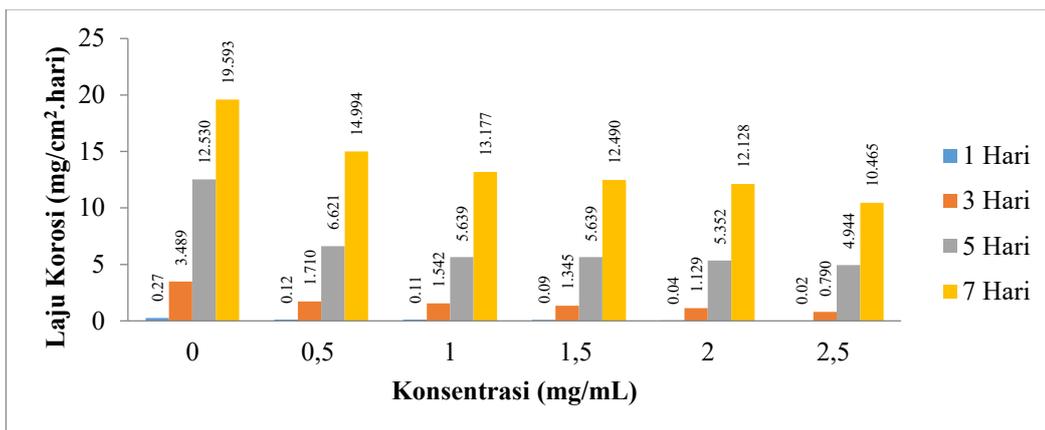
Konsentrasi inhibitor yang lebih tinggi menunjukkan penurunan laju korosi yang lebih besar seiring dengan bertambahnya konsentrasi inhibitor. Pada konsentrasi 2.5 mg/mL, laju korosi pada hari pertama tercatat 0.197, sedangkan pada hari ke-7 laju korosi meningkat menjadi 11.206. Meskipun ada peningkatan laju korosi seiring waktu, laju korosi jauh lebih rendah dibandingkan dengan nilai

tanpa inhibitor atau pada konsentrasi yang lebih rendah. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Ishak et al., (2019) bahwa laju korosi akan menurun seiring meningkatnya konsentrasi inhibitor. Semakin besar konsentrasi inhibitor maka semakin kecil laju korosi yang terjadi pada baja. Temuan ini mendukung hasil dalam Tabel 13, di mana laju korosi berkurang secara signifikan dengan meningkatnya konsentrasi inhibitor dan semakin panjang waktu perendaman.

Pengaruh Waktu Perendaman terhadap Laju Korosi yakni, Laju korosi meningkat seiring bertambahnya waktu perendaman, baik untuk ekstrak yang dienkapsulasi maupun tidak. Ini menunjukkan bahwa media air laut, meskipun mengandung garam yang dapat memperlambat proses korosi, tetap menunjukkan peningkatan laju korosi setelah beberapa hari. Pada hari pertama, perbedaan antara laju korosi pada konsentrasi yang berbeda masih relatif kecil. Namun, pada hari ke-7, perbedaan laju korosi menjadi jauh lebih besar, dengan konsentrasi inhibitor yang lebih tinggi menunjukkan penurunan laju korosi yang lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi yang lebih rendah atau tanpa inhibitor.

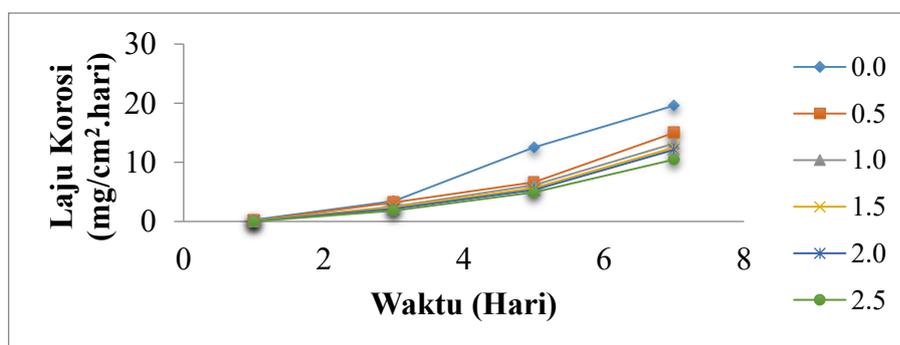
Penurunan laju korosi seiring bertambahnya waktu perendaman juga telah diamati oleh Cholil et al., (2018) dalam studi mereka mengenai inhibitor kitosan limbah cangkang rajungan. Dalam penelitian tersebut, mereka mencatat bahwa laju korosi meningkat seiring waktu, namun inhibitor yang lebih efektif mengurangi kecepatan ini. Hal ini sejalan dengan data dalam Tabel 13, di mana semakin tinggi konsentrasi inhibitor, semakin rendah laju korosi meskipun ada peningkatan laju korosi seiring waktu. Dalam penelitian terkait ekstrak kulit kakao, Mardova et al., (2018) melaporkan bahwa tanin dalam kulit kakao memiliki potensi besar sebagai inhibitor korosi. Hasil mereka mendukung temuan dalam Tabel 13, yang menunjukkan bahwa ekstrak kulit kakao dapat menurunkan laju korosi baja dalam, terutama dengan konsentrasi inhibitor yang lebih tinggi.

Jadi pada penelitian ini, Inhibitor ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao* Linn.) yang dienkapsulasi menunjukkan efektivitas yang signifikan dalam mengurangi laju korosi baja dalam media air laut. Peningkatan konsentrasi inhibitor menyebabkan penurunan laju korosi yang lebih besar, dan pengaruh ini lebih jelas terlihat pada waktu perendaman yang lebih lama. Pengaruh konsentrasi inhibitor terhadap laju korosi dalam air gambut dapat dilihat pada gambar 18.



Gambar 18. Pengaruh konsentrasi inhibitor ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao* Linn.) yang dienkapsulasi dan waktu perendaman terhadap laju korosi baja dalam media air gambut

Pada gambar 18 dapat dilihat bahwa Konsentrasi inhibitor enkapsul ekstrak kulit kakao berperan penting dalam mengurangi laju korosi baja dalam media air gambut. Semakin tinggi konsentrasi, maka semakin rendah laju korosi. Konsentrasi 0 (tanpa inhibitor) menunjukkan laju korosi tertinggi di setiap titik waktu. Pada hari ke-7, laju korosi mencapai 19.593 mg/cm².hari. Ketika konsentrasi inhibitor ekstrak kulit kakao ditambahkan (0.5 hingga 2.5 mg/mL), laju korosi menurun signifikan. Peningkatan konsentrasi inhibitor memberikan efek pengurangan laju korosi yang signifikan, dengan konsentrasi yang lebih tinggi memberikan efek perlindungan yang lebih baik terhadap korosi baja. Sedangkan pengaruh waktu perendaman konsentrasi inhibitor ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao* Linn.) yang dienkapsulasi terhadap laju korosi baja dalam media air gambut dapat dilihat pada gambar 19.



Gambar 19. Pengaruh waktu perendaman dan konsentrasi inhibitor ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao* Linn.) yang dienkapsulasi terhadap laju korosi baja dalam media air gambut

Berdasarkan gambar 19, variasi waktu yang digunakan menunjukkan adanya pengaruh waktu terhadap laju korosi pada baja. Semakin lama waktu maka laju korosi pada baja juga meningkat. Hal ini disebabkan waktu perendaman yang lebih lama memberikan kesempatan lebih besar bagi reaksi korosi untuk berlangsung. Peningkatan laju korosi pada kenaikan waktu disebabkan oleh melemahnya interaksi dari senyawa-senyawa metabolit sekunder dari ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao* Linn.) pada permukaan baja lunak.. Gambar 19 menunjukkan nilai laju korosi yang cukup besar adalah pada perendaman didalam air gambut tanpa menggunakan inhibitor. Hal itu terjadi karena Air gambut mengandung asam humat yang dapat mempercepat pelarutan Fe dan membentuk senyawa kompleks sehingga mempercepat laju korosi. Air gambut bersifat asam lemah dan mengandung senyawa organik dan anorganik seperti asam humat (AH), asam fulvat (AF), anion seperti Cl^- dan SO_4^{2-} serta mengandung kation seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} dan K^+ yang dapat menyebabkan korosi pada baja (Alif et al., 2003).

Untuk masing-masing nilai pada gambar 18 dan gambar 19 dapat dilihat pada tabel 14 berikut :

Tabel 14. Nilai laju korosi berdasarkan variasi konsentrasi inhibitor ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao* Linn.) yang dienkapsulasi dan waktu perendaman dalam media air gambut

VARIASI		Konsentrasi (mg/mL)					
		0	0.5	1	1.5	2	2.5
Waktu Perendaman (Hari)	1	0.267	0.119	0.107	0.087	0.044	0.016
	3	3.489	1.710	1.542	1.345	1.129	0.790
	5	12.530	6.621	5.639	5.639	5.352	4.944
	7	19.593	14.994	13.177	12.490	12.128	10.465

Tabel 14 pengaruh konsentrasi inhibitor terhadap laju korosi dalam air gambut yakni, Pada konsentrasi inhibitor 0 mg/mL (tanpa inhibitor), laju korosi meningkat secara signifikan dengan bertambahnya waktu perendaman. Pada hari pertama, laju korosi tercatat 0.267, namun pada hari ke-7 meningkat tajam menjadi 19.593, ini menunjukkan bahwa tanpa inhibitor, baja mengalami korosi yang cepat dalam air gambut. Pada konsentrasi inhibitor 0.5 mg/mL, laju korosi menurun dibandingkan dengan tanpa inhibitor, tetapi masih mengalami peningkatan yang cukup signifikan dengan waktu perendaman. Pada hari pertama, laju korosi tercatat 0.119, sementara pada hari ke-7, laju korosi mencapai 14.994. Penurunan yang

jasas terjadi pada hari pertama, namun peningkatan lebih terlihat seiring dengan penambahan waktu.

Konsentrasi inhibitor yang lebih tinggi menunjukkan penurunan laju korosi yang signifikan seiring dengan bertambahnya konsentrasi inhibitor. Pada konsentrasi 2.5 mg/mL, laju korosi pada hari pertama tercatat 0.016, sedangkan pada hari ke-7, laju korosi meningkat menjadi 10.465. Penurunan ini menunjukkan bahwa inhibitor lebih efektif dalam mengurangi laju korosi pada konsentrasi yang lebih tinggi, meskipun masih ada sedikit peningkatan laju korosi seiring bertambahnya waktu.

Pengaruh Waktu Perendaman terhadap Laju Korosi yakni Laju korosi meningkat seiring bertambahnya waktu perendaman, baik untuk ekstrak yang dikapsulasi maupun yang tidak dikapsulasi. Hal ini menunjukkan bahwa media air gambut, meskipun mengandung komponen organik yang dapat mempengaruhi reaktivitasnya, tetap menunjukkan peningkatan laju korosi pada baja. Pada hari pertama, perbedaan antara laju korosi pada konsentrasi yang berbeda relatif kecil. Namun, pada hari ke-7, perbedaan laju korosi menjadi lebih besar, dengan konsentrasi inhibitor yang lebih tinggi menunjukkan penurunan laju korosi yang lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi yang lebih rendah atau tanpa inhibitor.

Penurunan laju korosi seiring bertambahnya waktu perendaman juga telah diamati oleh Cholil et al., (2018) dalam studi mereka mengenai inhibitor kitosan limbah cangkang rajungan. Dalam penelitian tersebut, mereka mencatat bahwa laju korosi meningkat seiring waktu, namun inhibitor yang lebih efektif mengurangi kecepatan ini. Hal ini sejalan dengan data dalam Tabel 14, di mana semakin tinggi konsentrasi inhibitor, semakin rendah laju korosi meskipun ada peningkatan laju korosi seiring waktu. Dalam penelitian terkait ekstrak kulit kakao, Mardova et al., (2018) melaporkan bahwa tanin dalam kulit kakao memiliki potensi besar sebagai inhibitor korosi. Hasil mereka mendukung temuan dalam Tabel 14, yang menunjukkan bahwa ekstrak kulit kakao dapat menurunkan laju korosi baja dalam media air gambut, terutama dengan konsentrasi inhibitor yang lebih tinggi.

Jadi, pada tabel 14 didapat hasil bahwa inhibitor ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao* Linn.) yang dikapsulasi menunjukkan efektivitas yang

signifikan dalam mengurangi laju korosi baja dalam media air gambut. Peningkatan konsentrasi inhibitor menyebabkan penurunan laju korosi yang lebih besar, dan pengaruh ini lebih jelas terlihat pada waktu perendaman yang lebih lama. Penelitian terdahulu menunjukkan temuan yang serupa, di mana inhibitor berbahan alami dapat mengurangi laju korosi, dengan pengaruh yang lebih kuat pada konsentrasi yang lebih tinggi dan waktu perendaman lebih lama.

Dari perbandingan tabel 12 (Nilai laju korosi berdasarkan variasi konsentrasi inhibitor ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao* Linn.) yang dienkapsulasi dan waktu perendaman dalam media asam sulfat 0.75 M) , tabel 13 (Nilai laju korosi berdasarkan variasi konsentrasi inhibitor ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao* Linn.) yang dienkapsulasi dan waktu perendaman dalam media air laut) dan tabel 14 (Nilai laju korosi berdasarkan variasi konsentrasi inhibitor ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao* Linn.) yang dienkapsulasi dan waktu perendaman dalam media air gambut) dapat dilihat bahwa berdasarkan variasi konsentrasi yang digunakan yaitu 0.5 ; 1.0 ; 1.5 ; 2.0 dan 2.5 mg/mL menunjukkan terjadinya penurunan laju korosi seiring dengan meningkatnya penambahan konsentrasi ekstrak dari kulit kakao. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Ishak et al., (2019) bahwa laju korosi akan menurun seiring dengan peningkatan konsentrasi inhibitor. Semakin besar konsentrasi inhibitor maka semakin kecil laju korosi yang terjadi pada baja. Dalam waktu 1 hari menunjukkan bahwa penurunan laju korosi masih relative lambat, namun dengan meningkatnya waktu perendaman, penurunan laju korosi semakin cepat dan relatif stabil.

Hal ini membuktikan bahwa ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao* Linn.) mengandung gugus hetero atom dari senyawa- senyawa metabolit sekunder yang terdapat dalam ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao* Linn.) yang berinteraksi dengan besi (Fe) pada permukaan baja dan membentuk lapisan tipis. Lapisan tipis itu dapat menghambat penyerangan ion H^+ pada permukaan baja tersebut sehingga terjadi perlambatan reaksi korosi pada baja tersebut (Gusti et al., 2017a).

Tabel 15. Perbandingan Laju Korosi Baja pada Larutan Asam Sulfat 0.75 M (AS), Air Laut (AL) dan Air Gambut (AG)

	KONSENTRASI																	
	0 mg/mL			0.5 mg/mL			1 mg/mL			1.5 mg/mL			2 mg/mL			2.5 mg/mL		
	AG	AL	AS	AG	AL	AS	AG	AL	AS	AG	AL	AS	AG	AL	AS	AG	AL	AS
1	0.27	0.70	24.37	0.12	0.29	15.93	0.11	0.28	15.57	0.09	0.25	15.11	0.04	0.22	14.27	0.02	0.20	13.11
3	3.49	4.57	346.50	1.71	2.14	251.96	1.54	2.09	234.98	1.34	1.97	226.41	1.13	1.68	204.93	0.79	1.65	192.29
5	12.53	12.98	978.03	6.62	7.19	809.15	5.64	6.19	691.62	5.64	5.94	649.55	5.35	5.81	610.98	4.94	5.06	543.86
7	19.59	21.81	2040.64	14.99	15.30	1841.42	13.18	14.12	1731.78	12.49	12.74	1554.26	12.13	12.20	1505.87	10.46	11.21	1365.09

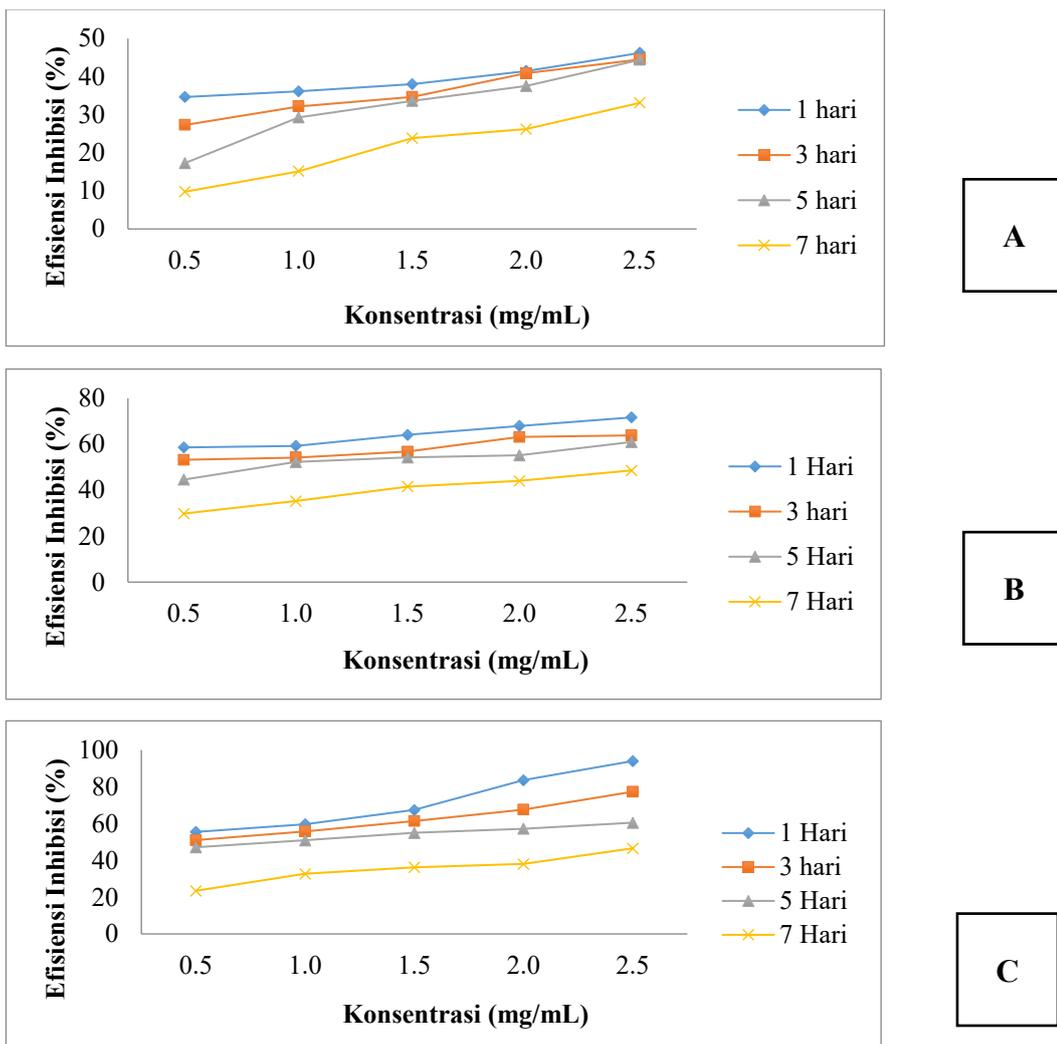
Ket : AG = Air Gambut, AL = Air Laut, AS = Asam Sulfat 0.75 M

Berdasarkan table 15 dapat dilihat bahwa nilai laju korosi tertinggi pada berbagai media korosi dari ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao* Linn.) yang dienkapsulasi yakni pada waktu perendaman 7 hari tanpa menggunakan inhibitor korosi, nilai laju korosi baja pada asam sulfat sebesar 2040.64 mg/cm².hari, diikuti air laut sebesar 21.81 mg/cm².hari, sedangkan air gambut memiliki nilai laju korosi terkecil yakni sebesar 19.59 mg/cm².hari.

Hasil penelitian didapat bahwa berdasarkan perbandingan dari ketiga media korosi, asam sulfat memiliki laju korosi tertinggi, diikuti oleh air laut, setelah itu air gambut. Hal ini karena asam sulfat merupakan asam kuat dalam mengkorosi baja dan bersifat sangat korosif. Asam sulfat sebagai zat pengoksidator kuat mengakibatkan logam Fe teroksidasi menjadi Fe⁺² yang tidak stabil yang dapat bereaksi dengan ion hidroksil yang bermuatan negatif yang diperoleh dari reaksi disosiasi air membentuk ferihidroksida yang dapat bereaksi kembali dengan ion Fe⁺² menghasilkan endapan ferosoferioksida (Fe₃O₄) yang berwarna kuning kemerahan (Gusti et al., 2017a)

Pengaruh Konsentrasi Inhibitor dan Waktu Perendaman terhadap Efisiensi Inhibisi

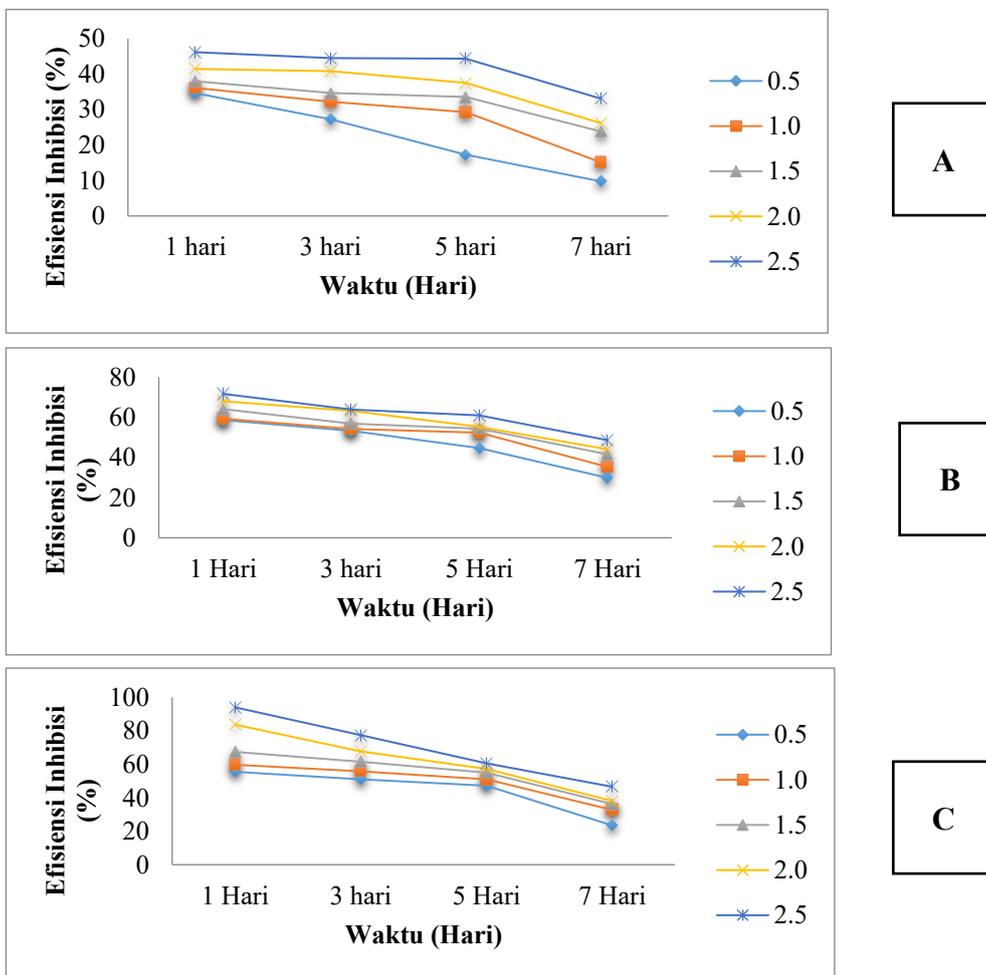
Pengaruh konsentrasi inhibitor terhadap efisiensi inhibisi dalam asam sulfat dapat dilihat pada gambar 20.



Gambar 20. Pengaruh konsentrasi inhibitor ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao* Linn.) yang dikapsulasi dan waktu perendaman terhadap efisiensi inhibisi baja dalam media (a) asam sulfat 0.75 M (b) air laut, (c) air gambut

Pada gambar 20, menunjukkan pengaruh konsentrasi inhibitor ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao* Linn.) yang dikapsulasi terhadap efisiensi inhibisi baja dengan variasi waktu perendaman dalam media korosi asam sulfat 0.75 M, air laut dan air gambut. Efisiensi inhibisi merupakan persentase nilai yang menunjukkan seberapa besar kemampuan inhibitor dalam menghambat laju korosi pada baja. Dari gambar diatas, dapat dilihat bahwa, berdasarkan variasi konsentrasi yang digunakan 0.5; 1; 1.5; 2 dan 2.5 mg/mL menunjukkan terjadinya peningkatan efisiensi inhibisi seiring dengan peningkatan konsentrasi inhibitor. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Ishak et al., (2019) bahwa efisiensi inhibisi akan meningkat sesuai dengan peningkatan konsentrasi. Semakin

besar konsentrasi inhibitor maka semakin tinggi pula efisiensi yang didapat. Hal ini dikarenakan adanya senyawa-senyawa yang mengandung atom N, O, P, S dan atom-atom yang memiliki pasangan elektron bebas yang dapat digunakan sebagai inhibitor korosi yang efektif karena dapat teradsorpsi ke permukaan baja membentuk lapisan tipis sebagai pelindung atau pembatas yang memisahkan permukaan besi dari lingkungan atau media yang korosif. Dengan demikian, semakin besar konsentrasi enkapsul ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao* Linn.) yang ditambahkan ke dalam medium korosif, maka jumlah senyawa yang berperan dalam menghambat proses korosi yang teradsorpsi ke permukaan baja juga semakin banyak, sehingga laju korosi semakin menurun dan efisiensi inhibisi semakin meningkat (Anugrahita et al., 2021).



Gambar 21. Pengaruh waktu perendaman dan konsentrasi inhibitor ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao* Linn.) yang dienkapsulasi terhadap efisiensi inhibisi baja dalam media (a) asam sulfat 0.75 M (b) air laut, (c) air gambut

Berdasarkan gambar 21 di atas, pengaruh waktu terhadap efisiensi inhibisi yaitu semakin lama waktu perendaman yang digunakan maka nilai efisiensi inhibisi nya akan semakin rendah. Hal ini dikarenakan, masa simpan mempengaruhi kondisi ekstrak, semakin lama ekstrak disimpan maka senyawa aktif yang berada didalamnya akan semakin rusak. Sehingga kemampuan ekstrak untuk melindungi lapisan baja akan semakin menurun.

Pengukuran efisiensi inhibisi dilakukan selama tujuh hari. Berdasarkan hasil analisis dan uji lanjut DMRT taraf signifikan 5% menunjukkan adanya pengaruh interaksi yang berbeda nyata pada penggunaan konsentrasi enkapsul terhadap waktu perendaman dalam media asam sulfat 0.75 M.

Tabel 16. Analisis sidik ragam antara waktu perendaman (HARI) dan konsentrasi enkapsul (KONSENTRASI) terhadap Efisiensi Inhibisi korosi dalam asam sulfat 0.75 M menggunakan Ms. Excel

Sumber Ragam	db	JK	KT	Fhit	Ftab (0.05)
Ulangan	2	0.366	0.183	1.368	3.24
Perlakuan	19	5714.128	300.744	2245.737	1.87
Faktor Pertama (HARI)	3	2639.689	879.896	6570.433	2.85
Faktor Kedua (KONSENTRASI)	4	2773.131	693.283	5176.938	2.62
HARI x KONSENTRASI	12	301.308	25.109	187.496	2.02*
Galat	38	5.089	0.134		
Total	59	5719.584			
KK (%)	1.13				

Keterangan : * = signifikan (Fhit > Ftab)

Tabel 16 merupakan analisis sidik ragam antara waktu perendaman (HARI) dan konsentrasi enkapsul (KONSENTRASI) terhadap Efisiensi Inhibisi korosi dalam media asam sulfat 0.75 M yang diolah menggunakan Ms. Excel. Pada tabel 16 didapatkan hasil bahwa terdapat interaksi antara waktu perendaman (HARI) dan konsentrasi enkapsul (KONSENTRASI) terhadap Efisiensi Inhibisi korosi dalam asam sulfat 0.75 M yakni dilihat dari nilai Fhitung (187.496) yang lebih besar dari F tabel (2.02). Untuk membuktikan hasil perhitungan di Ms. Excel tersebut juga dilakukan perhitungan menggunakan aplikasi SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*).

Tabel 17. Analisis sidik ragam antara waktu perendaman (HARI) dan konsentrasi enkapsul (KONSENTRASI) terhadap Efisiensi Inhibisi korosi dalam asam sulfat 0.75 M menggunakan SPSS

Tests of Between-Subjects Effects						
Dependent Variable:						
Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
HARI	Hypothesis	2639.689	3	879.896	6570.433	0.000
	Error	5.089	38	.134 ^a		
KONSENTRASI	Hypothesis	2773.131	4	693.283	5176.938	0.000
	Error	5.089	38	.134 ^a		
ULANGAN	Hypothesis	0.366	2	0.183	1.368	0.267
	Error	5.089	38	.134 ^a		
HARI * KONSENTRASI	Hypothesis	301.308	12	25.109	187.496	0.000
	Error	5.089	38	.134 ^a		

Keterangan : tanda kuning = signifikan (nilai signifikan kurang dari 0.05)

Dari tabel 17, dapat dilihat bahwa terdapat interaksi antara waktu perendaman (HARI) dan konsentrasi enkapsul (KONSENTRASI) terhadap Efisiensi Inhibisi korosi dalam asam sulfat 0.75 M yakni dilihat dari nilai signifikansi nya kurang dari 0.05 (tanda kuning). Hal tersebut sesuai dengan pengolahan analisis data menggunakan Ms. Excel pada tabel 16 sebelumnya.

Untuk melihat pengaruh antara waktu perendaman (HARI) dan konsentrasi enkapsul (KONSENTRASI) terhadap Efisiensi Inhibisi korosi dalam asam sulfat 0.75 M juga dapat diamati menggunakan analisis regresi linear berganda dengan SPSS. Analisis regresi digunakan untuk mengukur seberapa besar pengaruh antara variabel bebas dan variabel terikat. Dalam penelitian ini uji regresi linear berganda dilakukan untuk mendapatkan gambaran bagaimana variabel independen yang meliputi waktu perendaman dan konsentrasi mempengaruhi variabel dependen yaitu efisiensi inhibisi dengan tingkat signifikansi sebesar 0.05, hasil analisis regresi linear berganda dengan SPSS dalam media asam sulfat 0.75 M dapat dilihat pada tabel 18.

Tabel 18. Hasil Uji Regresi Linear Berganda pada Media Asam Sulfat 0.75 M

		Coefficients ^a				Collinearity Statistics		
Model		Unstandardized Coefficients	Std. Error	Standardized Coefficients	t	Sig.	Tolerance	VIF
1	(Constant)	29.212	2.185		13.369	0.000		
	Waktu Perendaman (Hari)	-2.825	0.331	-0.647	-8.527	0.000	1.000	1.000
	Konsentrasi (mg/mL)	9.591	1.048	0.695	9.155	0.000	1.000	1.000

a. Dependent Variable: Efisiensi Inhibisi (%)

Dari tabel 18 didapat persamaan regresi linear berganda dari variabel Waktu Perendaman dan Konsentrasi terhadap Efisiensi Inhibisi yakni :

$$Y = B_1 \cdot X_1 + B_2 \cdot X_2 + C$$

$$\text{Efisiensi Inhibisi} = -2.825 \cdot \text{Waktu Perendaman} + 9.591 \cdot \text{Konsentrasi} + 29.212$$

$$Y = -2.825 X_1 + 9.591 X_2 + 29.212$$

Hal tersebut menunjukkan bahwa,

- Koefisien -2.825 untuk Waktu Perendaman (Hari) menunjukkan bahwa setiap kenaikan waktu sebesar satu satuan akan menurunkan Efisiensi Inhibisi sebesar 2.825 satuan (dengan asumsi konsentrasi tetap)
- Koefisien 9.591 untuk Konsentrasi menunjukkan bahwa setiap kenaikan konsentrasi sebesar satu satuan akan meningkatkan efisiensi inhibisi sebesar 9.591 satuan (dengan asumsi Waktu perendaman tetap)
- Konstanta 29.212 menunjukkan bahwa jika Waktu Perendaman dan Konsentrasi Keduanya nol, efisiensi inhibisi diperkirakan akan berada pada level 29.212

Selanjutnya, dilakukan uji lanjut DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*) pada taraf 5 %.

Tabel 19. Pengaruh waktu perendaman dan konsentrasi enkapsul terhadap efisiensi inhibisi korosi dalam media asam sulfat 0.75 M

Waktu (Hari)	Konsentrasi Enkapsul (mg/mL)				
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
1 Hari	34.64 aE ±0.60	36.10 aD ±0.13	37.99 aC ±0.42	41.46 aB ±0.28	46.20 aA ±0.72
3 Hari	27.29 bE ±0.53	32.19 bD ±0.62	34.66 bC ±0.39	40.86 bB ±0.17	44.50 bA ±0.40
5 Hari	17.27 cE ±0.26	29.29 cD ±0.09	33.59 cC ±0.21	37.53 cB ±0.26	44.39 bA ±0.34
7 Hari	9.76 dE ±0.08	15.13 dD ±0.15	23.83 dC ±0.10	26.21 dB ±0.37	33.10 cA ±0.29
KK %	1.13				

Keterangan : Nilai rata-rata yang diikuti dengan huruf yang sama pada setiap kolom dengan huruf kecil (vertikal) dan setiap baris huruf besar (horizontal) menunjukkan tidak berbeda nyata menurut DMRT pada taraf 5%.

Pada Tabel 19, menunjukkan nilai efisiensi inhibisi berdasarkan pengaruh waktu perendaman dan konsentrasi enkapsul ekstrak kulit kakao dengan menggunakan uji statistik DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*) taraf signifikan 5%. Huruf kecil (a, b, c, d) yang terdapat di setiap kolom menunjukkan perbedaan signifikan antar waktu perendaman pada konsentrasi yang sama. Sebagai contoh, untuk konsentrasi 2.5 mg/mL, nilai efisiensi pada 1 hari (a) lebih tinggi secara signifikan dibandingkan dengan nilai efisiensi pada 7 hari (c). Huruf besar (A, B, C, D, E) pada setiap baris menunjukkan perbedaan signifikan antar konsentrasi enkapsul pada waktu yang sama. Sebagai contoh, pada waktu perendaman 1 hari, konsentrasi enkapsul 2.5 mg/mL (A) menunjukkan efisiensi inhibisi yang lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi enkapsul 0.5 mg/mL (E).

Pada tabel 19 didapat bahwa Efisiensi inhibisi korosi menurun dengan bertambahnya waktu perendaman. Hal ini terlihat dari penurunan nilai efisiensi inhibisi pada semua konsentrasi enkapsul dari 1 hari ke 7 hari.

- Pada 1 hari, efisiensi tertinggi tercatat pada konsentrasi enkapsul 2.5 mg/mL (46.20%) dan yang terendah pada konsentrasi 0.5 mg/mL (34.64%).
- Pada 3 hari, terjadi penurunan efisiensi pada semua konsentrasi, dengan konsentrasi 2.5 mg/mL tetap memiliki efisiensi tertinggi (44.50%), sementara konsentrasi 0.5 mg/mL memiliki efisiensi terendah (27.29%).

- Pada 5 hari, penurunan efisiensi terus berlanjut, dan nilai efisiensi tertinggi tetap pada 2.5 mg/mL (44.39%), dengan konsentrasi 0.5 mg/mL masih terendah (17.27%).
- Pada 7 hari, efisiensi inhibisi lebih rendah lagi di semua konsentrasi, dengan konsentrasi 2.5 mg/mL tetap yang tertinggi (33.10%) dan 0.5 mg/mL yang terendah (9.76%).

Sedangkan Konsentrasi enkapsul yang lebih tinggi cenderung memberikan efisiensi inhibisi yang lebih baik.

- Pada setiap waktu perendaman, konsentrasi 2.5 mg/mL memiliki nilai efisiensi tertinggi, sedangkan konsentrasi 0.5 mg/mL selalu memberikan nilai terendah.
- Ini menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi enkapsul meningkatkan kemampuannya dalam menghambat korosi, meskipun ada penurunan efisiensi seiring dengan berjalannya waktu.

Dari data yang ada, dapat dilihat bahwa meskipun konsentrasi lebih tinggi memberikan efisiensi yang lebih baik, waktu perendaman yang lebih lama menyebabkan penurunan efisiensi. Sebagai contoh, pada 1 hari konsentrasi 2.5 mg/mL memberikan efisiensi 46.20%, sementara pada 7 hari hanya memberikan 33.10%. Ini menunjukkan bahwa meskipun konsentrasi lebih tinggi memberikan efisiensi yang lebih baik, efek dari waktu perendaman yang lebih lama menyebabkan penurunan efisiensi inhibisi. Koefisien Variasi (KK %) sebesar 1.13 menunjukkan bahwa variasi dalam data relatif kecil, dengan fluktuasi hanya sebesar 1.13%. Ini menunjukkan bahwa data efisiensi inhibisi yang diperoleh cukup konsisten, dan perbedaan antara sampel yang diuji tidak terlalu besar.

Untuk melihat nilai efisiensi inhibisi berdasarkan pengaruh waktu perendaman dan konsentrasi enkapsul dalam media air laut dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 20. Analisis sidik ragam antara waktu perendaman (HARI) dan konsentrasi enkapsul (KONSENTRASI) terhadap Efisiensi Inhibisi korosi dalam media air laut menggunakan Ms. Excel

Sumber Ragam	db	JK	KT	Fhit	Ftab (0.05)
Ulangan	2	0.03	0.016	0.121	3.24
Perlakuan	19	6625.55	348.713	2644.097	1.87
Faktor Pertama (HARI)	3	4876.67	1625.556	12325.686	2.85
Faktor Kedua (KONSENTRASI)	4	1620.20	405.049	3071.261	2.62
HARI x KONSENTRASI	12	128.69	10.724	81.313	2.02*
Galat	38	5.01	0.132		
Total	59	6630.59			
KK (%)	0.67				

Keterangan : * = signifikan (Fhit > Ftab)

Tabel 20 merupakan analisis sidik ragam antara waktu perendaman (HARI) dan konsentrasi enkapsul (KONSENTRASI) terhadap Efisiensi Inhibisi korosi dalam media air laut yang diolah menggunakan Ms. Excel. Pada tabel 20 didapatkan hasil bahwa terdapat interaksi antara waktu perendaman (HARI) dan konsentrasi enkapsul (KONSENTRASI) terhadap Efisiensi Inhibisi korosi dalam air laut yakni dilihat dari nilai Fhitung (81.313) yang lebih besar dari F tabel (2.02). Untuk membuktikan hasil perhitungan di Ms. Excel tersebut juga dilakukan perhitungan menggunakan aplikasi SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*).

Tabel 21. Analisis sidik ragam antara waktu perendaman (HARI) dan konsentrasi enkapsul (KONSENTRASI) terhadap Efisiensi Inhibisi korosi dalam asam sulfat 0.75 M menggunakan SPSS

Tests of Between-Subjects Effects						
Dependent Variable:						
Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
HARI	Hypothesis	4876.667	3	1625.556	12325.686	0.000
	Error	5.012	38	.132 ^a		
KONSENTRASI	Hypothesis	1620.196	4	405.049	3071.261	0.000
	Error	5.012	38	.132 ^a		
ULANGAN	Hypothesis	0.032	2	0.016	0.121	0.886
	Error	5.012	38	.132 ^a		
HARI * KONSENTRASI	Hypothesis	128.686	12	10.724	81.313	0.000
	Error	5.012	38	.132 ^a		

Keterangan : tanda kuning = signifikan (nilai signifikan kurang dari 0,05)

Dari tabel 21, dapat dilihat bahwa terdapat interaksi antara waktu perendaman (HARI) dan konsentrasi enkapsul (KONSENTRASI) terhadap Efisiensi Inhibisi korosi dalam asam sulfat 0.75 M yakni dilihat dari nilai signifikansi nya kurang dari 0.05 (tanda kuning). Hal tersebut sesuai dengan pengolahan analisis data menggunakan Ms. Excel pada tabel 20 sebelumnya.

Untuk melihat pengaruh antara waktu perendaman (HARI) dan konsentrasi enkapsul (KONSENTRASI) terhadap Efisiensi Inhibisi korosi dalam air laut juga dapat diamati menggunakan analisis regresi linear berganda dengan SPSS. Analisis regresi digunakan untuk mengukur seberapa besar pengaruh antara variabel bebas dan variabel terikat. Dalam penelitian ini uji regresi linear berganda dilakukan untuk mendapatkan gambaran bagaimana variabel independen yang meliputi waktu perendaman dan konsentrasi mempengaruhi variabel dependen yaitu efisiensi inhibisi dengan tingkat signifikansi sebesar 0.05, hasil analisis regresi linear berganda dengan SPSS dalam media air laut dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 22. Hasil Uji Regresi Linear Berganda pada Media Air Laut

Coefficients ^a								
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		Collinearity Statistics		
		B	Std. Error	Beta	t	Sig.	Tolerance	VIF
1	(Constant)	58.612	1.891		30.999	0.000		
	Waktu Perendaman (Hari)	-3.911	0.287	-0.832	-13.642	0.000	1.000	1.000
	Konsentrasi (mg/mL)	7.347	0.907	0.494	8.104	0.000	1.000	1.000

a. Dependent Variable: Efisiensi Inhibisi (%)

Dari tabel di atas didapat persamaan regresi linear berganda dari variabel Waktu Perendaman dan Konsentrasi terhadap Efisiensi Inhibisi yakni :

$$Y = B_1 \cdot X_1 + B_2 \cdot X_2 + C$$

$$\text{Efisiensi Inhibisi} = -3.911 \cdot \text{Waktu Perendaman} + 7.347 \cdot \text{Konsentrasi} + 58.612$$

$$Y = -3.911 X_1 + 7.347 X_2 + 58.612$$

Hal tersebut menunjukkan bahwa,

- Koefisien - 3.911 untuk Waktu Perendaman (Hari) menunjukkan bahwa setiap kenaikan waktu sebesar satu satuan akan menurunkan Efisiensi Inhibisi sebesar 3.911 satuan (dengan asumsi konsentrasi tetap)

- Koefisien 7.347 untuk Konsentrasi menunjukkan bahwa setiap kenaikan konsentrasi sebesar satu satuan akan meningkatkan efisiensi inhibisi sebesar 7.347 satuan (dengan asumsi Waktu perendaman tetap)
- Konstanta 58.612 menunjukkan bahwa jika Waktu Perendaman dan Konsentrasi Kedua nya nol, efisiensi inhibisi diperkirakan akan berada pada level 58.612

Selanjutnya, dilakukan uji lanjut DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*) pada taraf 5 %.

Tabel 23. Pengaruh waktu perendaman dan konsentrasi enkapsul terhadap efisiensi inhibisi korosi dalam media air laut

Waktu (Hari)	Konsentrasi Enkapsul (mg/mL)				
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
1 Hari	58.64 aE ±0.38	59.31 aD ±0.15	64.10 aC ±0.09	68.00 aB ±0.36	71.68 aA ±0.2
3 Hari	53.25 bE ±0.22	54.20 bD ±0.31	56.79 bC ±0.21	63.19 bB ±0.55	63.86 bA ±0.47
5 Hari	44.63 cE ±0.2	52.31 cD ±0.34	54.27 cC ±0.19	55.22 cB ±0.51	60.99 cA ±0.58
7 Hari	29.84 dE ±0.37	35.28 dD ±0.27	41.56 dC ±0.47	44.05 dB ±0.25	48.61 dA ±0.44
KK %	0.67				

Keterangan : Nilai rata-rata yang diikuti dengan huruf yang sama pada setiap kolom dengan huruf kecil (vertikal) dan setiap baris huruf besar (horizontal) menunjukkan tidak berbeda nyata menurut DMRT pada taraf 5%.

Pada Tabel 23, menunjukkan nilai efisiensi inhibisi berdasarkan pengaruh waktu perendaman dan konsentrasi enkapsul ekstrak kulit kakao dalam media korosi air laut dengan menggunakan uji statistik DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*) taraf signifikan 5%. Huruf kecil (a, b, c, d) yang terdapat di setiap kolom menunjukkan perbedaan signifikan antar waktu perendaman pada konsentrasi yang sama. Sebagai contoh, untuk konsentrasi 2.5 mg/mL, nilai efisiensi pada 1 hari (a) lebih tinggi secara signifikan dibandingkan dengan nilai efisiensi pada 7 hari (d). Huruf besar (A, B, C, D, E) pada setiap baris menunjukkan perbedaan signifikan antar konsentrasi enkapsul pada waktu yang sama. Sebagai contoh, pada waktu perendaman 1 hari, konsentrasi enkapsul 2.5 mg/mL (A) menunjukkan efisiensi inhibisi yang lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi enkapsul 0.5 mg/mL (E).

Pada tabel 23 menunjukkan nilai efisiensi inhibisi korosi menurun seiring dengan bertambahnya waktu perendaman dalam air laut. Ini terlihat pada penurunan efisiensi inhibisi dari 1 hari hingga 7 hari pada setiap konsentrasi enkapsul.

- Pada 1 hari, efisiensi tertinggi tercatat pada konsentrasi enkapsul 2.5 mg/mL (71.68%) dan terendah pada 0.5 mg/mL (58.64%).
- Pada 3 hari, terjadi penurunan efisiensi pada semua konsentrasi, dengan nilai tertinggi pada 2.5 mg/mL (63.86%) dan terendah pada 0.5 mg/mL (53.25%).
- Pada 5 hari, efisiensi inhibisi terus menurun, dengan nilai tertinggi pada 2.5 mg/mL (60.99%) dan terendah pada 0.5 mg/mL (44.63%).
- Pada 7 hari, efisiensi inhibisi semakin rendah, dengan nilai tertinggi pada 2.5 mg/mL (48.61%) dan terendah pada 0.5 mg/mL (29.84%).

Sedangkan konsentrasi enkapsul yang lebih tinggi menunjukkan efisiensi inhibisi yang lebih baik pada semua titik waktu perendaman.

- Pada setiap waktu perendaman, konsentrasi 2.5 mg/mL memberikan efisiensi tertinggi, sedangkan konsentrasi 0.5 mg/mL memberikan efisiensi terendah.
- Misalnya, pada 1 hari, konsentrasi 2.5 mg/mL menunjukkan efisiensi inhibisi sebesar 71.68%, sementara 0.5 mg/mL hanya menunjukkan 58.64%.
- Ini menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi enkapsul meningkatkan kemampuannya dalam menghambat korosi, meskipun ada penurunan efisiensi seiring dengan berjalannya waktu.

Dari data yang didapat, dapat dilihat bahwa walaupun peningkatan konsentrasi enkapsul meningkatkan efisiensi inhibisi, waktu perendaman yang lebih lama cenderung mengurangi efisiensi inhibisi, meskipun konsentrasi lebih tinggi tetap memberikan efisiensi yang lebih baik. Sebagai contoh, pada 1 hari, konsentrasi 2.5 mg/mL memiliki efisiensi 71.68%, namun pada 7 hari, efisiensi inhibisi hanya turun menjadi 48.61%. Penurunan efisiensi seiring berjalannya waktu menunjukkan bahwa waktu perendaman yang lebih lama menurunkan efektivitas enkapsul dalam menghambat korosi. Nilai Koefisien Variasi (KK %) sebesar 0.67 menunjukkan variabilitas yang sangat kecil dalam data. Nilai yang

sangat rendah ini menunjukkan bahwa pengukuran efisiensi inhibisi cukup konsisten dan variasi antar sampel yang diuji sangat kecil.

Untuk melihat nilai efisiensi inhibisi berdasarkan pengaruh waktu perendaman dan konsentrasi enkapsul dalam media air gambut dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 24. Analisis sidik ragam antara waktu perendaman (HARI) dan konsentrasi enkapsul (KONSENTRASI) terhadap Efisiensi Inhibisi korosi dalam media air gambut menggunakan Ms. Excel

Sumber Ragam	db	JK	KT	Fhit	Ftab (0.05)
Ulangan	2	0.665	0.333	0.500	3.24
Perlakuan	19	16599.909	873.679	1312.113	1.87
Faktor Pertama (HARI)	3	10943.161	3647.720	5478.235	2.85
Faktor Kedua (KONSENTRASI)	4	4737.851	1184.463	1778.855	2.62
HARI x KONSENTRASI	12	918.896	76.575	115.002	2.02*
Galat	38	25.303	0.666		
Total	59	16625.877			
KK (%)	1.45				

Keterangan : * = signifikan (Fhit > Ftab)

Tabel 24 merupakan analisis sidik ragam antara waktu perendaman (HARI) dan konsentrasi enkapsul (KONSENTRASI) terhadap Efisiensi Inhibisi korosi dalam media air gambut yang diolah menggunakan Ms. Excel. Pada tabel 24 didapatkan hasil bahwa terdapat interaksi antara waktu perendaman (HARI) dan konsentrasi enkapsul (KONSENTRASI) terhadap Efisiensi Inhibisi korosi dalam air gambut yakni dilihat dari nilai Fhitung (115.002) yang lebih besar dari F tabel (2.02). Untuk membuktikan hasil perhitungan di Ms. Excel tersebut juga dilakukan perhitungan menggunakan aplikasi SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*).

Tabel 25. Analisis sidik ragam antara waktu perendaman (HARI) dan konsentrasi enkapsul (KONSENTRASI) terhadap Efisiensi Inhibisi korosi dalam air gambut menggunakan SPSS

Tests of Between-Subjects Effects						
Dependent Variable:						
Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
HARI	Hypothesis	10943.161	3	3647.720	5478.235	0.000
	Error	25.303	38	.666 ^a		
KONSENTRASI	Hypothesis	4737.851	4	1184.463	1778.855	0.000
	Error	25.303	38	.666 ^a		
ULANGAN	Hypothesis	0.665	2	0.333	0.500	0.611
	Error	25.303	38	.666 ^a		
HARI * KONSENTRASI	Hypothesis	918.896	12	76.575	115.002	0.000
	Error	25.303	38	.666 ^a		

Keterangan : tanda kuning = signifikan (nilai signifikan kurang dari 0.05)

Dari tabel 25, dapat dilihat bahwa terdapat interaksi antara waktu perendaman (HARI) dan konsentrasi enkapsul (KONSENTRASI) terhadap Efisiensi Inhibisi korosi dalam air gambut yakni dilihat dari nilai signifikansi nya kurang dari 0.05 (tanda kuning). Hal tersebut sesuai dengan pengolahan analisis data menggunakan Ms. Excel pada tabel 24 sebelumnya.

Untuk melihat pengaruh antara waktu perendaman (HARI) dan konsentrasi enkapsul (KONSENTRASI) terhadap Efisiensi Inhibisi korosi dalam air gambut juga dapat diamati menggunakan analisis regresi linear berganda dengan SPSS. Analisis regresi digunakan untuk mengukur seberapa besar pengaruh antara variabel bebas dan variabel terikat. Dalam penelitian ini uji regresi linear berganda dilakukan untuk mendapatkan gambaran bagaimana variabel independen yang meliputi waktu perendaman dan konsentrasi mempengaruhi variabel dependen yaitu efisiensi inhibisi dengan tingkat signifikansi sebesar 0.05, hasil analisis regresi linear berganda dengan SPSS dalam media gambut dapat dilihat pada tabel 26 berikut.

Tabel 26. Hasil Uji Regresi Linear Berganda pada Media Air Gambut

Model	Coefficients ^a				Collinearity Statistics		
	Unstandardized Coefficients	Std. Error	Standardized Coefficients	t	Sig.	Tolerance	VIF
1 (Constant)	61.009	3.428		17.795	0.000		
Waktu Perendaman (Hari)	-5.922	0.520	-0.796	-11.393	0.000	1.000	1.000
Konsentrasi (mg/mL)	12.516	1.644	0.532	7.614	0.000	1.000	1.000

a. Dependent Variable: Efisiensi Inhibisi (%)

Dari tabel 26 diatas didapat persamaan regresi linear berganda dari variabel Waktu Perendaman dan Konsentrasi terhadap Efisiensi Inhibisi yakni :

$$Y = B_1 \cdot X_1 + B_2 \cdot X_2 + C$$

$$\text{Efisiensi Inhibisi} = - 5.922 \cdot \text{Waktu Perendaman} + 12.516 \cdot \text{Konsentrasi} + 61.009$$

$$Y = - 5.922 X_1 + 12.516 X_2 + 61.009$$

Hal tersebut menunjukkan bahwa,

- Koefisien -5.922 untuk Waktu Perendaman (Hari) menunjukkan bahwa setiap kenaikan waktu sebesar satu satuan akan menurunkan Efisiensi Inhibisi sebesar 5.922 satuan (dengan asumsi konsentrasi tetap)
- Koefisien 12.516 untuk Konsentrasi menunjukkan bahwa setiap kenaikan konsentrasi sebesar satu satuan akan meningkatkan efisiensi inhibisi sebesar 12.516 satuan (dengan asumsi Waktu perendaman tetap)
- Konstanta 61.009 menunjukkan bahwa jika Waktu Perendaman dan Konsentrasi Kedua nya nol, efisiensi inhibisi diperkirakan akan berada pada level 61.009

Selanjutnya, dilakukan uji lanjut DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*) pada taraf 5 %.

Tabel 27. Pengaruh waktu perendaman dan konsentrasi enkapsul terhadap efisiensi inhibisi korosi dalam media air gambut

Waktu (Hari)	Konsentrasi Enkapsul (mg/mL)				
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
1 Hari	55.51 aE ±1.02	59.74 aD ±1.1	67.43 aC ±1.23	83.70 aB ±0.82	94.07 aA ±0.09
3 Hari	51.00 bE ±0.46	55.82 bD ±0.7	61.46 bC ±0.34	67.66 bB ±0.5	77.36 bA ±1.32
5 Hari	47.16 cE ±0.74	50.97 cD ±0.98	55.00 cC ±1.05	57.29 cB ±0.84	60.54 cA ±1.13
7 Hari	23.47 dE ±0.28	32.74 dD ±0.45	36.25 dC ±0.67	38.10 dB ±0.59	46.59 dA ±0.21
KK %	1.45				

Keterangan : Nilai rata-rata yang diikuti dengan huruf yang sama pada setiap kolom dengan huruf kecil (vertikal) dan setiap baris huruf besar (horizontal) menunjukkan tidak berbeda nyata menurut DMRT pada taraf 5%.

Pada Tabel 27, menunjukkan nilai efisiensi inhibisi berdasarkan pengaruh waktu perendaman dan konsentrasi enkapsul ekstrak kulit kakao dalam media korosi air gambut dengan menggunakan uji statistik DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*) taraf signifikan 5%. Huruf kecil (a, b, c, d) yang terdapat di setiap kolom menunjukkan perbedaan signifikan antar waktu perendaman pada konsentrasi yang sama. Sebagai contoh, untuk konsentrasi 2.5 mg/mL, nilai efisiensi pada 1 hari (a) lebih tinggi secara signifikan dibandingkan dengan nilai efisiensi pada 7 hari (d). Huruf besar (A, B, C, D, E) pada setiap baris menunjukkan perbedaan signifikan antar konsentrasi enkapsul pada waktu yang sama. Sebagai contoh, pada waktu perendaman 1 hari, konsentrasi enkapsul 2.5 mg/mL (A) menunjukkan efisiensi inhibisi yang lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi enkapsul 0.5 mg/mL (E).

Pada tabel 27 menunjukkan nilai efisiensi inhibisi korosi menurun seiring bertambahnya waktu perendaman dalam media air gambut, baik pada konsentrasi enkapsul yang rendah maupun tinggi. Penurunan efisiensi ini terlihat pada semua konsentrasi enkapsul yang diuji, dengan efisiensi tertinggi tercatat pada 1 hari dan terendah pada 7 hari.

- Pada 1 hari, efisiensi tertinggi tercatat pada konsentrasi enkapsul 2.5 mg/mL (94.07%) dan terendah pada 0.5 mg/mL (55.51%).

- Pada 3 hari, terjadi penurunan efisiensi pada semua konsentrasi, dengan nilai tertinggi pada konsentrasi 2.5 mg/mL (77.36%) dan terendah pada 0.5 mg/mL (51.00%).
- Pada 5 hari, efisiensi inhibisi terus menurun, dengan nilai tertinggi pada konsentrasi 2.5 mg/mL (60.54%) dan terendah pada 0.5 mg/mL (47.16%).
- Pada 7 hari, efisiensi inhibisi semakin rendah, dengan nilai tertinggi pada konsentrasi 2.5 mg/mL (46.59%) dan terendah pada 0.5 mg/mL (23.47%).

Sedangkan Konsentrasi enkapsul yang lebih tinggi memberikan efisiensi inhibisi yang lebih baik pada setiap titik waktu perendaman. Pada setiap waktu perendaman, konsentrasi 2.5 mg/mL menunjukkan efisiensi tertinggi, sedangkan konsentrasi 0.5 mg/mL memberikan efisiensi terendah.

- Pada waktu perendaman 1 hari, konsentrasi 2.5 mg/mL menunjukkan efisiensi inhibisi sebesar 94.07%, sementara 0.5 mg/mL hanya menunjukkan 55.51%.
- Pada waktu perendaman 3 hari, nilai efisiensi tertinggi tercatat pada 2.5 mg/mL (77.36%) dan terendah pada 0.5 mg/mL (51.00%).
- Pada waktu perendaman 5 hari, konsentrasi 2.5 mg/mL menunjukkan efisiensi 60.54%, sedangkan 0.5 mg/mL hanya 47.16%.
- Pada waktu perendaman 7 hari, konsentrasi 2.5 mg/mL memberikan efisiensi 46.59%, sementara 0.5 mg/mL hanya mencapai 23.47%.

Ini menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi enkapsul meningkatkan kemampuannya dalam menghambat korosi, meskipun ada penurunan efisiensi seiring dengan berjalannya waktu.

Dari data yang didapat, dapat dilihat bahwa walaupun konsentrasi enkapsul yang lebih tinggi memberikan efisiensi inhibisi yang lebih baik, waktu perendaman yang lebih lama cenderung mengurangi efisiensi inhibisi. Ini terlihat jelas pada penurunan efisiensi yang terus terjadi seiring bertambahnya waktu perendaman, meskipun konsentrasi yang lebih tinggi tetap memberikan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan konsentrasi yang lebih rendah. Dapat dilihat, pada waktu perendaman 1 hari, konsentrasi 2.5 mg/mL memberikan efisiensi 94.07%, namun pada waktu perendaman 7 hari, efisiensi inhibisi menurun menjadi 46.59%.

Meskipun demikian, konsentrasi 2.5 mg/mL tetap menunjukkan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan konsentrasi yang lebih rendah.

Penurunan efisiensi seiring berjalannya waktu menunjukkan bahwa waktu perendaman yang lebih lama menurunkan efektivitas enkapsul dalam menghambat korosi. Nilai Koefisien Variasi (KK %) sebesar 1.45 menunjukkan variabilitas yang sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan data pada media lain, tetapi masih terbilang rendah. Artinya, meskipun ada sedikit variasi antar sampel yang diuji, data tetap konsisten.

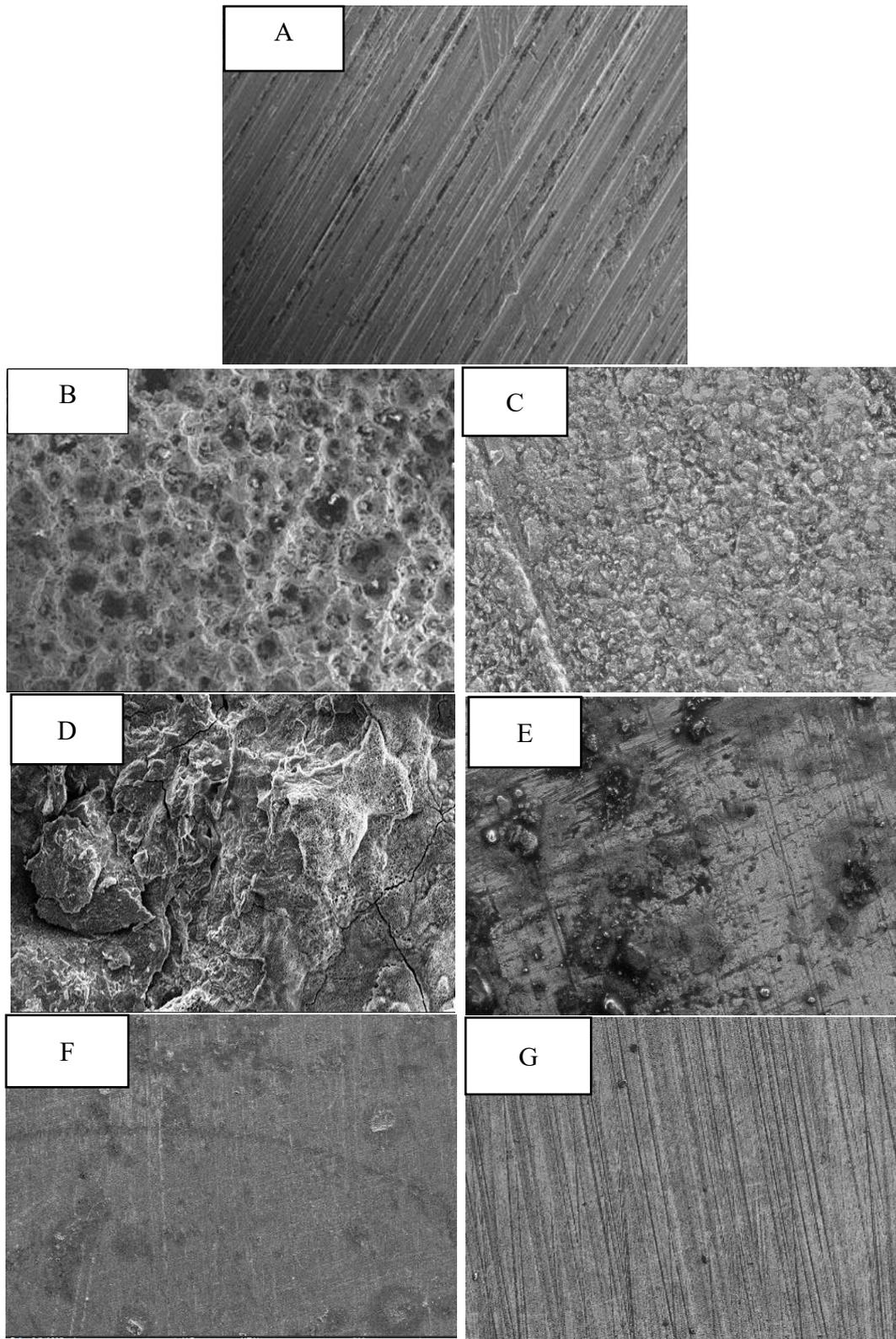
Berdasarkan perbandingan antara tabel 19 (Pengaruh waktu perendaman dan konsentrasi enkapsul terhadap efisiensi inhibisi korosi dalam media asam sulfat 0.75 M), tabel 23 (Pengaruh waktu perendaman dan konsentrasi enkapsul terhadap efisiensi inhibisi korosi dalam media air laut) dan tabel 27 (Pengaruh waktu perendaman dan konsentrasi enkapsul terhadap efisiensi inhibisi korosi dalam media air gambut) diatas dapat dilihat bahwa nilai efisiensi inhibisi korosi berbanding terbalik dengan waktu perendaman pada semua media korosi, dengan penurunan yang jelas seiring waktu. Semakin tinggi Konsentrasi enkapsul yang digunakan akan memberikan efisiensi yang lebih baik pada setiap waktu perendaman hal ini sesuai dengan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Sunarti, *et al.* (2020) bahwa Efisiensi inhibisi akan semakin meningkat dengan bertambahnya konsentrasi. Dan pada penelitian ini air gambut memberikan hasil terbaik secara keseluruhan. Air gambut memberikan hasil yang lebih baik dalam inhibisi korosi dibandingkan dengan air laut dan asam sulfat, baik pada konsentrasi enkapsul yang lebih rendah maupun tinggi. Nilai efisiensi inhibisi tertinggi pada berbagai media korosi dari ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao* Linn.) yang dienkapsulasi terdapat pada konsentrasi 2.5 mg/mL pada waktu perendaman 1 hari yakni pada media korosi air gambut sebesar 94.07%, sedangkan dalam air laut sebesar 71.68% dan dalam asam sulfat 0.75 M sebesar 46.20%.

Hasil penelitian didapat bahwa berdasarkan perbandingan dari ketiga media korosi, air gambut memiliki efisiensi tertinggi, diikuti oleh air laut, setelah itu asam sulfat 0.75 M. Hal ini karena enkapsul ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao* Linn.) dengan penyalut maltodekstrin dan kitosan lebih larut di air gambut, kemudian diikuti oleh air laut setelah itu asam sulfat. Semakin besar kelarutan

inhibitor korosi, maka semakin banyak inhibitor yang teradsorpsi ke permukaan baja membentuk lapisan tipis sebagai pelindung atau pembatas yang memisahkan permukaan besi dari lingkungan atau media yang korosif. Dengan demikian, semakin besar kelarutan enkapsul ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao* Linn.), maka jumlah senyawa yang berperan dalam menghambat proses korosi yang teradsorpsi ke permukaan baja juga semakin banyak, sehingga laju korosi semakin menurun dan efisiensi inhibisi semakin meningkat (Anugrahita *et al.*, 2021).

4.5 Analisis Morfologi Permukaan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Analisis *Scanning Electron Microscopy* (SEM) memberikan informasi mengenai morfologi permukaan baja. Pada penelitian ini, akan diperlihatkan morfologi permukaan baja sebelum perlakuan, setelah perendaman dalam media korosif asam sulfat 0.75 M, air laut dan air gambut tanpa penambahan inhibitor enkapsul ekstrak kulit kakao, dan setelah perendaman dalam media korosif asam sulfat 0.75 M, air laut dan air gambut dengan penambahan inhibitor enkapsul kulit kakao selama 7 hari. Untuk media korosi asam sulfat dan air laut dengan perbesaran 500x dan untuk media korosi air gambut dengan perbesaran 100x, adapun hasil karakterisasinya dapat dilihat pada gambar 22.



Gambar 22. Hasil SEM baja: **a)** sebelum perlakuan, **b)** baja dalam H_2SO_4 0.75 M tanpa inhibitor, **c)** baja dalam H_2SO_4 0.75 M dengan inhibitor enkapsul, **d)** baja dalam air laut tanpa inhibitor, **e)** baja dalam air laut dengan inhibitor enkapsul, **f)** baja dalam air gambut tanpa inhibitor, **g)** baja dalam air gambut dengan inhibitor enkapsul.

Gambar 22a memperlihatkan bahwa permukaan baja sebelum perlakuan terlihat masih rata, halus, dan tidak berpori dikarenakan belum terdampak dari interaksi dengan lingkungan korosif.

Gambar 22b memperlihatkan permukaan baja setelah direndam dalam asam sulfat 0.75 M tanpa penambahan inhibitor selama 7 hari mengalami proses korosi yang ditandai dengan permukaan yang kasar, tidak rata dan berlubang. Hal ini disebabkan oleh serangan ion-ion korosif dari larutan asam yang menyebabkan permukaan baja terkorosi. Menurut Wulandari et al., (2023) korosi yang mungkin terjadi pada baja dalam larutan asam sulfat adalah korosi seragam dan korosi pitting. Korosi seragam disebabkan oleh serangan seragam pada seluruh permukaan logam, pada SEM, korosi seragam akan terlihat sebagai penipisan permukaan baja yang relatif merata. Sedangkan korosi lubang disebabkan oleh serangan lokal pada permukaan baja atau area tertentu pada permukaan baja, membentuk depresi atau lubang-lubang kecil pada permukaan logam. Pada gambar SEM dapat dilihat sebagai area dengan kedalaman yang berbeda-beda

Gambar 22c memperlihatkan morfologi permukaan baja setelah direndam dalam asam sulfat 0.75 M dengan penambahan inhibitor ekstrak kulit kakao selama 7 hari, terlihat bahwa permukaan baja sedikit berlubang dan terlihat lebih tertutupi oleh lapisan pelindung yang dihasilkan oleh interaksi inhibitor terhadap permukaan baja. Lapisan tipis ini menyelimuti permukaan logam dari oksigen, hal ini disebabkan ekstrak kulit buah kakao ini mengandung atom yang memiliki pasangan tunggal, masing-masing atom mendonorkan atomnya yang kemudian menghasilkan senyawa kompleks dengan besi. Senyawa kompleks ini bersifat stabil, tidak mudah teroksidasi dan akan menyelimuti permukaan logam, sehingga bisa menghambat korosi (Putra et al., 2018)

Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Hafazeh, et al. (2025) yang meneliti tentang perbandingan korosi baja tanpa inhibitor dan dengan inhibitor ekstrak *Ferula Assa foetida* L. dalam larutan H_2SO_4 1 M, bahwa permukaan baja yang terkorosi tanpa inhibitor memiliki banyak retakan, yang menunjukkan tingkat serangan korosi yang parah. Namun, dengan adanya inhibitor, serangan korosi pada baja menjadi berkurang dan retakan yang terjadi pada dasarnya tidak terlihat. Kerusakan yang disebabkan oleh serangan H_2SO_4

mengakibatkan tidak mungkin untuk menemukan tanda pengamplasan pada permukaan awal. Penelitian lain yang dilakukan oleh Wulandari et al., (2023) juga mendapatkan hasil serupa bahwa baja tanpa inhibitor dalam larutan asam sulfat menunjukkan adanya korosi sedangkan, dengan inhibitor ekstrak daun sirsak (*Annona muricata* L.) korosi berkurang dan terlihat adanya lapisan pelindung.

Gambar 22d memperlihatkan permukaan baja setelah direndam dalam air laut tanpa penambahan inhibitor selama 7 hari telah mengalami proses korosi yang ditandai dengan tampak permukaan yang kasar, tidak rata dan berlubang. Hal ini disebabkan oleh serangan ion-ion korosif yang menyebabkan permukaan baja terkorosi. Jenis korosi yang terjadi pada media korosif air laut adalah korosi sumuran yaitu jenis korosi yang menyebabkan lubang-lubang pada permukaan logam. Lubang ini bisa besar ataupun kecil. Biasanya lubang tersebut adalah kecil. Korosi sumuran ini sulit dideteksi karena tertutup oleh produk korosi. Lubang-lubang kecil ini bisa menembus dari sisi satu ke sisi yang lain. Apabila lubang yang tembus ini banyak maka bisa menyebabkan konstruksi patah (Windarta, 2014).

Gambar 22e memperlihatkan morfologi permukaan baja setelah direndam dalam air laut dengan penambahan inhibitor enkapsul ekstrak kulit kakao selama 7 hari, terlihat bahwa permukaan baja sedikit berlubang dan lebih tertutupi oleh lapisan pelindung akibat interaksi inhibitor terhadap permukaan baja. Hal ini disebabkan ekstrak kulit buah kakao ini mengandung atom yang memiliki pasangan tunggal, masing-masing atom mendonorkan atomnya yang kemudian menghasilkan senyawa kompleks dengan besi. Senyawa kompleks ini bersifat stabil, tidak mudah teroksidasi dan akan menyelimuti permukaan logam, sehingga bisa menghambat korosi (Putra et al., 2018)

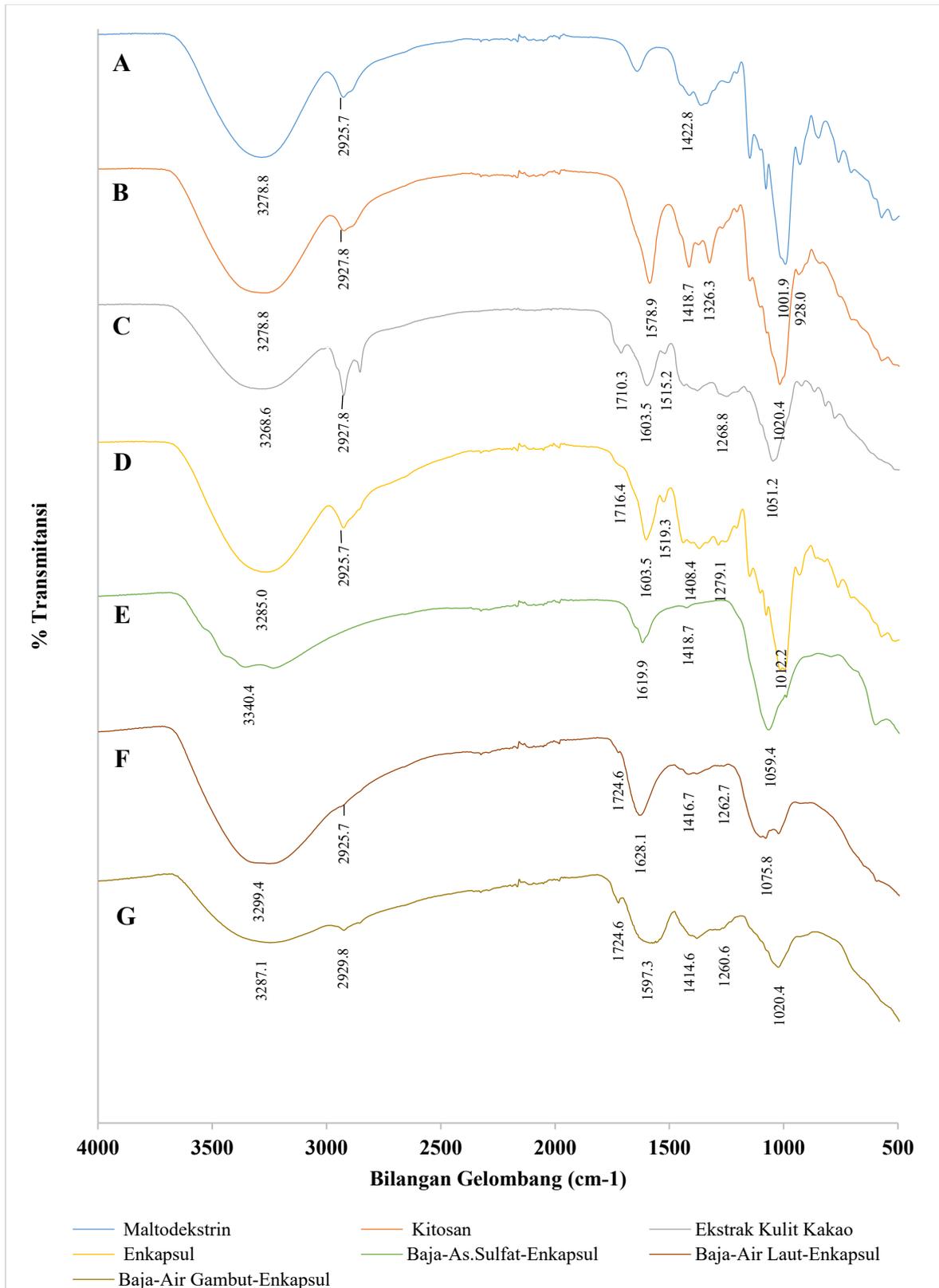
Gambar 22f memperlihatkan permukaan baja setelah direndam dalam air gambut tanpa penambahan inhibitor selama 7 hari telah mengalami proses korosi yang ditandai dengan tampak permukaan yang kasar, tidak rata, terdapat gumpalan, dan terdapat banyaknya pori-pori akibat korosi yang disebabkan oleh air gambut. Korosi yang terjadi pada baja dalam air gambut adalah korosi pit atau lubang. Baja yang berada pada air gambut memiliki korosi lebih merata. Korosi akibat air gambut mengikis permukaan baja (Dalil & Fatra, 2011).

Gambar 22g memperlihatkan morfologi permukaan baja setelah direndam dalam air gambut dengan penambahan inhibitor enkapsul ekstrak kulit kakao selama 7 hari, terlihat bahwa permukaan baja sedikit berlubang dan lebih tertutupi lapisan pelindung karena adanya interaksi inhibitor terhadap permukaan baja. Senyawa yang ada dalam enkapsul ekstrak kulit kakao teradsorpsi pada permukaan baja sehingga membentuk lapisan pelindung yang dapat melindungi baja dari serangan ion korosif (Gusti et al., 2017b). Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Prasetio, (2022) yang meneliti tentang perbandingan korosi baja tanpa inhibitor dan dengan inhibitor ekstrak getah merkung (*Macaranga gigantea*) dalam air gambut, bahwa permukaan baja tanpa inhibitor memiliki permukaan berlubang akibat korosi. Namun, dengan adanya inhibitor, serangan korosi menjadi berkurang dan terdapat lapisan pelindung pada permukaan baja.

Berdasarkan gambar 22 dapat dilihat bahwa media korosi asam sulfat 0.75 M memberikan penampakan permukaan baja yang paling kasar, tidak rata dan berlubang diikuti oleh air laut setelah itu air gambut. Hal ini dapat mengindikasikan bahwa sifat korosifitas dari asam sulfat 0.75 M lebih besar dibandingkan air laut lalu air gambut tanpa pemberian inhibitor. Gambar 22 juga memperlihatkan bahwa dengan adanya inhibitor enkapsul ekstrak kulit kakao dapat memberikan perlindungan kepada baja, sehingga permukaan baja hanya sedikit berlubang dan terlihat tertutupi oleh lapisan pelindung, dengan tampak permukaan yang paling bagus yakni dengan inhibitor enkapsul ekstrak kulit kakao pada media korosi air gambut, kemudian diikuti air laut lalu asam sulfat 0.75 M.

4.6 Analisis Gugus Fungsi menggunakan *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*

Analisis *Fourier Transform Infra Red (FTIR)* digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang berperan sebagai inhibitor korosi pada senyawa metabolit sekunder dari ekstrak kulit kakao. Bilangan gelombang inframerah yang digunakan pada penelitian ini berkisar antara 4000 sampai 600 cm^{-1} . Spektrum FTIR ekstrak kulit kakao, enkapsul ekstrak kulit kakao dan produk (lapisan) korosi baja lunak dalam larutan asam sulfat 0.75 M, air laut dan air gambut yang berisi inhibitor enkapsul dapat dilihat pada Gambar 23.



Gambar 23. Spektrum FTIR (a) maltodekstrin, (b) kitosan, (c) ekstrak kulit kakao, (d) enkapsul ekstrak kulit kakao, (e) baja dalam asam sulfat dengan enkapsul, (f) baja dalam air laut dengan enkapsul, (g) baja dalam air gambut dengan enkapsul

Gambar 23a merupakan hasil analisa spektra FT-IR maltodekstrin. memperlihatkan pola serapan yaitu pada gelombang 3278.8 cm^{-1} yang menunjukkan gugus O-H. Gugus ini adalah gugus fungsional yang mengandung atom oksigen yang terikat pada atom hydrogen. Atom oksigen yang lebih elektronegatif menarik electron dari atom hydrogen, menghasilkan momen dipol pada ikatan O-H. Hal ini memungkinkan gugus OH untuk membentuk ikatan hydrogen dengan molekul air, sehingga maltodekstrin dapat larut dalam air. Adanya gugus-gugus hidroksil bebas ini menyebabkan maltodekstrin memiliki sifat hidrofilik (Ratna et al., 2021). Pita serapan pada bilangan gelombang 2925.7 cm^{-1} menunjukkan adanya peregangan simetris gugus C-H. Pita-pita ini merupakan karakteristik khas polisakarida dan ditemukan dalam spektrum polisakarida lainnya (Queiroz et al., 2015). Pada bilangan gelombang 1422.8 cm^{-1} yang menunjukkan gugus C=C. Pada bilangan gelombang 1001.9 cm^{-1} dapat menunjukkan adanya gugus C-O eter dari ikatan -C-O-C glukosa. Hasil identifikasi spektrokopi inframerah dan uraian dari bilangan gelombang maka dapat disimpulkan bahwa hasil analisis maltodekstrin yakni ditandai dengan adanya gugus O-H, gugus C=C dan gugs C-H alkana. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Koimah, (2018) dan Rochma, (2018), bahwa maltodekstrin mengandung gugus O-H alkohol, C-H alkana dan gugus C=C alifatik.

Gambar 23b merupakan hasil analisa spektra FT-IR kitosan, muncul serapan pada bilangan gelombang 1326.3 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus C-N amina atau amida. Pola serapan pada gelombang 3278.8 cm^{-1} dapat dikaitkan dengan adanya gugus O-H atau N-H. Pada bilangan gelombang 1020.4 cm^{-1} yang menunjukkan gugus C-O. Menurut Mustapa et al., (2017) dan Fadhila & Maharani, (2022) adanya gugus bermuatan positif yaitu gugus amina (-NH₂) dan gugus bermuatan negatif yaitu gugus hidroksil (-OH) sehingga dapat terjadi ikatan ionik yang kuat menyebabkan kitosan bersifat hidrofobik. Hidrofobik adalah ketidakmampuan suatu senyawa untuk mengikat air. Keberadaan gugus karboksil dalam kitosan juga dapat mengakibatkan melemahnya sifat hidrofilik. Hal ini yang menyebabkan semakin banyak penambahan kitosan dalam enkapsul maka kandungan air dalam bahan semakin menurun dan menjadi rendah Pita serapan pada bilangan gelombang 2927.8 cm^{-1} menunjukkan adanya peregangan simetris gugus C-H. Pita-pita ini merupakan karakteristik khas polisakarida dan ditemukan dalam spektrum polisakarida lainnya. (Queiroz et al., 2015). Muncul puncak

pada serapan 928.0 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus C-H alkana (Koimah, 2018). Pada bilangan gelombang 1578.9 cm^{-1} dan 1418.7 cm^{-1} yang menunjukkan gugus C=C. Hasil identifikasi spektrokopi inframerah dan uraian dari bilangan gelombang maka dapat disimpulkan bahwa maka dapat disimpulkan bahwa yang dianalisis memang benar kitosan. Hal ini ditunjukkan dengan adanya gugus C-N amina/amida, gugus C-H alkana, gugus O-H, serta gugus C-O dan telah sesuai dengan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Koimah, (2018) dan Rochma, (2018)

Spektrum FTIR yang diperoleh untuk ekstrak kulit kakao dapat diamati pada Gambar 23c. Pola serapan pada gelombang 3268.6 cm^{-1} dapat dikaitkan dengan deformasi aksial gugus O-H atau N-H. Kulit kakao memiliki senyawa fenolik, lignin, hemiselulosa, selulosa dan asam lemak, yang di dalamnya terdapat gugus hidroksil (OH). Ikatan N-H mungkin ada karena adanya alkaloid dari residu kakao, seperti teobromin dan kafein.

Pada bilangan gelombang 2927.8 cm^{-1} , menunjukkan adanya gugus alkana. Serapan bilangan gelombang ini berhubungan dengan peregangan ikatan C-H pada selulosa dan hemiselulosa. Kehadiran komponen-komponen ini sudah diperkirakan pada kulit kakao, residu ini memiliki sekitar 35% selulosa dan 20% hemiselulosa (de Carvalho et al., 2021).

Pada bilangan gelombang 1710.3 cm^{-1} dapat dikaitkan dengan ikatan C=O yang terdapat pada cincin aromatik lignin dan asam lemak jenuh yang terdapat pada residu kakao. Pola serapan pada bilangan gelombang 1051.2 cm^{-1} dan 1268.8 cm^{-1} dapat dikaitkan dengan gugus C-O atau C-N. Adanya serapan pada bilangan gelombang 1515.2 cm^{-1} disebabkan oleh vibrasi peregangan ikatan rangkap C=C yang berkaitan dengan keberadaan lignin dan senyawa aromatik dari flavonoid kulit kakao. Selain itu, wilayah 1603.5 cm^{-1} dapat menunjukkan ikatan C = N yang ada di teobromin dan kafein. Dengan demikian, gugus fungsi dengan heteroatom (oksigen dan nitrogen) dan ikatan rangkap (C=O, C=C dan C=N) diamati dalam spektrum ekstrak kulit kakao. Keberadaan senyawa organik yang mengandung nitrogen, oksigen, sulfur dan ikatan rangkap dua atau rangkap tiga memudahkan penyerapan pada permukaan logam, membentuk penghalang pelindung yang meminimalkan proses terjadinya korosi (de Carvalho et al., 2021).

Gambar 23d menunjukkan pola kemiripan dengan gambar 23a, 23b, dan 23c. Pola serapan pada gelombang 3285.0 cm^{-1} dapat dikaitkan dengan deformasi aksial gugus O-H atau N-H. Selanjutnya pada bilangan gelombang 2925.7 cm^{-1} menunjukkan adanya peregangan simetris gugus C-H. Kehadiran gugus C=O pada bilangan gelombang 1716.4 cm^{-1} . Kehadiran gugus C=N ditunjukkan pada bilangan gelombang 1603.5 cm^{-1} . Adanya serapan pada bilangan gelombang 1519.3 cm^{-1} dan 1408.4 dapat disebabkan oleh adanya gugus C=C. Pola serapan pada bilangan gelombang 1012.2 cm^{-1} dan 1279.1 cm^{-1} dapat dikaitkan dengan gugus C-O atau C-N.

Adapun spektrum FTIR hasil penelitian yang didapat apabila dibandingkan dengan literatur dapat dilihat pada tabel Tabel 28.

Tabel 28. Perbandingan Spektrum FTIR yang didapat dengan Literatur (de Carvalho et al., 2021) & (Nandiyanto et al., 2023)

Gambar 23a	Gambar 23b	Gambar 23c	Gambar 23d	Gambar 23e	Gambar 23f	Gambar 23g	Literatur	Gugus Fungsi
3278,8	3278,8	3268,6	3285,0	3340,4	3299,4	3287,1	3600-3200	O-H
-	3278,8	3268,6	3285,0	3340,4	3299,4	3287,1	3500-3100	N-H
2925,7	2927,8	2927,8	2925,7	-	2925,7	2929,8	3000-2850	C-H
-	-	1710,3	1716,4	-	1724,6	1724,6	1760-1690	C=O
1422,8	1578,9 & 1418,7	1515,2	1519,3 & 1408,4	1418,7	1416,7	1519,3 & 1414,6	1620-1400	C=C
1001,9	1020,4	1051,2	1012,2	1059,4	1075,8	1020,4	1300-1000	C-O
-	1326,3	1268,8	1279,1	1059,4	1262,7	1260,6	1350-1000	C-N
-	-	1603,5	1603,5	1619,9	1628,1	1597,3	1690-1590	C=N

Keterangan :

gambar 23a = maltodekstrin

gambar 23b = kitosan

gambar 23c = ekstrak kulit kakao

gambar 23d = enkapsul ekstrak kulit kakao

gambar 23e = produk (lapisan) korosi baja lunak dalam asam sulfat 0.75 M yang berisi inhibitor enkapsul ekstrak kulit kakao 2.5 mg/mL

gambar 23f = produk (lapisan) korosi baja lunak dalam air laut yang berisi inhibitor enkapsul ekstrak kulit kakao 2.5 mg/mL

gambar 23g = produk (lapisan) korosi baja lunak dalam air gambuk yang berisi inhibitor enkapsul ekstrak kulit kakao 2.5 mg/mL

Berdasarkan Tabel 28, didapatkan hasil bahwa enkapsul ekstrak kulit kakao (gambar 23d) memiliki serapan bilangan gelombang yang menunjukkan pola kemiripan dengan maltodekstrin (gambar 23a), kitosan (gambar 23b) dan ekstrak kulit kakao (gambar 23c).

Pada gambar 23e (lapisan korosi dengan inhibitor enkapsul dalam asam sulfat), 26f (lapisan korosi dengan inhibitor enkapsul dalam air laut) dan 26g (lapisan korosi

dengan inhibitor enkapsul dalam air gambut) menunjukkan pola kemiripan dengan gambar 23d (inhibitor enkapsul ekstrak kulit kakao).

Gambar 23e merupakan hasil analisa spektra FT-IR produk (lapisan) korosi baja lunak dalam larutan asam sulfat 0.75 M berisi inhibitor enkapsul ekstrak kulit kakao 2.5 mg/mL selama perendaman 7 hari. Pergeseran bilangan gelombang pada gambar 23e terlihat pada gugus OH yakni pada gambar 23d muncul serapan pada daerah 3285.0 cm^{-1} bergeser ke 3340.4 cm^{-1} . Selanjutnya terjadi pergeseran bilangan gelombang untuk gugus fungsi C-N yakni pada bilangan gelombang 1279.1 cm^{-1} bergeser ke 1059.4 cm^{-1} dan juga terjadi pergeseran bilangan gelombang untuk gugus fungsi C-O yakni pada bilangan gelombang 1012.2 cm^{-1} bergeser ke 1059.4 cm^{-1} . Dengan demikian, terjadi pergeseran bilangan gelombang pada gugus fungsi OH, C=C, C-N, C=N dan C-O dikarenakan adanya interaksi antara gugus fungsi tersebut terhadap permukaan baja, dimana gugus-gugus fungsi tersebut berinteraksi dengan Fe^{2+} pada permukaan baja melalui ikatan koordinasi yang menyebabkan terbentuknya lapisan pelindung di permukaan baja yang dapat melindungi baja dari serangan korosi. Gugus fungsi dengan heteroatom (oksigen dan nitrogen) dan ikatan rangkap (C=O, C=C dan C=N) diamati dalam spektrum produk (lapisan) korosi baja lunak yang berisi inhibitor enkapsul ekstrak kulit kakao. Keberadaan senyawa organik yang mengandung nitrogen, oksigen, sulfur dan ikatan rangkap dua atau rangkap tiga memudahkan penyerapan pada permukaan logam, membentuk penghalang pelindung yang meminimalkan proses terjadinya korosi (de Carvalho et al., 2021).

Dapat dilihat bahwa tidak semua gugus fungsi dari enkapsul yang dibuat, hadir di produk lapisan baja dengan asam sulfat. Hal ini terjadi karena kelarutan enkapsul yang rendah di asam sulfat 0.75 M. Menurut Putra dan Niko (2018) semakin rendah kelarutan inhibitor maka semakin sedikit inhibitor yang teradsorpsi (semakin kecil daya inhibisinya). Adanya serapan pada bilangan gelombang ini memberikan perlindungan kepada baja karena menurut de Carvalho et al., (2021), keberadaan senyawa organik yang mengandung ikatan rangkap dua atau rangkap tiga memudahkan penyerapan pada permukaan logam, membentuk penghalang pelindung yang meminimalkan proses terjadinya korosi.

Gambar 23f merupakan hasil analisa spektra FT-IR produk (lapisan) korosi baja lunak dalam air laut berisi inhibitor enkapsul ekstrak kulit kakao 2.5

mg/mL selama perendaman 7 hari. Pergeseran bilangan gelombang pada gambar 23f, terlihat pada gugus OH yakni pada gambar 23d muncul serapan pada daerah 3285.0 cm^{-1} bergeser ke 3299.4 cm^{-1} . Lalu terjadi pergeseran bilangan gelombang untuk gugus fungsi C=O yang mana semula berada pada bilangan gelombang 1716.4 cm^{-1} bergeser ke 1724.6 cm^{-1} . Selanjutnya terjadi pergeseran bilangan gelombang untuk gugus fungsi C-N yakni pada bilangan gelombang 1279.1 cm^{-1} bergeser ke 1262.7 cm^{-1} dan juga terjadi pergeseran bilangan gelombang untuk gugus fungsi C-O yakni pada bilangan gelombang 1012.2 cm^{-1} bergeser ke 1075.8 cm^{-1} . Dengan demikian, terjadi pergeseran bilangan gelombang pada gugus fungsi OH, C=O, C-N, dan C-O dikarenakan adanya interaksi antara gugus fungsi tersebut terhadap permukaan baja, dimana gugus-gugus fungsi tersebut berinteraksi dengan Fe^{2+} pada permukaan baja melalui ikatan koordinasi yang menyebabkan terbentuknya lapisan pelindung di permukaan baja yang dapat melindungi baja dari serangan korosi. Gugus fungsi dengan heteroatom (oksigen dan nitrogen) dan ikatan rangkap (C=O, C=C dan C=N) diamati dalam spektrum produk (lapisan) korosi baja lunak yang berisi inhibitor enkapsul ekstrak kulit kakao. Keberadaan senyawa organik yang mengandung nitrogen, oksigen, sulfur dan ikatan rangkap dua atau rangkap tiga memudahkan penyerapan pada permukaan logam, membentuk penghalang pelindung yang meminimalkan proses terjadinya korosi (de Carvalho et al., 2021).

Dapat dilihat bahwa pada media korosi air laut mengandung lebih banyak gugus fungsi yang teradsorpsi pada permukaan baja dibandingkan dengan media asam sulfat. Hal ini sesuai dengan data kelarutan sebelumnya yang didapat, bahwa enkapsul ekstrak kulit kakao lebih larut di dalam air laut dibandingkan asam sulfat. Menurut Putra dan Niko (2018) semakin besar kelarutan inhibitor maka semakin banyak inhibitor yang teradsorpsi ke permukaan baja sehingga daya inhibisinya pun semakin besar.

Gambar 23g merupakan hasil analisa spektra FT-IR produk (lapisan) korosi baja lunak dalam air gambut berisi inhibitor enkapsul ekstrak kulit kakao 2.5 mg/mL selama perendaman 7 hari. Pergeseran bilangan gelombang pada gambar 23g terlihat pada gugus OH yakni pada gambar 23d muncul serapan pada daerah 3285.0 cm^{-1} bergeser ke 3287.1 cm^{-1} . Lalu terjadi pergeseran bilangan gelombang untuk gugus fungsi C=O yang mana semula berada pada bilangan gelombang 1716.4 cm^{-1} bergeser ke 1724.6 cm^{-1} . Selanjutnya terjadi pergeseran bilangan gelombang untuk gugus fungsi

C-N yakni pada bilangan gelombang 1279.1 cm^{-1} bergeser ke 1260.6 cm^{-1} dan juga terjadi pergeseran bilangan gelombang untuk gugus fungsi C-O yakni pada bilangan gelombang 1012.2 cm^{-1} bergeser ke 1020.4 cm^{-1} . Dengan demikian, terjadi pergeseran bilangan gelombang pada gugus fungsi OH, C=O, C-N, dan C-O dikarenakan adanya interaksi antara gugus fungsi tersebut terhadap permukaan baja, dimana gugus-gugus fungsi tersebut berinteraksi dengan Fe^{2+} pada permukaan baja melalui ikatan koordinasi yang menyebabkan terbentuknya lapisan pelindung di permukaan baja yang dapat melindungi baja dari serangan korosi. Gugus fungsi dengan heteroatom (oksigen dan nitrogen) dan ikatan rangkap (C=O, C=C dan C=N) diamati dalam spektrum produk (lapisan) korosi baja lunak yang berisi inhibitor enkapsul ekstrak kulit kakao. Keberadaan senyawa organik yang mengandung nitrogen, oksigen, sulfur dan ikatan rangkap dua atau rangkap tiga memudahkan penyerapan pada permukaan logam, membentuk penghalang pelindung yang meminimalkan proses terjadinya korosi (de Carvalho et al., 2021).

Dapat dilihat bahwa pada media korosi air gambut mengandung lebih banyak gugus fungsi yang teradsorpsi pada permukaan baja dibandingkan dengan media asam sulfat dan air laut. Hal ini sesuai dengan data kelarutan sebelumnya yang didapat, bahwa enkapsul ekstrak kulit kakao lebih larut di dalam air gambut dibandingkan air laut dan asam sulfat. Menurut Putra dan Niko (2018) semakin besar kelarutan inhibitor maka semakin banyak inhibitor yang teradsorpsi ke permukaan baja sehingga daya inhibisinya pun semakin besar.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dapat disimpulkan bahwa :

1. Perbandingan jumlah maltodekstrin dan kitosan yang ditambah ke dalam pembuatan kapsul ekstrak kulit kakao berpengaruh terhadap kadar air produk kapsul, semakin besar jumlah kitosan maka semakin kecil kadar air kapsul yang didapat. Produk kapsul terbaik adalah yang memiliki kadar air terendah yakni pada kapsul Maltodekstrin-Kitosan ekstrak kulit kakao perbandingan 8:2 %b/v senilai 3.51%, sedangkan kadar air terbesar pada perbandingan 10:0 %b/v yakni 6.82%.

Nilai kelarutan kapsul Maltodekstrin-Kitosan ekstrak kulit kakao perbandingan 8:2 %b/v dalam media korosi H_2SO_4 0.75 M paling rendah di bandingkan dalam media air laut dan air gambut dengan nilai berturut-turut yakni 85.10 %; 95.01 %; dan 99.07 %.

Proses kapsulasi terbukti dalam melindungi dan menjaga kestabilan senyawa-senyawa metabolit sekunder yang terkandung di dalam ekstrak kulit kakao. Kadar tanin pada ekstrak kulit kakao yang tidak dienkapsulasi mengalami penurunan sebesar 37.79% Sedangkan pada ekstrak kulit kakao yang dienkapsulasi hanya mengalami penurunan sebesar 2.02% setelah 15 hari penyimpanan.

2. Semakin besar konsentrasi kapsul ekstrak kulit kakao yang digunakan, maka semakin kecil laju korosi dan semakin besar efisiensi inhibisi pada baja. Sedangkan semakin lama waktu perendaman maka semakin besar laju korosi dan semakin kecil efisiensi inhibisi pada baja. Efisiensi terbesar yakni pada perendaman baja selama 1 hari dengan konsentrasi kapsul ekstrak kulit kakao 2.5 mg/mL dalam air gambut yakni sebesar 94.07 %.
3. Analisis *Scanning Electron Microscope* (SEM) menunjukkan bahwa permukaan baja sebelum perlakuan terlihat masih rata, halus, dan tidak berpori dikarenakan belum terdampak dari interaksi dengan lingkungan korosif. Setelah direndam dalam asam sulfat 0.75 M , air laut dan air gambut tanpa penambahan inhibitor, baja telah mengalami proses korosi yang ditandai

dengan tampak permukaan yang kasar, tidak rata dan berlubang. Permukaan baja setelah direndam dalam asam sulfat 0.75 M, air laut dan air gambut dengan penambahan inhibitor enkapsul ekstrak kulit kakao selama 7 hari, terlihat bahwa permukaan baja sedikit berlubang dan terlihat lebih tertutupi oleh lapisan pelindung yang dihasilkan oleh adanya interaksi inhibitor terhadap permukaan baja.

4. Pada Analisis gugus fungsi menggunakan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) menunjukkan bahwa terjadi pergeseran bilangan gelombang antara enkapsul ekstrak kulit kakao dan lapisan korosi baja yang direndam dalam asam sulfat 0.75 M, air laut dan air gambut. Hal ini dikarenakan adanya interaksi antara enkapsul terhadap permukaan baja. Semakin larut enkapsul maka semakin banyak gugus fungsi yang teradsorpsi ke permukaan baja sehingga daya inhibisinya semakin besar.

5.2 Saran

Saat pembuatan enkapsul ekstrak kulit kakao sebaiknya maltodekstrin dan kitosan yang digunakan di larutkan terlebih dahulu dengan sedikit air begitu pula dengan ekstrak kulit kakao yang digunakan, untuk mempermudah pencampuran larutan enkapsul yang akan dibuat. Dan pada saat pengujian kelarutan enkapsul, untuk enkapsul yang sangat larut dalam air maka sulit di uji dengan penyaringan menggunakan kertas saring, karena enkapsul yang larut akan membentuk gel dan tertahan di kertas saring sehingga tidak bisa di uji lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdallah, M., Fawzy, A., & Hawsawi, H. (2020). Maltodextrin and chitosan polymers as inhibitors for the corrosion of carbon steel in 1.0 M hydrochloric acid. *International Journal of Electrochemical Science*, 15, 5650–5663. <https://doi.org/10.20964/2020.06.82>
- Afdhal, M. (2019). Pemanfaatan Ekstrak Kulit Buah Kakao (*Theobroma Cacao*) Sebagai Inhibitor pada Proses Korosi Besi. *Skripsi Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin : Makassar*.
- Afdhal, M., Maming, & Fauziah, S. (2019). Pemanfaatan Ekstrak Kulit Buah Kakao (*Theobroma Cacao*) Sebagai Inhibitor pada Proses Korosi Besi. *Artikel Penelitian Skripsi*, 1–9.
- Agustin, D. A., & Wibowo, A. A. (2021). Teknologi Enkapsulasi: Teknik Dan Aplikasinya. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 7(2), 202–209. <https://doi.org/10.33795/distilat.v7i2.210>
- Alif, A., Aziz, H., & Trysna, S. (2003). Pengaruh Udara Selama Fototransformasi Air Rawa Gambut Pada λ 254 nm Terhadap Kandungan Nitrit dan Nitrat. *Jurnal Kimia Andalas*, 9(2), 25–28.
- Amanah, N. L., Widharyanti, I. D., & Nugroho, A. (2021). Synthesis of Water Soluble Chitosan Inhibitor from Shrimp Shells and its Corrosion Rate on Mild Steel in Acidic Solution. *Journal of Physics: Theories and Applications*, 5(1), 9. <https://doi.org/10.20961/jphystheor-appl.v5i1.50402>
- Antares, A., Wartini, N. M., & Wrasati, L. P. (2017). Karakteristik Kapsul Ekstrak Pewarna Buah Pandan (*Pandanus tectorius*) Menggunakan Penyalut Maltodekstrin dan Karaginan. *Jurnal Ilmiah Teknologi Pertanian*, 2(2), 220–226.
- Bhattacharjee, R., & Akoroda, M. (2018). *Taxonomy and classification of cacao*. Cambridge, UK: Burleigh Dodds Science Publishing. <https://doi.org/10.19103/as.2017.0021.01>
- Cholil, M. N., Ramadhan, D., & Maulidia, Y. (2018). Inhibisi Korosi Pada Baja Lunak Dalam Media Air Gambut Dengan Metode Elektroplating. *Elkha*, 10(2), 56–61. <https://doi.org/10.26418/elkha.v10i2.26202>
- Dalil, M., & Fatra, W. (2011). Pengaruh Air Gambut Terhadap Kekuatan Lelah Baja Struktur. *Seminar Nasional Teknik Mesin X Jurusan Mesin Fakultas Teknik UB, December*, 855–862.
- de Carvalho, M. C. F., E Silva, I. M. F. C. R., Macedo, P. L. A., Tokumoto, M. S., da Cruz, R. S., & Capelossi, V. R. (2021). Assessment of the hydroalcoholic extract and powder cocoa bean shell as corrosion inhibitors for carbon steel in sodium chloride solution. *Revista Materia*, 26(2). <https://doi.org/10.1590/S1517-707620210002.1278>

- El-banna, F. S., Mahfouz, M. E., Leporatti, S., El-Kemary, M., & Hanafy, N. A. N. (2019). Chitosan as a natural copolymer with unique properties for the development of hydrogels. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(11), 1–11. <https://doi.org/10.3390/app9112193>
- Fadhila, K. N., & Maharani, D. K. (2022). Preparasi dan Karakterisasi Komposit Kitosan-ZnO sebagai Agen Hidrofobik pada Kain Katun. *UNESA Journal of Chemistry*, 11(1), 69–76.
- Farhanandi, B. W., & Indah, N. K. (2022). Karakteristik Morfologi dan Anatomi Tanaman Kakao (*Theobroma cacao* L.) yang Tumbuh pada Ketinggian Berbeda. *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi*, 11(2), 310–325. <https://doi.org/10.26740/lenterabio.v11n2.p310-325>
- Febryani, S. D., Aprilla, R., Putri, N. H., & Pardi, H. (2024). Analisis Pengaruh Sifat Kimia Air Laut Terhadap Korosi Logam Dan Pengendaliannya Menggunakan Proteksi Katodik. *Journal of Research and Education Chemistry*, 6(1), 35–49. [https://doi.org/10.25299/jrec.2024.vol6\(1\).17173](https://doi.org/10.25299/jrec.2024.vol6(1).17173)
- Furtado, L. B., Rocha, J. C., Gomes, J. A. C. P., Nascimento, R. C., Seidl, P. R., Guimarães, M. J. O. C., Tonon, R. V., Cabral, L. M. C., & Mattos, G. N. (2020). Storage time evaluation of a residue from wine industry as a microencapsulated corrosion inhibitor for 1 M HCl. *Materials Chemistry and Physics*, 256(June). <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.123739>
- Guntero, V. A., Peralta, M., Noriega, P., Kneeteman, M. N., & Ferretti, C. A. (2021). *One-Pot Selective Functionalization of Polysaccharides with Urea*. 74. <https://doi.org/10.3390/ecsoc-24-08346>
- Gupta, N. K., Joshi, P. G., Srivastava, V., & Quraishi, M. A. (2018). Chitosan: A macromolecule as green corrosion inhibitor for mild steel in sulfamic acid useful for sugar industry. *International Journal of Biological Macromolecules*, 106, 704–711. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.08.064>
- Gusti, D. R. (2011). Laju Korosi Baja dalam Larutan Asam Sulfat dan dalam Larutan Natrium Klorida. *Sainmatika: Jurnal Sains Dan Matematika Universitas Jambi*, 3(1), 28–31. <https://www.neliti.com/publications/221221/>
- Gusti, D. R., Alif, A., & Efdi, M. (2017a). Corrosion Inhibition of Ethanol Extract of Cassava (*Manihot esculenta*) Leaves on Mild Steel in Sulfuric Acid. *International Journal of ChemTech Research*, 10(2), 163–171.
- Gusti, D. R., Alif, A., & Efdi, M. (2017b). *Corrosion Inhibition of Ethanol Extract of Cassava (Manihot esculenta) Leaves on Mild Steel in Sulfuric Acid*. 10(2), 163–171.
- Gusti, D. R., Lestari, I., Farid, F., & Sirait, P. T. (2019). Protection of mild steel from corrosion using methanol extract of avocado (*Persea americana* mill) seeds in a solution of sulfuric acid. *Journal of Physics: Conference Series*, 1282(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1282/1/012083>

- Hartini, N., Richana, S., Triwibowo, B., Qudus, N., & Kusumaningtyas, R. D. (2023). Sintesis Nanoenkapsulasi Ekstrak Kulit Durian dengan Metode Spray Drying dan Aplikasinya sebagai Biopestisida: Review. *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan*, 2(2), 89–95. <https://doi.org/10.33795/jtkl.v2i2.61>
- Hasrini, R. F., Zakaria, F. R., Adawiyah, D. R., & Suparto, I. H. (2017). Mikroenkapsulasi Minyak Sawit Mentah Dengan Penyalut Maltodekstrin Dan Isolat Protein Kedelai. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pangan*, 28(1), 10–19. <https://doi.org/10.6066/jtip.2017.28.1.10>
- Herman, Sepriyanti, I., Ramadhani, T. R., Yulis, P. A. R., & Putra, A. Y. (2020). *Ekstrak Etanol Limbah Kulit Kakao (Theobroma cacao L.) Sebagai Bahan Baku Berpotensi Obat*. 2(2), 57–61.
- Iriany, Pandiangan, F., & Eka, C. (2017). Ekstraksi Tanin Dari Kulit Kayu Akasia Dengan Menggunakan Microwave : Pengaruh Daya Microwave , Waktu Ekstraksi Dan Jenis Pelarut Extraction of Tannin From Acacia Bark Using Microwave : Impact of. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 6(3), 52–57.
- Ishak, I., Jalaluddin, J., Ginting, Z., & Rahmatika, F. (2019). Analisa Laju Korosi Baja Karbon ST-37 dalam Larutan Asam Sulfat dengan Penambahan Inhibitor Ekstrak Daun Tembakau. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 8(2), 33–41. <https://doi.org/10.29103/jtku.v8i2.2682>
- Khumaidah, N., Suka, G. E., & Syafriadi, S. (2019). Inhibisi Korosi Ekstrak Buah Pinang (ARECA CATECHU L.) Sebagai Penghambat Laju Korosi Pada Baja Karbon Rendah C-Mn Steel dengan Medium Korosif HCL dan NaCl. *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*, 07(01), 17–28.
- Koimah, E. (2018). Optimasi Formula Mikroenkapsulasi Berbahan Semi Refined Carragenan (SRC) Kappa dan maltodekstrin dengan Coating Kitosan Terhadap Viabilitas Lactobacillus acidophilus. *Skripsi . Universitas Brawijaya , Malang*.
- Kurniawan, I., & Zahra, H. (2021). Review: Gallotannins; Biosynthesis, Structure Activity Relationship, Anti-inflammatory and Antibacterial Activity. *Current Biochemistry*, 8(1), 1–16. <https://doi.org/10.29244/cb.8.1.1>
- Lestari, A. D. N. (2022). Kelarutan dan Swelling Power Mikrokapsul β -Karoten Terenkapsulasi dalam Matriks Pati-Kitosan Terikat Silang Ion Tripolifosfat. *Jurnal Natural*, 18(2), 75–83. <https://doi.org/10.30862/jn.v18i2.184>
- Lin, B. lan, Shao, J. jie, Xu, Y. ye, Lai, Y. ming, & Zhao, Z. ning. (2021). Adsorption and corrosion of renewable inhibitor of Pomelo peel extract for mild steel in phosphoric acid solution. *Arabian Journal of Chemistry*, 14(5). <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103114>
- Mardova, L., Ginting, E., & Sembiring, S. (2018). Pengaruh Penambahan Inhibitor Ekstrak Kulit Kakao (Theobroma cacao) Terhadap Laju Korosi Baja API 5L Pada Medium NaCl 3% Dan HCl 3%. *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*, 07(01), 45–54.

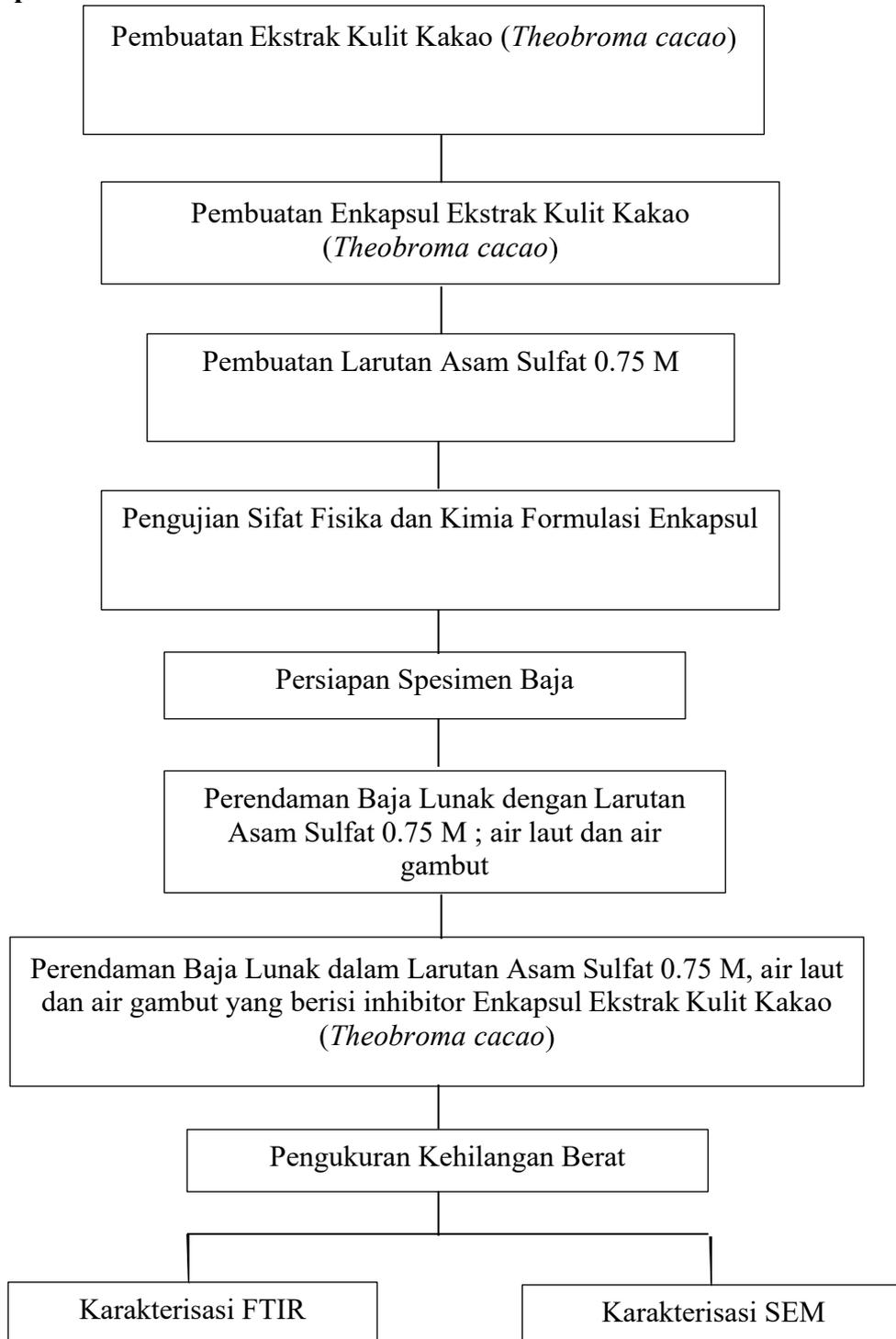
- Mustapa, R., Restuhadi, F., & Efendi, R. (2017). Pemanfaatan Kitosan sebagai Bahan Dasar Pembuatan Edible Film dari Pati Ubi Jalar Kuning. *JOM FAPERTA*, 4(2), 1–12.
- Nandiyanto, A. B. D., Ragadhita, R., & Fiandini, M. (2023). Interpretation of Fourier Transform Infrared Spectra (FTIR): A Practical Approach in the Polymer/Plastic Thermal Decomposition. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 8(1), 113–126. <https://doi.org/10.17509/ijost.v8i1.53297>
- Nofita, D., & Rahmat, D. (2021). Optimasi Perbandingan Pelarut Etanol Air Terhadap Kadar Tanin pada Daun Matoa (*Pometia pinnata* J.R & G. Forst) Secara Spektrofotometri. *Chimica et Natura Acta*, 9(3), 102–106. <https://doi.org/10.24198/cna.v9.n3.36768>
- Noviyanty, A., Hasanuddin, A., Rahim, A., Hutomo, G. S., Alam, N., Rahmatu, R., Kadir, S., Priyantono, E., Salingkat, C. A., & Ariany, S. P. (2023). Encapsulation characteristics of cocoa bean shell extract with maltodextrin as encapsulant. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1253(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1253/1/012124>
- Possani, G. K., Santos, J. P. C., Schneider, E. L., & Scienza, L. C. (2021). Chitosan As a Green Polymeric Inhibitor for Mild Steel : Electrochemical Behavior in Sodium Chloride Medium. *CBPOL*, 3–7.
- Prasetio, M. R. (2022). Efisiensi Penggunaan Ekstrak Getah Merkung (*Macaranga gigantea*) sebagai Inhibitor Korosi yang Ramah Lingkungan pada Baja Lunak dalam Media Air Gambut. *Skripsi. Universitas Jambi*.
- Pratama, M., Razak, R., & Rosalina, V. S. (2019). Analisis Kadar Tanin Total Ekstak Etanol Bunga Cengkeh (*Syzygium aromaticum* L.) Menggunakan Metode Spektrofotometri UV-Vis. *Jurnal Fitofarmaka Indonesia*, 6(2), 368–373. <https://doi.org/10.33096/jffi.v6i2.510>
- Putra, H. B., Affi, J., Gunawarman, G., & Yetri, Y. (2018). Pemanfaatan Ekstrak Kulit Kakao Sebagai Aditif Cat Untuk Pengendalian Laju Korosi Pada Paku Konstruksi Kapal Kayu. *Inovtek Polbeng*, 8(1), 52–57. <https://doi.org/10.35314/ip.v8i1.272>
- Queiroz, M. F., Melo, K. R. T., Sabry, D. A., Sasaki, G. L., & Rocha, H. A. O. (2015). Does the use of chitosan contribute to oxalate kidney stone formation? *Marine Drugs*, 13(1), 141–158. <https://doi.org/10.3390/md13010141>
- Radhamani, A. V., Lau, H. C., & Ramakrishna, S. (2020). Nanocomposite coatings on steel for enhancing the corrosion resistance: A review. *Journal of Composite Materials*, 54(5), 681–701. <https://doi.org/10.1177/0021998319857807>
- Ratna, N. K. A. N., Puspawat, G. A. K. D., & Permana, I. D. G. M. (2021). Pengaruh Konsentrasi Maltodekstrin dan Tween 80 Terhadap Karakteristik Bubuk Minuman Instan Bunga Gumitir (*Tagetes erecta* L.). *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Pangan (ITEPA)*, 10(4), 761–777.

- Raudatul Jannah, S., Ratini, N. N., Windarjoto, W., & Suyanto, H. (2021). Analisis Korosifitas Baja Ringan dengan Metoda Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS). *Kappa Journal*, 5(1), 1–9. <https://doi.org/10.29408/kpj.v5i1.3446>
- Raza, Z. A., Khalil, S., Ayub, A., & Banat, I. M. (2020). Recent developments in chitosan encapsulation of various active ingredients for multifunctional applications. *Carbohydrate Research*, 492(April), 108004. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2020.108004>
- RiauWati, R., Sriwidodo, & Chaerunisaa, A. Y. (2020). Teknik Mikroenkapsulasi Pada Ekstrak Mangosteen. *Journal of Current Pharmaceutical Sciences*, 3(2), 2598–2095.
- Rochma, S. I. I. A. (2018). Optimasi Formula Mikroenkapsulasi Berbahan Semi refined carrageenan Iota dan Maltodekstrin dengan Cating Kitosan terhadap Viabilitas Bifidobacterium bifidum. *Skripsi . Universitas Brawijaya , Malang*.
- Rochmat, A., Liantony, G., & Septiananda, Y. D. (2019). Uji Kemampuan Tanin Daun Ketapang Sebagai Inhibisi Korosi Pada Baja Mild Steel Dalam Pipeline. *Jurnal Integrasi Proses*, 8(1), 45–50. <https://doi.org/10.36055/jip.v8i1.5601>
- Saloko, S., Sulastri, Y., & Kadir, A. (2021). Enkapsulasi Gula Semut Aren Menggunakan Kitosan Dan Maltodekstrin. *Pro Food*, 7(1). <https://doi.org/10.29303/profood.v7i1.164>
- Saputro, F. D., & Sutjahjo, D. H. (2017). Variasi Media Pengkorosi dan Waktu terhadap Laju Korosi pada Baja Rendah Karbon (Mild Steel) dengan Pemodelan Kondisi Sirip Kemudi Kapal. *Jtm*, 5(3), 59–66.
- Satmalawati, E. M., Paramita, B. L., & Nino, J. (2024). Karakteristik Fisikokimia dan Sifat Fungsional Pati Alami Ubi Kayu Hasil Ekstraksi Secara Sederhana. *AGRITEKNO: Jurnal Teknologi Pertanian*, 13(1), 55–64. <https://doi.org/10.30598/jagritekno.2024.13.1.55>
- Setiawan, A., Kristina Dewi, A., & Mukhlis. (2019). Pengaruh Surface Treatment Terhadap Ketahanan Korosi Baja Karbon Tercoating Zinc Fosfat Pada Media Asam Sulfat. *Jurnal Teknologi*, 11(1), 57–66. <https://dx.doi.org/10.24853/jurtek.11.1.57-66>
- Sibarani, R. G., Ramadhanti, P., KurniawanSyah, G., & Gusti, D. R. (2021). Eksplorasi Limbah Kulit Nanas Sebagai Biomaterial Dalam Menanggulangi Permasalahan Korosi Pada Baja. *Journal BiGME*, 1(1), 38–45. <https://doi.org/10.22437/bigme.v1i1.12312>
- Stiadi, Y., Arief, S., Aziz, H., Efdi, M., & Emriadi, E. (2019). Inhibisi Korosi Baja Ringan Menggunakan Bahan Alami dalam Medium Asam Klorida: Review. *Jurnal Riset Kimia*, 10(1), 51–65. <https://doi.org/10.25077/jrk.v12i2.321>
- Sudiarti, T., Anriyani, N., & Supriadin, A. (2019). Potensi Ekstrak Kulit Buah Manggis Sebagai Inhibitor Korosi Baja Karbon dalam Larutan NaCl 1% Jenuh Karbon Dioksida. *Al-Kimiya*, 5(2), 78–83. <https://doi.org/10.15575/ak.v5i2.3837>

- Sumelka, W. (2016). Fractional calculus for continuum mechanics - Anisotropic non-locality. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences*, 64(2), 361–372. <https://doi.org/10.1515/bpasts-2016-0041>
- Syamsul, E. S., Amanda, N. A., & Lestari, D. (2020). Perbandingan Ekstrak Lamur *Aquilaria malaccensis* dengan Metode Maserasi dan Refluks. *Jurnal Riset Kefarmasian Indonesia*, 2(2), 97–104. <https://jurnalfarmasi.or.id/index.php/jrki/article/download/85/70/>
- Utomo, B. (2009). Jenis Korosi Dan Penanggulangannya. *Kapal*, 6(2), 138–141.
- Verma, C., Kumar, A. M., Mazumder, M. A. J., & Quraishi, M. A. (2018). Chitosan-Based Green and Sustainable Corrosion Inhibitors for Carbon Steel. *Chitin-Chitosan - Myriad Functionalities in Science and Technology*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.74989>
- Wahyuni, S., Suryati, & Emriadi. (2022). Ekstrak Daun Kecapi Sebagai Inhibitor Korosi Baja Dalam Medium Asam Klorida. *Katalisator*, 7(1), 41–51.
- Wijayanti, U. (2017). Pemanfaatan Ekstrak Kulit Buah Kakao (*Theobroma cacao*) Sebagai Inhibitor Korosi pada Baja dalam Media Air Gambut sebagai Sumber Belajar pada Materi Redoks di Sekolah Menengah Atas Tri Bhakti Pekanbaru dan Madrasah Aliyah Dar El Hikmah Pekanbaru. *Skripsi. Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau : Pekanbaru*.
- Windarta. (2014). Pengaruh Jenis Media Korosif Terhadap Laju Korosi Besi Cor Kelabu. *SINTEK*, 8(2).
- Wulandari, T., Asdim, A., & Hafizah, M. A. E. (2023). Penghambatan Laju Korosi Baja dalam Larutan Asam Sulfat dengan Variasi Konsentrasi Menggunakan Inhibitor Ekstrak Daun Sirsak (*Annona muricata* L.). *IJCA (Indonesian Journal of Chemical Analysis)*, 6(2), 97–105. <https://doi.org/10.20885/ijca.vol6.iss2.art1>
- Xu, W., Han, E. H., & Wang, Z. (2019). Effect of tannic acid on corrosion behavior of carbon steel in NaCl solution. *Journal of Materials Science and Technology*, 35(1), 64–75. <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2018.09.001>
- Yuliani, F., & Fauzana, G. (2020). Pemanfaatan Kulit Buah Kakao Sebagai Sumber Antioksidan Alami. *Ranah Research: Journal of Multidisciplinary Research and Development*, 2(4), 119–124. <https://jurnal.ranahresearch.com/index.php/R2J/article/view/312>
- Yuliyati, T. B., Cahyono, E., Wijayati, N., Kimia, J., Matematika, F., Alam, P., & Semarang, U. N. (2020). Enkapsulasi Minyak Kemangi (*Ocimum Basilicum*) Pada Maltodekstrin Dan Î²-Siklodekstrin. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 9(1), 10–16.
- Yunus, A. (2019). Korosi Logam dan Pengendaliannya; Artikel Review. *Jurnal POLIMESIN*, 9(1), 847. <https://doi.org/10.30811/jpl.v9i1.1>

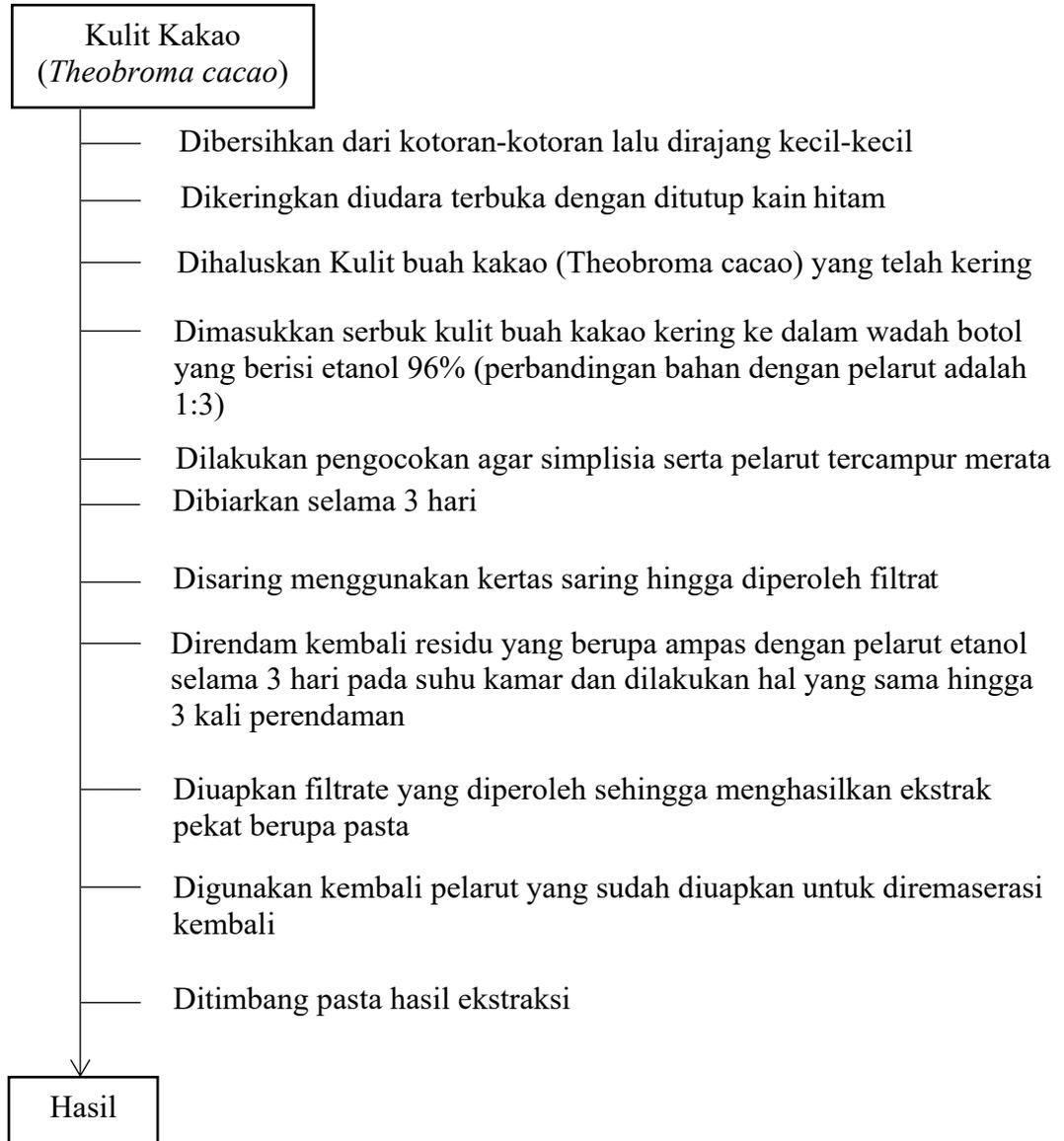
LAMPIRAN

Lampiran 1. Alur Penelitian

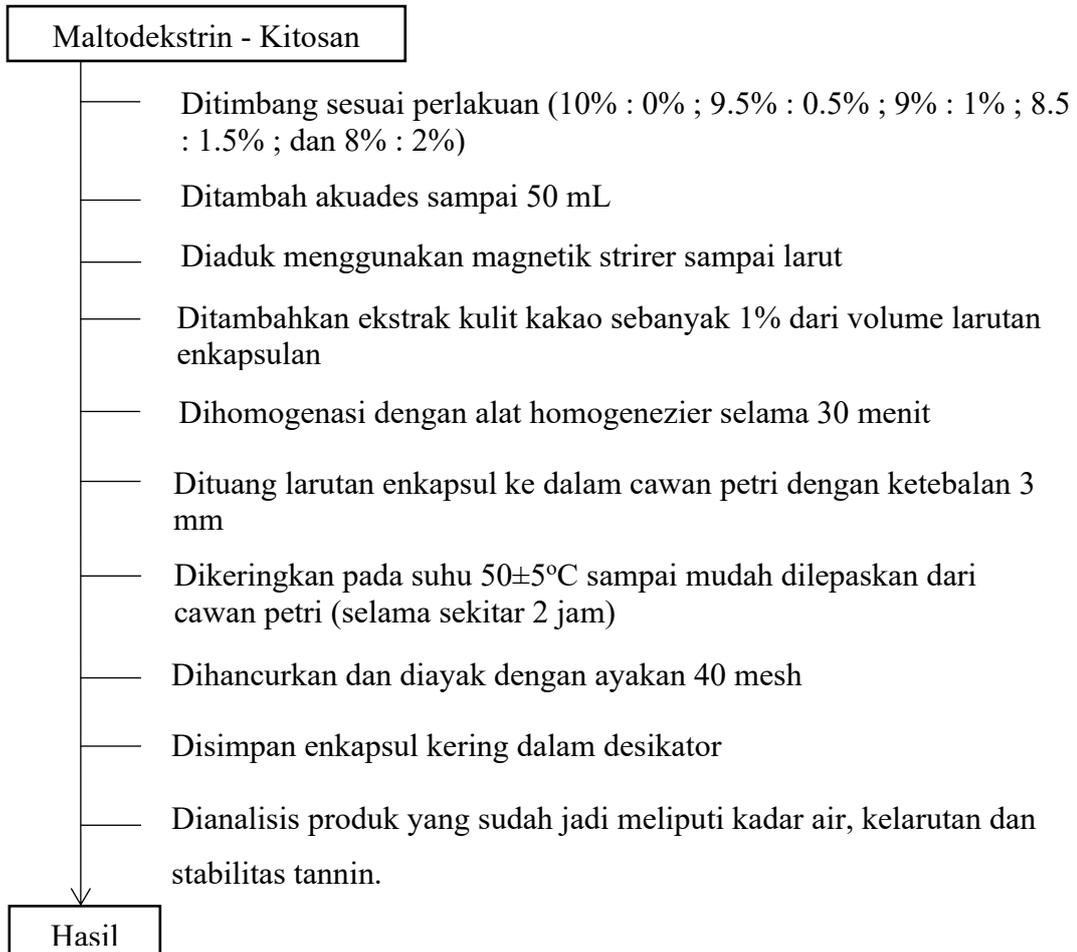


Lampiran 2. Diagram Alir Penelitian

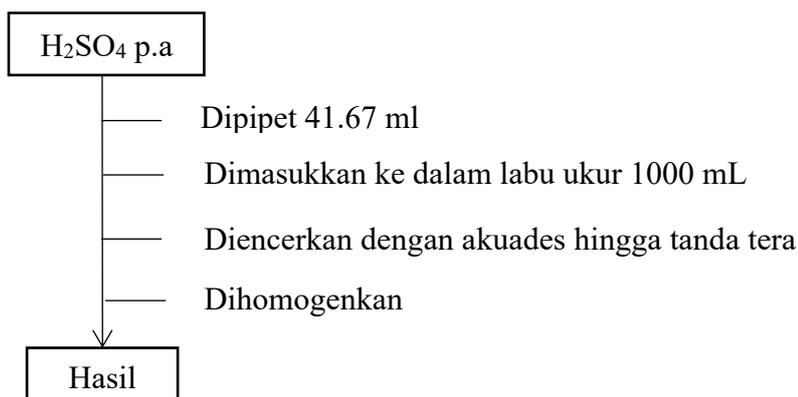
Pembuatan Ekstrak Kulit Kakao (*Theobroma cacao*)



Pembuatan Encapsul Ekstrak Kulit Kakao (*Theobroma cacao*) dengan Penyalut Maltodekstrin-Kitosan

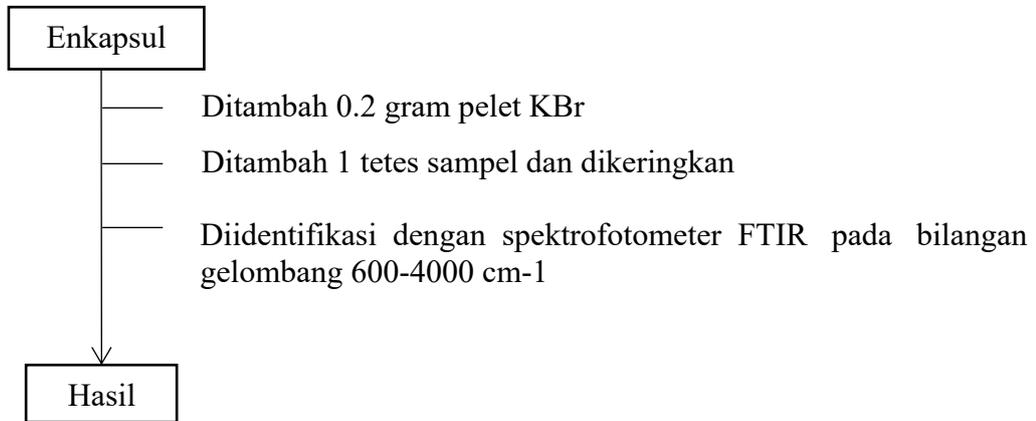


Pembuatan Larutan Asam Sulfat 0.75 M

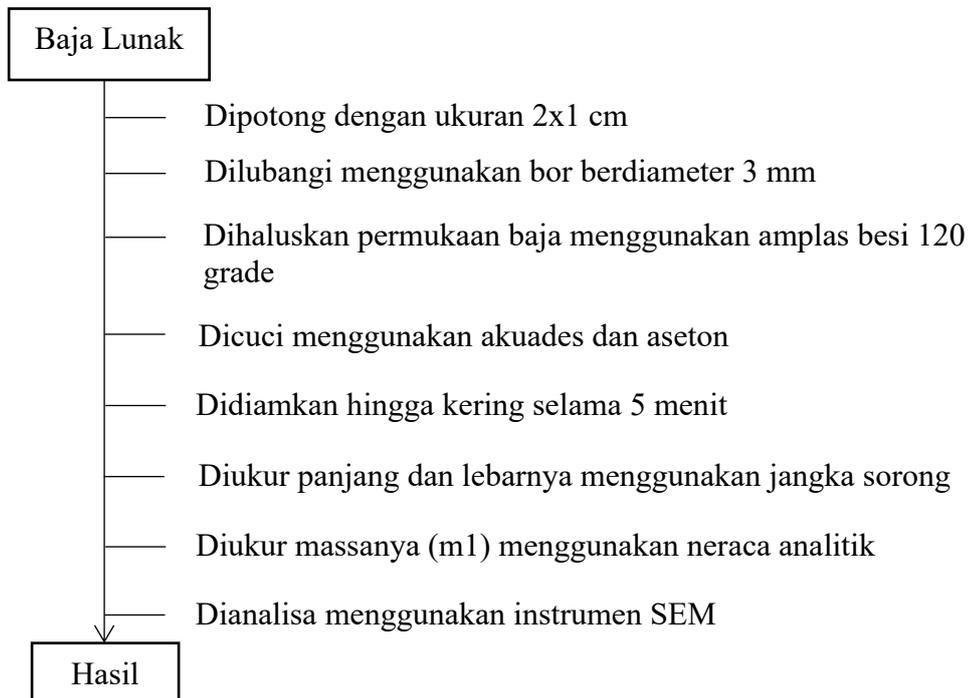


Karakterisasi Enkapsul

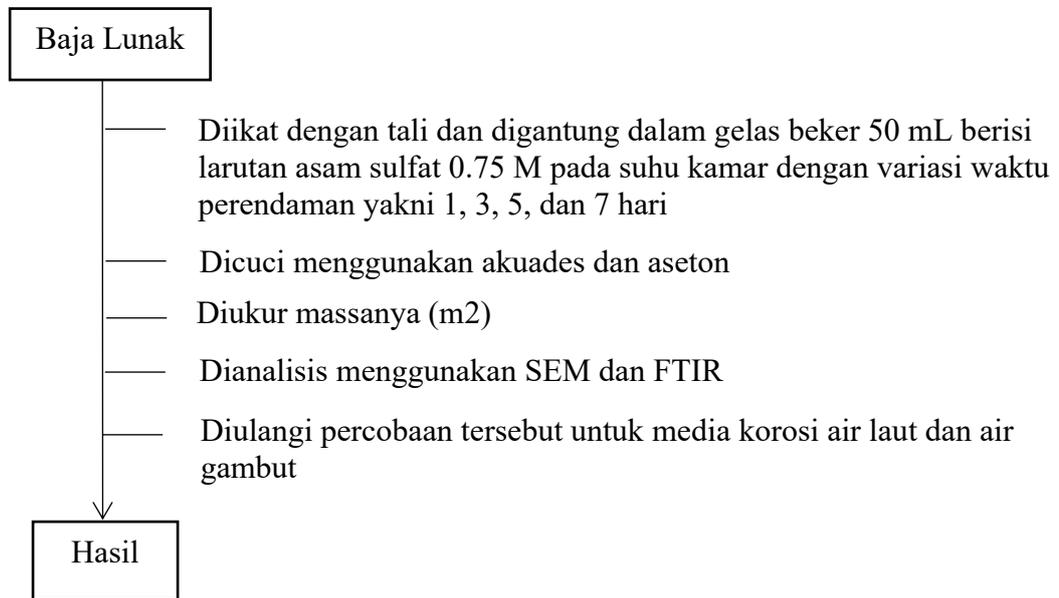
Analisis Gugus Fungsi Menggunakan *Fourier-Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)



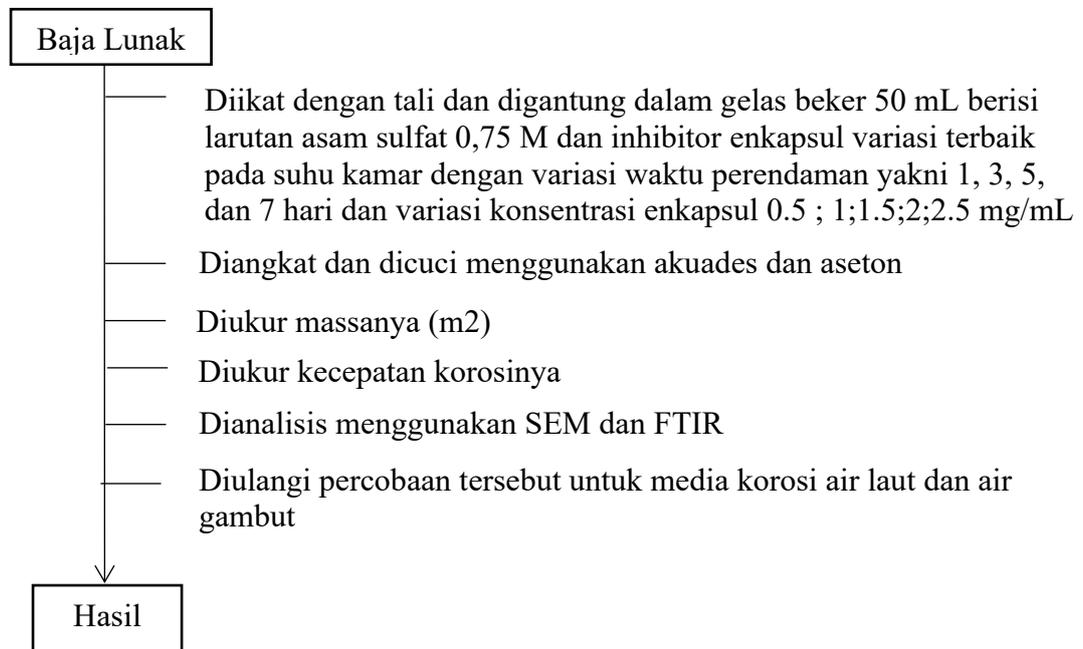
Preparasi Spesimen Baja



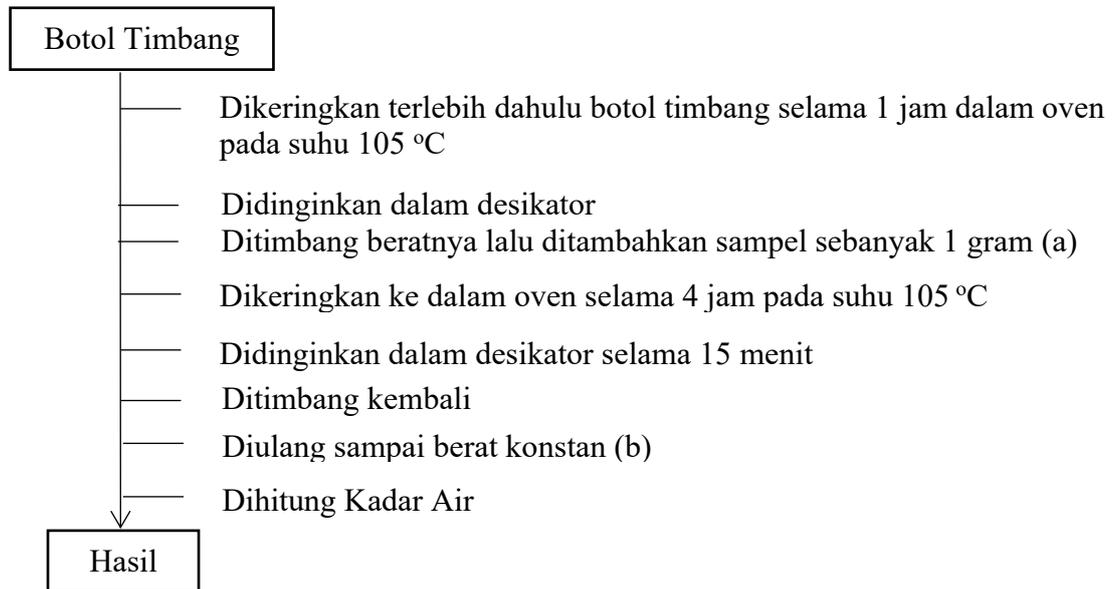
Perendaman Baja Lunak dalam media korosi Larutan Asam Sulfat 0.75 M ; air laut dan air gambut



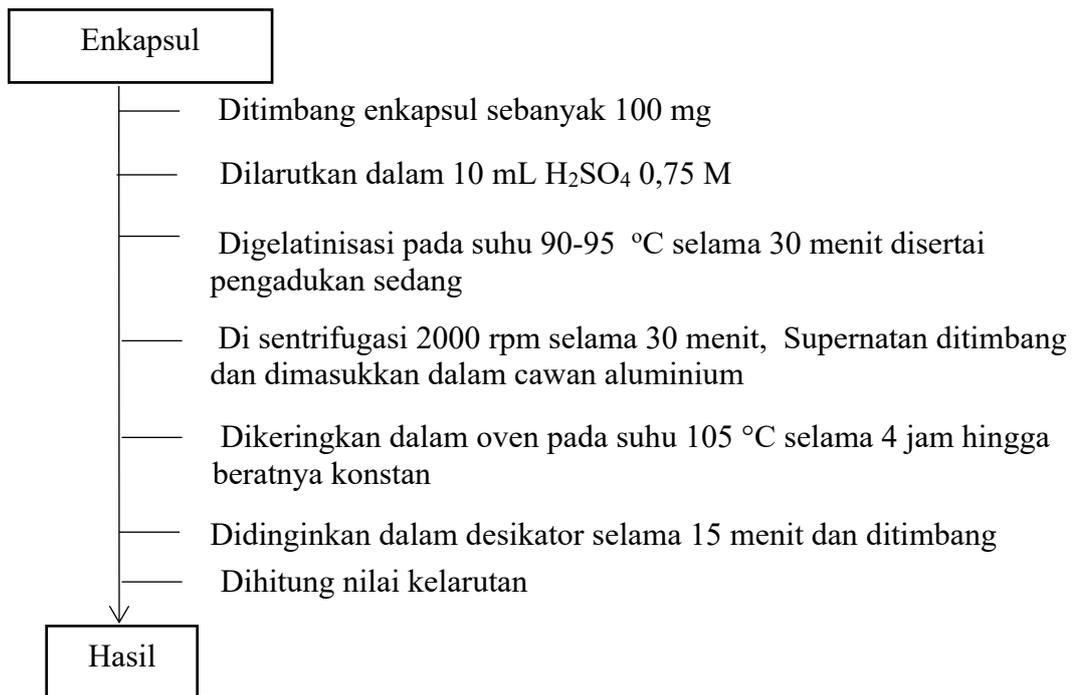
Perendaman Baja Lunak pada Enkapsul dalam Asam Sulfat 0.75 M ; air laut dan air gambut



Kadar Air

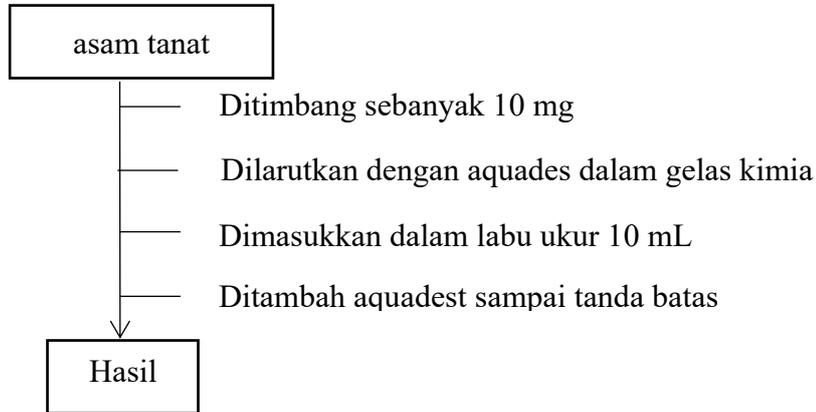


Kelarutan Enkapsul dalam Larutan Asam Sulfat 0.75 M

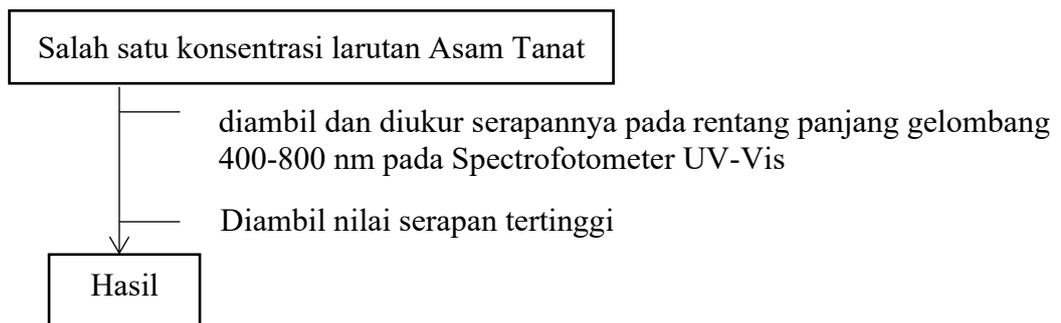


Uji Stabilitas Salah Satu Senyawa Metabolit Sekunder pada Enkapsul dan Ekstrak Kulit Kakao Selama Penyimpanan

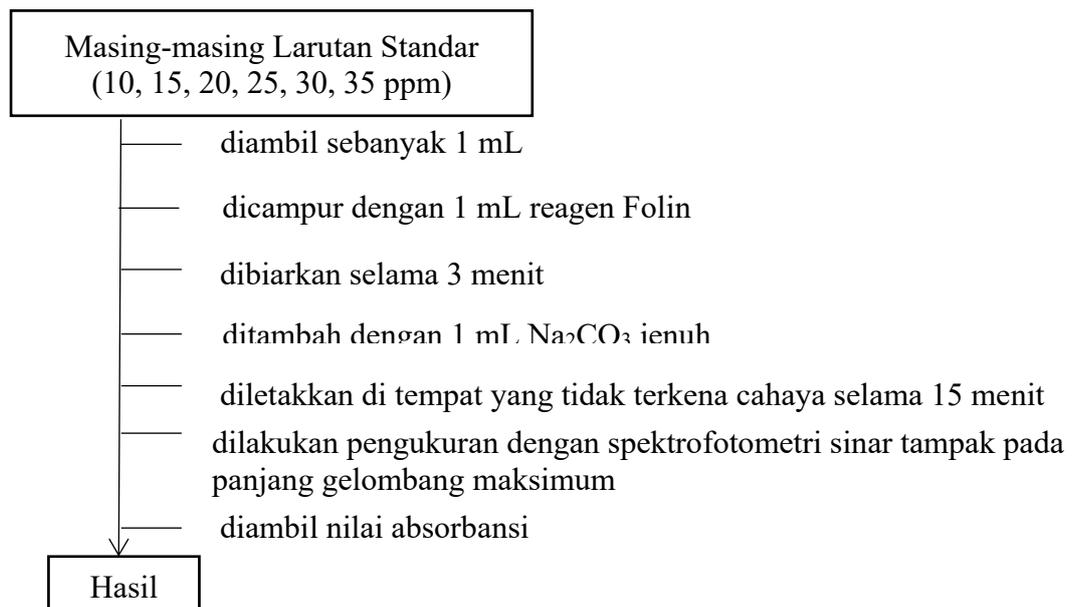
Pembuatan larutan Asam Tanat 1000 ppm



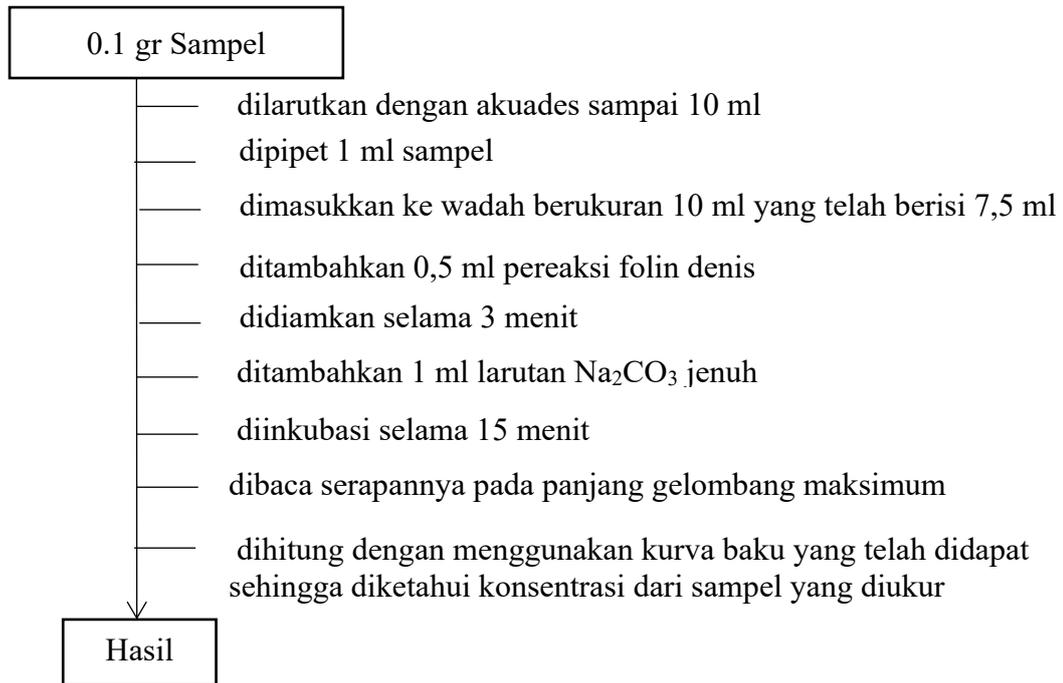
Penetapan panjang gelombang serapan maksimum



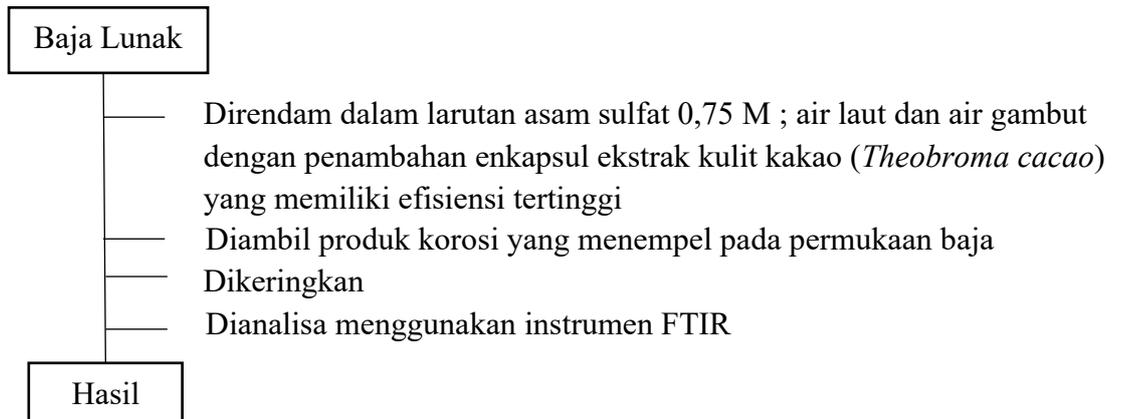
Pembuatan Kurva Standar



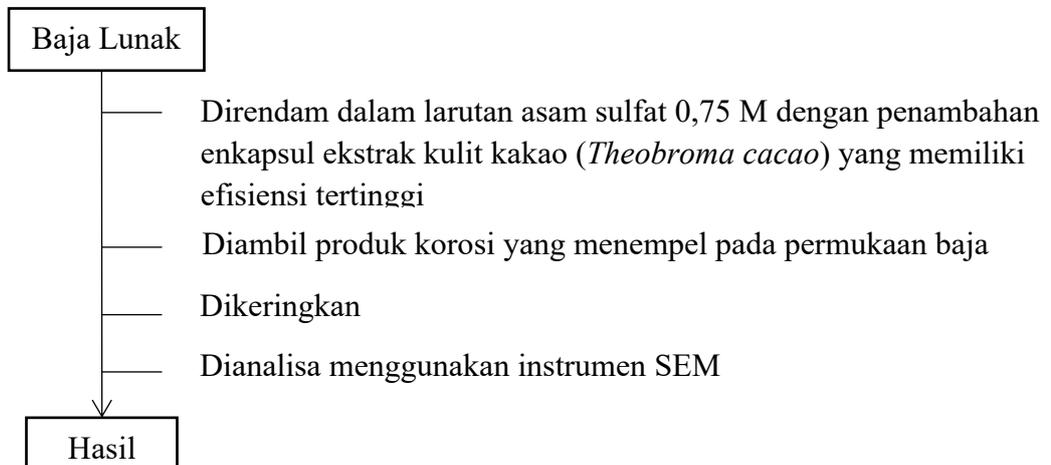
Penetapan Kadar Tanin



Analisis *Fourier-Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)



Analisis *Scanning Electron Microscope* (SEM)



Lampiran 3. Perhitungan

3.1. Formulasi Produk Enkapsul

Dik : V larutan = 50 mL

1) Persentase Maltodekstrin : Kitosan (10 : 0 %b/v)

- Maltodekstrin 10 %b/v

$$\%b/v = \frac{M \text{ zat terlarut}}{V \text{ larutan}} \times 100 \%$$

$$10 = \frac{M \text{ zat terlarut}}{50} \times 100 \%$$

$$m = \frac{500}{100}$$

$$m = 5 \text{ gr}$$

- Kitosan 0 %b/v

Jadi, Maltodekstrin : Kitosan (10 : 0 %b/v) = 5 gr : 0 gr

2) Persentase Maltodekstrin : Kitosan (9.5 : 0.5 %b/v)

- Maltodekstrin 9.5 %b/v

$$\%b/v = \frac{M \text{ zat terlarut}}{V \text{ larutan}} \times 100 \%$$

$$9.5 = \frac{M \text{ zat terlarut}}{50} \times 100 \%$$

$$m = \frac{475}{100}$$

$$m = 4.75 \text{ gr}$$

- Kitosan 0.5 %b/v

$$\%b/v = \frac{M \text{ zat terlarut}}{V \text{ larutan}} \times 100 \%$$

$$0.5 = \frac{M \text{ zat terlarut}}{50} \times 100 \%$$

$$m = \frac{25}{100}$$

$$m = 0.25 \text{ gr}$$

Jadi, Maltodekstrin : Kitosan (9.5 : 0.5 %b/v) = 4.75 gr : 0.25 gr

3) Persentase Maltodekstrin : Kitosan (9 : 1 %b/v)

- Maltodekstrin 9 %b/v

$$\%b/v = \frac{M \text{ zat terlarut}}{V \text{ larutan}} \times 100 \%$$

$$9 = \frac{M \text{ zat terlarut}}{50} \times 100 \%$$

$$m = \frac{450}{100}$$

$$m = 4.5 \text{ gr}$$

- Kitosan 1 %b/v

$$\%b/v = \frac{M \text{ zat terlarut}}{V \text{ larutan}} \times 100 \%$$

$$1 = \frac{M \text{ zat terlarut}}{50} \times 100 \%$$

$$m = \frac{50}{100}$$

$$m = 0.5 \text{ gr}$$

Jadi, Maltodekstrin : Kitosan (9 : 1 %b/v) = 4.5 gr : 0.5 gr

4) Persentase Maltodekstrin : Kitosan (8.5 : 1.5 %b/v)

- Maltodekstrin 9 %b/v

$$\%b/v = \frac{M \text{ zat terlarut}}{V \text{ larutan}} \times 100 \%$$

$$8.5 = \frac{M \text{ zat terlarut}}{50} \times 100 \%$$

$$m = \frac{425}{100}$$

$$m = 4.25 \text{ gr}$$

- Kitosan 1.5 %b/v

$$\%b/v = \frac{M \text{ zat terlarut}}{V \text{ larutan}} \times 100 \%$$

$$1.5 = \frac{M \text{ zat terlarut}}{50} \times 100 \%$$

$$m = \frac{75}{100}$$

$$m = 0.75 \text{ gr}$$

Jadi, Maltodekstrin : Kitosan (8.5 : 1.5 %b/v) = 4.25 gr : 0.75 gr

5) Persentase Maltodekstrin : Kitosan (8 : 1 %b/v)

- Maltodekstrin 9 %b/v

$$\%b/v = \frac{M \text{ zat terlarut}}{V \text{ larutan}} \times 100 \%$$

$$8 = \frac{M \text{ zat terlarut}}{50} \times 100 \%$$

$$m = \frac{400}{100}$$

$$m = 4 \text{ gr}$$

- Kitosan 1 %b/v

$$\%b/v = \frac{M \text{ zat terlarut}}{V \text{ larutan}} \times 100 \%$$

$$1 = \frac{M \text{ zat terlarut}}{50} \times 100 \%$$

$$m = \frac{100}{100}$$

$$m = 1 \text{ gr}$$

Jadi, Maltodekstrin : Kitosan (8 : 1 %b/v) = 4 gr : 1 gr

3.2. Kadar Air Produk Enkapsul

UJI KADAR AIR ENKAPSUL

No. Urut	Variasi Enkapsul	Berat Cawan Kosong (g)	Berat Cawan + Contoh (g)	Berat Contoh (4-3) (g)	B. Cawan + Contoh Stlh pemanasan (g)		Berat Air (4-6) (g)	Kadar Air (%)	Rata-Rata (%)
					I	II			
1	10 : 0	26.0842	27.0882	1.0040	27.0203	27.0198	0.0684	6.81	6.82
		39.8625	40.8662	1.0037	40.7980	40.7977	0.0685	6.82	
2	9.5 : 0.5	29.1518	30.1567	1.0049	30.0994	30.0991	0.0576	5.73	5.73
		33.0818	34.0829	1.0011	34.0260	34.0256	0.0573	5.72	
4	9: 1	27.3633	28.3668	1.0035	28.3101	28.3098	0.0570	5.68	5.68
		24.8712	25.8723	1.0011	25.8159	25.8155	0.0568	5.67	
3	8.5 : 1.5	27.1105	28.1161	1.0056	28.0674	28.0669	0.0492	4.89	4.88
		26.8658	27.8684	1.0026	27.8199	27.8196	0.0488	4.87	
5	8 : 2	25.2681	26.2688	1.0007	26.2339	26.2336	0.0352	3.52	3.51
		24.2691	25.2756	1.0065	25.2407	25.2403	0.0353	3.51	

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{(a-b)}{a} \times 100\%$$

Keterangan :

a : Bobot sampel sebelum pemanasan(g)

b : Bobot sampel sesudah pemanasan (g)

Kontrol Jaminan Mutu

Variasi Enkapsul	$\frac{((ABS(X1-X2)) / ((X1+X2)/2)) * 100}{\% \text{ RPD}}$	$\frac{X_{rata}}{100}$	log c	$1 - 0.5 \log c$	$2^{(1-0.5 \log c)}$	0.5CVh	$\frac{\% \text{ RPD VS } 0.5 \text{ CVh}}{<=>}$	"Presisi" "Tidak Presisi"
	$\% \text{ RPD}$	c					"<=">"	
10 : 0	0.04399424	0.068187487	-	1.5831477	2.9962285	1.49811426	<	PRESISI
9.5 : 0.5	0.03583263	0.057278088	-1.24201149	1.6210057	3.0758939	1.53794696	<	PRESISI
9: 1	0.0280112	0.056769392	-	1.6229429	3.0800267	1.54001337	<	PRESISI
8.5 : 1.5	0.12938867	0.048799732	-	1.6557913	3.1509597	1.57547983	<	PRESISI
8 : 2	0.07355819	0.035123705	-	1.7271998	3.3108459	1.65542293	<	PRESISI

3.3. Kelarutan Produk Enkapsul Maltodekstrin : Kitosan (8:2) dalam Media Korosi

UJI KELARUTAN ENKAPSUL										
Nama Sampel-Dalam Media	Berat Cawan (g)	Berat Cawan + Contoh (g)	Berat Contoh (g)	Berat Cawan Aluminium (g)	Berat Cawan Aluminium + Supernatan (g)	Berat Supernatan (g)	Berat Cawan Aluminium + Supernatan Setelah Oven. (g)	Berat Padatan Dalam Supernatan (g)	Kelarutan (%)	Rata-Rata (%)
Dalam Air Laut	61.1345	61.2360	0.1015	43.6029	50.3398	6.7369	43.9370	6.4028	95.04	95.01
	46.4466	46.5477	0.1011	25.5726	32.0948	6.5222	25.8999	6.1949	94.98	
Air Gambut	60.4317	60.5320	0.1003	43.3443	49.7792	6.4349	43.4036	6.3756	99.08	99.07
	61.3328	61.4343	0.1015	25.4664	31.9074	6.4410	25.5265	6.3809	99.07	
Asam Sulfat	61.3383	61.4407	0.1024	25.0726	32.0152	6.9426	26.1123	5.9029	85.02	85.10
	60.7108	60.8127	0.1019	44.3643	51.3066	6.9423	45.3941	5.9125	85.17	

$$\text{Kelarutan (\%)} = \frac{M1}{M2} \times 100 \%$$

Keterangan :

M1 : berat cawan dengan residu padatan setelah dioven (g)

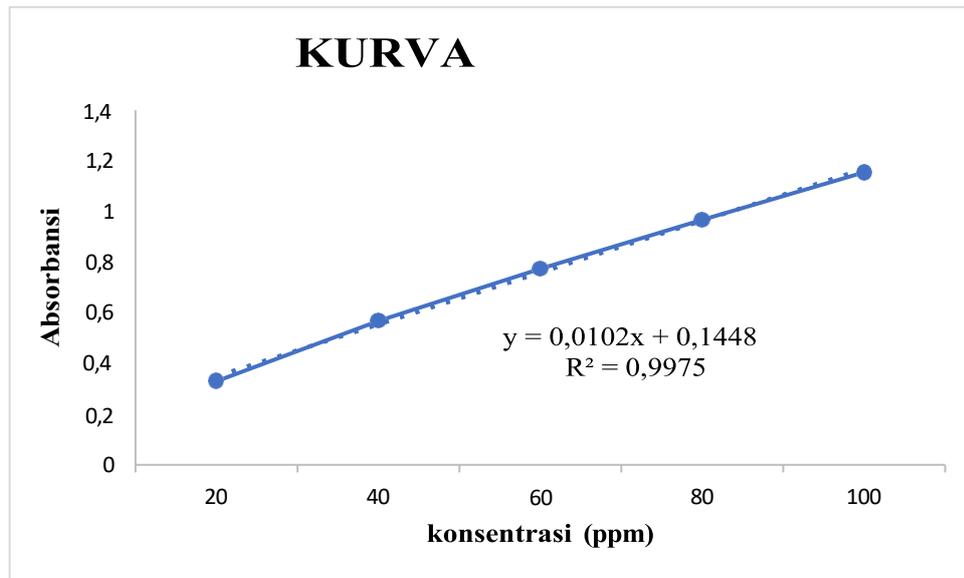
M2 : berat sampel supernatan (g)

Kontrol Jaminan Mutu								
Nama Sampel	$\frac{((\text{ABS}(X1-X2)) / ((X1+X2)/2)) \times 100}{\% \text{ RPD}}$	$\frac{\text{Xrata/100}}{c}$	log c	1 - 0.5 log c	$2^{(1-0.5 \log c)}$	0.5CVh	%RPD VS 0.5CVh	"Presisi" "Tidak Presisi"
	"<"=">"							
(dalam air Laut)	0.015522141	0.9501125	-0.02222	1.011112	2.015465	1.007732328	<	PRESISI
(dalam air Gambut)	0.002913942	0.9907269	-0.00405	1.002023	2.002806	1.001403238	<	PRESISI
(dalam asam sulfat)	0.041705257	0.8509532	-0.07009	1.035047	2.049181	1.024590315	<	PRESISI

3.4. Stabilitas Tanin

Pembuatan Kurva Standar Asam Tanat

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
20	0.33
40	0.569
60	0.775
80	0.967
100	1.155



Tabel. Hasil Uji Stabilitas Selama Waktu Penyimpanan

Waktu Penyimpanan (Hari)	Kadar Tanin (mg/L)		% Penurunan Kadar Tanin	
	Ekstrak Tanpa Enkapsulasi	Ekstrak yang dienkapsulasi (Enkapsul)	Ekstrak Tanpa Enkapsulasi	Ekstrak yang dienkapsulasi (Enkapsul)
0	100.901	87.2745	0.00%	0.00%
3	89.137	87.2745	11.65%	0.00%
6	77.862	87.1764	22.83%	0.11%
9	71.294	86.7843	29.34%	0.56%
12	66.882	86.2941	33.71%	0.98%
15	62.764	85.5098	37.79%	2.02%

1. Uji Stabilitas Terhadap Kadar Tanin pada Ekstrak dan Enkapsul

- Persamaan kurva standar : $y = 0.0102x + 0.1148$

- Ekstrak Kulit Buah Kakao (ppm)

a. Kadar Tanin

1. 0 hari (absorbansi = 1.144)

$$y = 0.0102x + 0.1148$$

$$1.144 = 0.0102x + 0.1148$$

$$1.144 - 0.1148 = 0.0102x$$

$$1.0872 = 0.0102x$$

$$100.901 \text{ mg/L} = x$$

2. 3 hari (absorbansi = 1.024)

$$y = 0.0102x + 0.1148$$

$$1.037 = 0.0102x + 0.1148$$

$$1.037 - 0.1148 = 0.0102x$$

$$0.909 = 0.0102x$$

$$89.137 \text{ mg/L} = x$$

3. 6 hari (absorbansi = 0.909)

$$y = 0.0102x + 0.1148$$

$$0.909 = 0.0102x + 0.1148$$

$$0.909 - 0.1148 = 0.0102x$$

$$0.7942 = 0.0102x$$

$$77.862 \text{ mg/L} = x$$

4. 9 hari (absorbansi = 0.842)

$$y = 0.0102x + 0.1148$$

$$0.842 = 0.0102x + 0.1148$$

$$0.842 - 0.1148 = 0.0102x$$

$$0.7272 = 0.0102x$$

$$71.294 \text{ mg/L} = x$$

5. 12 hari (absorbansi = 0.797)

$$y = 0.0102x + 0.1148$$

$$0.797 = 0.0102x + 0.1148$$

$$0.797 - 0.1148 = 0.0102x$$

$$0.682 = 0.0102x$$

$$66.882 \text{ mg/L} = x$$

6. 15 hari (absorbansi = 0.755)

$$y = 0.0102x + 0.1148$$

$$0.745 = 0.0102x + 0.1148$$

$$0.745 - 0.1148 = 0.0102x$$

$$0.6402 = 0.0102x$$

$$62.764 \text{ mg/L} = x$$

b. % Penurunan Kadar Tanin

3 hari

$$\frac{\text{kadar tanin hari ke 0} - \text{kadar tanin hari ke 3}}{\text{kadar tanin hari ke 0}} \times 100\% = \frac{(100.901 - 89.137) \text{ mg/L}}{100.901 \text{ mg/L}} \times 100\% = 11.65\%$$

6 hari

$$\frac{\text{kadar tanin hari ke 0} - \text{kadar tanin hari ke 6}}{\text{kadar tanin hari ke 0}} \times 100\% = \frac{(100.901 - 77.862) \text{ mg/L}}{100.901 \text{ mg/L}} \times 100\% = 22.83\%$$

9 hari

$$\frac{\text{kadar tanin hari ke 0} - \text{kadar tanin hari ke 9}}{\text{kadar tanin hari ke 0}} \times 100\% = \frac{(100.901 - 71.294) \text{ mg/L}}{100.901 \text{ mg/L}} \times 100\% = 29.34\%$$

12 hari

$$\frac{\text{kadar tanin hari ke 0} - \text{kadar tanin hari ke 12}}{\text{kadar tanin hari ke 0}} \times 100\% = \frac{(100.901 - 66.882) \text{ mg/L}}{100.901 \text{ mg/L}} \times 100\% = 33.71\%$$

15 hari

$$\frac{\text{kadar tanin hari ke 0} - \text{kadar tanin hari ke 15}}{\text{kadar tanin hari ke 0}} \times 100\% = \frac{(100.901 - 62.764) \text{ mg/L}}{100.901 \text{ mg/L}} \times 100\% = 37.79\%$$

• Enkapsul Ekstrak Kulit Buah Kakao (ppm)

a. Kadar Tanin

1. 0 hari (absorbansi = 1.005)

$$y = 0.0102x + 0.1148$$

$$1.005 = 0.0102x + 0.1148$$

$$1.005 - 0.1148 = 0.0102x$$

$$0.8902 = 0.0102x$$

$$87.2745 \text{ mg/L} = x$$

2. 3 hari (absorbansi = 1.005)

$$y = 0.0102x + 0.1148$$

$$1.005 = 0.0102x + 0.1148$$

$$1.005 - 0.1148 = 0.0102x$$

$$0.8902 = 0.0102x$$

$$87.2745 \text{ mg/L} = x$$

3. 6 hari (absorbansi = 1.004)

$$y = 0.0102x + 0.1148$$

$$1.004 = 0.0102x + 0.1148$$

$$1.004 - 0.1148 = 0.0102x$$

$$0.8892 = 0.0102x$$

$$87.1764 \text{ mg/L} = x$$

4. 9 hari (absorbansi = 1)

$$y = 0.0102x + 0.1148$$

$$1 = 0.0102x + 0.1148$$

$$1 - 0.1148 = 0.0102x$$

$$0.8852 = 0.0102x$$

$$86.7843 \text{ mg/L} = x$$

5. 12 hari (absorbansi = 0.995)

$$y = 0.0102x + 0.1148$$

$$0.995 = 0.0102x + 0.1148$$

$$0.995 - 0.1148 = 0.0102x$$

$$0.8802 = 0.0102x$$

$$86.2941 \text{ mg/L} = x$$

6. 15 hari (absorbansi = 0.987)

$$y = 0.0102x + 0.1148$$

$$0.987 = 0.0102x + 0.1148$$

$$0.987 - 0.1148 = 0.0102x$$

$$0.8722 = 0.0102x$$

$$85.5098 \text{ mg/L} = x$$

b. % Penurunan Kadar Tanin

3 hari

$$\frac{\text{kadar tanin hari ke 0} - \text{kadar tanin hari ke 3}}{\text{kadar tanin hari ke 0}} \times 100\% = \frac{(87.2745 - 87.2745) \text{ mg/L}}{87.2745 \text{ mg/L}} \times 100\% = 0\%$$

6 hari

$$\frac{\text{kadar tanin hari ke 0} - \text{kadar tanin hari ke 6}}{\text{kadar tanin hari ke 0}} \times 100\% = \frac{(87.2745 - 87.1764) \text{ mg/L}}{87.2745 \text{ mg/L}} \times 100\% = 0.11\%$$

9 hari

$$\frac{\text{kadar tanin hari ke 0} - \text{kadar tanin hari ke 9}}{\text{kadar tanin hari ke 0}} \times 100\% = \frac{(87.2745 - 86.7843) \text{ mg/L}}{87.2745 \text{ mg/L}} \times 100\% = 0.56\%$$

12 hari

$$\frac{\text{kadar tanin hari ke 0} - \text{kadar tanin hari ke 12}}{\text{kadar tanin hari ke 0}} \times 100\% = \frac{(87.2745 - 86.2941) \text{ mg/L}}{87.2745 \text{ mg/L}} \times 100\% = 0.98\%$$

15 hari

$$\frac{\text{kadar tanin hari ke 0} - \text{kadar tanin hari ke 15}}{\text{kadar tanin hari ke 0}} \times 100\% = \frac{(87.2745 - 85.5098) \text{ mg/L}}{87.2745 \text{ mg/L}} \times 100\% = 2.02\%$$

3.5. Analisis Kehilangan Berat

3.5.1. Dalam Media Asam Sulfat 0.75 M

Hari ke-1

1 Hari	m1 (mg)	m2 (mg)	Δm (mg)	p (cm)	l(cm)	L. baja (cm)	phi	r (cm)	L. lubang (cm ²)	L. total (cm ²)	r (laju korosi) (mg/cm ¹ .hari)	r (laju korosi blanko) (mg/cm ¹ .hari)
0 (blanko)	4038.1	3884.7	153.4	1.668	1.951	6.51	3.14	0.150	0.071	6.438	23.828	24.373
	4237.6	4074.5	163.1	1.692	1.982	6.71	3.14	0.150	0.071	6.636	24.576	
	4378.0	4209.6	168.4	1.675	2.055	6.88	3.14	0.150	0.071	6.814	24.715	

Cenk	m1 (mg)	m2 (mg)	Δm (mg)	p (cm)	l(cm)	L. baja (cm)	phi	r (cm)	L. lubang (cm ²)	L. total (cm ²)	r (laju korosi) (mg/cm ¹ .hari)	rata-rata r (laju korosi) (mg/cm ¹ .hari)	r (laju korosi blanko) (mg/cm ¹ .hari)	EI (%)	rata-rata EI
0.5	3922.4	3817.9	104.5	1.667	1.981	6.60	3.14	0.150	0.071	6.534	15.993	15.930	24.373	34.382	34.640
	4066.4	3965.2	101.2	1.676	1.904	6.38	3.14	0.150	0.071	6.312	16.034		24.373	34.214	
	4106.9	4005.2	101.7	1.681	1.940	6.52	3.14	0.150	0.071	6.452	15.763		24.373	35.324	
1.0	3995.9	3893.0	102.9	1.671	1.996	6.67	3.14	0.150	0.071	6.600	15.591	15.573	24.373	36.032	36.104
	4200.4	4098.3	102.1	1.678	1.979	6.64	3.14	0.150	0.071	6.571	15.538		24.373	36.248	
	4191.9	4090.5	101.4	1.672	1.966	6.57	3.14	0.150	0.071	6.504	15.591		24.373	36.031	
1.5	4045.6	3949.7	95.9	1.671	1.933	6.46	3.14	0.150	0.071	6.389	15.009	15.114	24.373	38.419	37.987
	4188.4	4091.4	97.0	1.647	1.969	6.49	3.14	0.150	0.071	6.415	15.120		24.373	37.963	
	4270.2	4168.5	101.7	1.688	2.001	6.76	3.14	0.150	0.071	6.685	15.214		24.373	37.580	
2.0	4150.5	4055.1	95.4	1.677	2.009	6.74	3.14	0.150	0.071	6.668	14.308	14.267	24.373	41.295	41.464
	4324.8	4232.7	92.1	1.675	1.959	6.56	3.14	0.150	0.071	6.492	14.187		24.373	41.794	
	4639.6	4543.2	96.4	1.722	1.977	6.81	3.14	0.150	0.071	6.738	14.307		24.373	41.302	
2.5	4145.7	4057.4	88.3	1.679	2.013	6.76	3.14	0.150	0.071	6.689	13.201	13.113	24.373	45.839	46.198
	4135.4	4048.8	86.6	1.688	1.960	6.62	3.14	0.150	0.071	6.546	13.229		24.373	45.724	
	4215.1	4127.7	87.4	1.694	2.019	6.84	3.14	0.150	0.071	6.770	12.910		24.373	47.030	

Kontrol Jaminan Mutu

No.	Jlh X	Jumlah X ²	Rata-Rata	SD	RSD	%RSD	2%	%RSD VS 2%	"Presisi" "Tidak Presisi"
								"<"=">"	
0 (blanko)	73.119	1782.605	24.373	0.47743784	0.019589	1.958869082	2	<	PRESISI
0.5	103.920	3600.521	34.640	0.59857804	0.01728	1.727992843	2	<	PRESISI
1	108.312	3910.505	36.104	0.12513463	0.003466	0.346595934	2	<	PRESISI
1.5	113.962	4329.498	37.987	0.4203177	0.011065	1.106463875	2	<	PRESISI
2	124.391	5157.861	41.464	0.28590057	0.006895	0.689521332	2	<	PRESISI
2.5	138.593	6403.691	46.198	0.7232878	0.015656	1.565640533	2	<	PRESISI

Hari ke-3

3 Hari	m1 (mg)	m2 (mg)	Δm (mg)	p (cm)	l(cm)	L. baja (cm)	phi	r (cm)	L. lubang (cm ²)	L. total (cm ²)	r (laju korosi) (mg/cm ² .hari)	r (laju korosi blanko) (mg/cm ² .hari)
0 (blanko)	4299.0	3543.3	755.7	1.693	1.963	6.65	3.14	0.150	0.071	6.576	344.750	346.499
	4081.9	3328.3	753.6	1.616	2.002	6.47	3.14	0.150	0.071	6.400	353.260	
	4399.2	3644.1	755.1	1.693	1.980	6.70	3.14	0.150	0.071	6.634	341.487	

Ce nk	m1 (mg)	m2 (mg)	Δm (mg)	p (cm)	L (cm)	L. baja (cm)	phi	r (cm)	L. lubang (cm ²)	L. total (cm ²)	r (laju korosi) (mg/cm ¹ .hari)	rata-rata r (laju korosi) (mg/cm ¹ . hari)	r (laju korosi blanko) (mg/cm ¹ .hari)	EI (%)	rata- rata EI
0.5	4010.8	3432.5	578.3	1.684	2.056	6.92	3.14	0.150	0.071	6.854	253.124	251.956	346.499	26.948	27.285
	4377.9	3823.2	554.7	1.682	2.001	6.73	3.14	0.150	0.071	6.661	249.838		346.499	27.896	
	4024.0	3436.8	587.2	1.693	2.078	7.04	3.14	0.150	0.071	6.965	252.905		346.499	27.011	
1.0	4042.2	3561.4	480.8	1.667	1.880	6.27	3.14	0.150	0.071	6.197	232.748	234.982	346.499	32.829	32.184
	4159.4	3655.4	504.0	1.605	2.009	6.45	3.14	0.150	0.071	6.378	237.056		346.499	31.585	
	4397.7	3862.9	534.8	1.670	2.064	6.89	3.14	0.150	0.071	6.823	235.142		346.499	32.138	
1.5	4043.1	3559.4	483.7	1.681	1.926	6.48	3.14	0.150	0.071	6.405	226.573	226.406	346.499	34.611	34.659
	4270.5	3770.4	500.1	1.623	2.052	6.66	3.14	0.150	0.071	6.590	227.658		346.499	34.298	
	3880.9	3412.4	468.5	1.674	1.887	6.32	3.14	0.150	0.071	6.247	224.987		346.499	35.069	
2.0	4110.4	3667.1	443.3	1.683	1.944	6.54	3.14	0.150	0.071	6.473	205.458	204.931	346.499	40.705	40.857
	4143.9	3720.4	423.5	1.602	1.956	6.27	3.14	0.150	0.071	6.196	205.039		346.499	40.825	
	4270.3	3824.7	445.6	1.661	1.991	6.61	3.14	0.150	0.071	6.543	204.296		346.499	41.040	
2.5	4305.8	3871.9	433.9	1.683	2.028	6.83	3.14	0.150	0.071	6.756	192.685	192.293	346.499	44.391	44.504
	4338.8	3907.2	431.6	1.681	2.012	6.76	3.14	0.150	0.071	6.694	193.436		346.499	44.174	
	4318.5	3909.2	409.3	1.618	2.011	6.51	3.14	0.150	0.071	6.437	190.758		346.499	44.947	

Kontrol Jaminan Mutu

No.	Jlh X	Jumlah X ²	Rata- Rata	SD	RSD	%RSD	2%	%RSD VS 2% "<=">"	"Presisi" "Tidak Presisi"
0 (blanko)	1039.498	360258.972	346.499	6.078287963	0.017541997	1.754199725	2	<	PRESISI
0.5	81.856	2234.033	27.285	0.530201947	0.019431743	1.943174317	2	<	PRESISI
1	96.552	3108.206	32.184	0.622983434	0.019356929	1.935692929	2	<	PRESISI
1.5	103.977	3604.039	34.659	0.387698557	0.011186087	1.118608695	2	<	PRESISI
2	122.570	5007.868	40.857	0.169875814	0.004157845	0.415784454	2	<	PRESISI
2.5	133.512	5942.161	44.504	0.398597565	0.008956425	0.895642455	2	<	PRESISI

Hari ke-5

5 Hari	m1 (mg)	m2 (mg)	Δm (mg)	p (cm)	l(cm)	L. baja (cm)	phi	r (cm)	L. lubang (cm ²)	L. total (cm ²)	r (laju korosi) (mg/cm ² .hari)	r (laju korosi blanko) (mg/cm ² .hari)
0 (blanko)	4330.1	3031.0	1299.1	1.682	2.020	6.80	3.14	0.150	0.071	6.725	965.927	978.035
	4523.4	3177.3	1346.1	1.689	2.027	6.85	3.14	0.150	0.071	6.777	993.204	
	4403.9	3061.1	1342.8	1.678	2.073	6.96	3.14	0.150	0.071	6.886	974.974	

Ce nk	m1 (mg)	m2 (mg)	Δm (mg)	p (cm)	L (cm)	L. baja (cm)	phi	r (cm)	L. lubang (cm ²)	L. total (cm ²)	r (laju korosi) (mg/cm ² .hari)	rata-rata r (laju korosi) (mg/cm ² .hari)	r (laju korosi blanko) (mg/cm ² .hari)	EI (%)	rata-rata EI
0.5	4462.3	3429.5	1032.8	2.016	1.601	6.46	3.14	0.150	0.071	6.385	808.824	809.146	978.035	17.301	17.268
	4325.3	3321.9	1003.4	1.963	1.592	6.25	3.14	0.150	0.071	6.180	811.872		978.035	16.989	
	4340.1	3284.8	1055.3	2.043	1.618	6.61	3.14	0.150	0.071	6.540	806.743		978.035	17.514	
1.0	4374.2	3394.1	980.1	2.184	1.640	7.16	3.14	0.150	0.071	7.093	690.905	691.620	978.035	29.358	29.285
	4137.3	3248.7	888.6	1.930	1.680	6.48	3.14	0.150	0.071	6.414	692.687		978.035	29.176	
	4410.8	3533.4	877.4	2.023	1.586	6.42	3.14	0.150	0.071	6.346	691.268		978.035	29.321	
1.5	4235.9	3427.9	808.0	1.966	1.597	6.28	3.14	0.150	0.071	6.209	650.694	649.549	978.035	33.469	33.586
	4377.1	3571.5	805.6	1.972	1.596	6.29	3.14	0.150	0.071	6.224	647.175		978.035	33.829	
	4352.5	3524.9	827.6	1.977	1.626	6.43	3.14	0.150	0.071	6.359	650.777		978.035	33.461	
2.0	4341.0	3538.6	802.4	1.991	1.673	6.66	3.14	0.150	0.071	6.591	608.687	610.977	978.035	37.764	37.530
	4308.5	3550.5	758.0	1.968	1.595	6.28	3.14	0.150	0.071	6.207	610.574		978.035	37.571	
	4308.4	3550.8	757.6	1.972	1.583	6.24	3.14	0.150	0.071	6.173	613.670		978.035	37.255	
2.5	4313.4	3635.1	678.3	1.972	1.590	6.27	3.14	0.150	0.071	6.200	546.989	543.861	978.035	44.073	44.392
	4459.6	3784.5	675.1	1.979	1.596	6.32	3.14	0.150	0.071	6.246	540.398		978.035	44.747	
	4520.5	3846.7	673.8	1.969	1.590	6.26	3.14	0.150	0.071	6.191	544.197		978.035	44.358	

Kontrol Jaminan Mutu

No.	Jlh X	Jumlah X ²	Rata-Rata	SD	RSD	%RSD	2%	%RSD VS 2%	"Presisi" "Tidak Presisi"
								"<"=">"	
0 (blanko)	2934.104	2870042.089	978.035	13.89365226	0.014205683	1.420568339	2	<	PRESISI
0.5	51.804	894.706	17.268	0.263793752	0.01527632	1.527631963	2	<	PRESISI
1	87.854	2572.800	29.285	0.096291809	0.003288127	0.328812675	2	<	PRESISI
1.5	100.759	3384.216	33.586	0.210229989	0.006259389	0.625938927	2	<	PRESISI
2	112.590	4225.665	37.530	0.257209276	0.006853407	0.685340725	2	<	PRESISI
2.5	133.177	5912.290	44.392	0.338230977	0.007619115	0.761911547	2	<	PRESISI

Hari ke-7

7 Hari	m1 (mg)	m2 (mg)	Δm (mg)	p (cm)	l(cm)	L. baja (cm)	phi	r (cm)	L. lubang (cm ²)	L. total (cm ²)	r (laju korosi) (mg/cm ² .hari)	r (laju korosi blanko) (mg/cm ² .hari)
0 (blanko)	4372.5	2290.5	2082.0	2.178	1.675	7.30	3.14	0.150	0.071	7.226	2016.981	2040.636
	4372.6	2440.4	1932.2	1.994	1.696	6.76	3.14	0.150	0.071	6.693	2020.828	
	4470.8	2387.6	2083.2	2.111	1.674	7.07	3.14	0.150	0.071	6.997	2084.100	

Ce nk	m1 (mg)	m2 (mg)	Δm (mg)	p (cm)	L (cm)	L. baja (cm)	phi	r (cm)	L. lubang (cm ²)	L. total (cm ²)	r (laju korosi) (mg/cm ² .hari)	rata-rata r (laju korosi) (mg/cm ² .hari)	r (laju korosi blanko) (mg/cm ² .hari)	EI (%)	rata-rata EI
0.5	4169.1	2475.4	1693.7	2.024	1.609	6.51	3.14	0.150	0.071	6.443	1840.240	1841.423	2040.636	9.820	9.762
	4279.4	2497.1	1782.3	2.044	1.673	6.84	3.14	0.150	0.071	6.769	1843.239		2040.636	9.673	
	4202.7	2485.4	1717.3	1.974	1.672	6.60	3.14	0.150	0.071	6.530	1840.789		2040.636	9.793	

Ce nk	m1 (mg)	m2 (mg)	Δm (mg)	p (cm)	L (cm)	L. baja (cm)	phi	r (cm)	L. lubang (cm ²)	L. total (cm ²)	r (laju korosi) (mg/cm ¹ .hari)	rata-rata r (laju korosi) (mg/cm ¹ .hari)	r (laju korosi blanko) (mg/cm ¹ .hari)	EI (%)	rata-rata EI
1.0	4057.9	2500.1	1557.8	1.996	1.598	6.38	3.14	0.150	0.071	6.309	1728.539	1731.783	2040.636	15.294	15.135
	4505.4	2826.2	1679.2	2.025	1.693	6.86	3.14	0.150	0.071	6.786	1732.154		2040.636	15.117	
	4269.0	2606.5	1662.5	2.031	1.669	6.78	3.14	0.150	0.071	6.709	1734.655		2040.636	14.994	
1.5	4748.7	3101.2	1647.5	2.236	1.674	7.49	3.14	0.150	0.071	7.415	1555.193	1554.261	2040.636	23.789	23.835
	4359.1	2923.7	1435.4	1.942	1.681	6.53	3.14	0.150	0.071	6.458	1555.783		2040.636	23.760	
	4629.5	3070.2	1559.3	2.122	1.674	7.10	3.14	0.150	0.071	7.034	1551.806		2040.636	23.955	
2.0	4579.3	3038.2	1541.1	2.160	1.677	7.24	3.14	0.150	0.071	7.174	1503.724	1505.867	2040.636	26.311	26.206
	4243.7	2855.9	1387.8	2.002	1.620	6.49	3.14	0.150	0.071	6.416	1514.161		2040.636	25.800	
	4380.2	2895.3	1484.9	2.090	1.675	7.00	3.14	0.150	0.071	6.931	1499.715		2040.636	26.507	
2.5	4025.2	2801.3	1223.9	1.993	1.592	6.35	3.14	0.150	0.071	6.275	1365.293	1365.091	2040.636	33.095	33.105
	4493.0	3224.7	1268.3	1.959	1.671	6.55	3.14	0.150	0.071	6.476	1370.854		2040.636	32.822	
	4377.5	3057.1	1320.4	2.100	1.636	6.87	3.14	0.150	0.071	6.801	1359.125		2040.636	33.397	

Kontrol Jaminan Mutu

No.	Jlh X	Jumlah X ²	Rata-Rata	SD	RSD	%RSD	2%	%RSD VS 2%	"Presisi" "Tidak Presisi"
								"<"=">"	
0 (blanko)	6121.909	12495431.910	2040.636	37.68946044	0.018469464	1.846946384	2	<	PRESISI
0.5	29.287	285.921	9.762	0.078241155	0.008014603	0.801460289	2	<	PRESISI
1	45.406	687.266	15.135	0.150685594	0.009955988	0.99559883	2	<	PRESISI
1.5	71.504	1704.274	23.835	0.105189067	0.004413309	0.441330931	2	<	PRESISI
2	78.618	2060.535	26.206	0.365453879	0.013945413	1.394541272	2	<	PRESISI
2.5	99.314	3287.919	33.105	0.287504703	0.008684723	0.868472269	2	<	PRESISI

3.5.2. Dalam Media Air Laut

Hari ke-1

1 Hari	m1 (mg)	m2 (mg)	Δm (mg)	p (cm)	l(cm)	L. baja (cm)	phi	r (cm)	L. lubang (cm ²)	L. total (cm ²)	r (laju korosi) (mg/cm ¹ .hari)	r (laju korosi blanko) (mg/cm ¹ .hari)
0 (blanko)	4033.4	4028.9	4.5	1.645	2.008	6.61	3.14	0.150	0.071	6.536	0.689	0.695
	3604.2	3600.0	4.2	1.592	1.898	6.04	3.14	0.150	0.071	5.973	0.703	
	3750.2	3745.9	4.3	1.628	1.924	6.26	3.14	0.150	0.071	6.194	0.694	

Cenk	m1 (mg)	m2 (mg)	Δm (mg)	p (cm)	l(cm)	L. baja (cm)	phi	r (cm)	L. lubang (cm ²)	L. total (cm ²)	r (laju korosi) (mg/cm ¹ .hari)	rata-rata r (laju korosi) (mg/cm ¹ .hari)	r (laju korosi blanko) (mg/cm ¹ .hari)	EI (%)	rata-rata EI	
0.5	4064.8	4063.1	1.7	1.536	1.963	6.03	3.14	0.150	0.071	5.960	0.285	0.288	0.695	58.976	58.636	
	4213.2	4211.2	2.0	1.655	2.102	6.96	3.14	0.150	0.071	6.887	0.290					58.235
	4062.9	4061.1	1.8	1.621	1.955	6.34	3.14	0.150	0.071	6.267	0.287					58.696
1.0	4112.6	4110.7	1.9	1.638	2.063	6.76	3.14	0.150	0.071	6.688	0.284	0.283	0.695	59.141	59.310	
	3749.1	3747.3	1.8	1.595	2.022	6.45	3.14	0.150	0.071	6.380	0.282					59.421
	3807.4	3805.6	1.8	1.630	1.976	6.44	3.14	0.150	0.071	6.371	0.283					59.368
1.5	4309.8	4308.1	1.7	1.655	2.077	6.87	3.14	0.150	0.071	6.804	0.250	0.250	0.695	64.068	64.095	
	4060.4	4058.8	1.6	1.615	2.012	6.50	3.14	0.150	0.071	6.428	0.249					64.203
	4000.0	3998.4	1.6	1.631	1.982	6.47	3.14	0.150	0.071	6.395	0.250					64.015
2.0	4043.3	4041.9	1.4	1.612	1.992	6.42	3.14	0.150	0.071	6.352	0.220	0.222	0.695	68.300	68.001	
	4585.7	4584.2	1.5	1.634	2.059	6.73	3.14	0.150	0.071	6.658	0.225					67.600
	3763.1	3761.7	1.4	1.625	1.964	6.38	3.14	0.150	0.071	6.312	0.222					68.103
2.5	4347.1	4345.8	1.3	1.697	1.972	6.69	3.14	0.150	0.071	6.622	0.196	0.197	0.695	71.768	71.680	
	4080.8	4079.5	1.3	1.587	2.113	6.71	3.14	0.150	0.071	6.636	0.196					71.826
	4339.7	4338.4	1.3	1.619	2.044	6.62	3.14	0.150	0.071	6.548	0.199					71.447

Kontrol Jaminan Mutu

No.	Jlh X	Jumlah X ²	Rata-Rata	SD	RSD	%RSD	2%	%RSD VS 2%	"Presisi" "Tidak Presisi"
								"<"=">"	
0 (blanko)	2.086	1.451	0.695	0.007402846	0.010646599	1.064659881	2	<	PRESISI
0.5	175.907	10314.679	58.636	0.374247742	0.006382603	0.638260339	2	<	PRESISI
1	177.930	10553.129	59.310	0.148834977	0.002509435	0.250943479	2	<	PRESISI
1.5	192.286	12324.669	64.095	0.096675744	0.001508311	0.150831083	2	<	PRESISI
2	204.003	13872.627	68.001	0.361130279	0.005310669	0.531066927	2	<	PRESISI
2.5	215.040	15414.194	71.680	0.204352489	0.002850896	0.285089571	2	<	PRESISI

Hari ke-3

3 Hari	m1 (mg)	m2 (mg)	Δm (mg)	p (cm)	l(cm)	L. baja (cm)	phi	r (cm)	L. lubang (cm ²)	L. total (cm ²)	r (laju korosi) (mg/cm ² .hari)	r (laju korosi blanko) (mg/cm ² .hari)
0 (blanko)	4128.5	4118.7	9.8	1.700	1.920	6.53	3.14	0.150	0.071	6.457	4.553	4.570
	4217.2	4207.3	9.9	1.711	1.930	6.60	3.14	0.150	0.071	6.534	4.546	
	4117.3	4107.6	9.7	1.651	1.933	6.38	3.14	0.150	0.071	6.312	4.610	

Ce nk	m1 (mg)	m2 (mg)	Δm (mg)	p (cm)	L (cm)	L. baja (cm)	phi	r (cm)	L. lubang (cm ²)	L. total (cm ²)	r (laju korosi) (mg/cm ² .hari)	rata-rata r (laju korosi) (mg/cm ² . hari)	r (laju korosi blanko) (mg/cm ² .hari)	EI (%)	rata- rata EI
0.5	3991.9	3987.4	4.5	1.624	1.959	6.36	3.14	0.150	0.071	6.292	2.146	2.136	4.570	53.048	53.248
	4074.1	4069.6	4.5	1.634	1.965	6.42	3.14	0.150	0.071	6.351	2.126		4.570	53.482	
	3935.0	3930.5	4.5	1.644	1.942	6.39	3.14	0.150	0.071	6.315	2.138		4.570	53.215	
1.0	4715.0	4710.3	4.7	1.689	2.018	6.82	3.14	0.150	0.071	6.746	2.090	2.093	4.570	54.261	54.203
	3913.0	3908.5	4.5	1.667	1.968	6.56	3.14	0.150	0.071	6.491	2.080		4.570	54.483	
	3794.2	3789.8	4.4	1.655	1.913	6.33	3.14	0.150	0.071	6.261	2.108		4.570	53.865	
1.5	3989.3	3985.1	4.2	1.645	1.965	6.46	3.14	0.150	0.071	6.394	1.971	1.975	4.570	56.877	56.786
	3930.2	3926.1	4.1	1.647	1.902	6.27	3.14	0.150	0.071	6.195	1.986		4.570	56.547	
	4003.0	3998.8	4.2	1.648	1.964	6.47	3.14	0.150	0.071	6.403	1.968		4.570	56.934	
2.0	4272.5	4268.8	3.7	1.662	1.975	6.56	3.14	0.150	0.071	6.494	1.709	1.682	4.570	62.596	63.192
	3959.4	3955.8	3.6	1.653	1.969	6.51	3.14	0.150	0.071	6.439	1.677		4.570	63.294	
	3954.8	3951.3	3.5	1.655	1.933	6.40	3.14	0.150	0.071	6.328	1.659		4.570	63.686	
2.5	4409.1	4405.3	3.8	1.721	2.014	6.93	3.14	0.150	0.071	6.862	1.661	1.652	4.570	63.641	63.858
	4113.9	4110.2	3.7	1.655	2.083	6.89	3.14	0.150	0.071	6.824	1.627		4.570	64.404	
	4225.3	4221.6	3.7	1.718	1.959	6.73	3.14	0.150	0.071	6.660	1.667		4.570	63.529	

Kontrol Jaminan Mutu

No.	Jlh X	Jumlah X ²	Rata- Rata	SD	RSD	%RSD	2%	%RSD VS 2% "<"=">"	"Presisi" "Tidak Presisi"
0 (blanko)	13.709	62.645	4.570	0.03536006	0.007738154	0.773815386	2	<	PRESISI
0.5	159.745	8506.225	53.248	0.219238075	0.004117282	0.411728225	2	<	PRESISI
1	162.610	8814.163	54.203	0.31312966	0.005776957	0.577695698	2	<	PRESISI
1.5	170.358	9674.058	56.786	0.209067409	0.003681668	0.368166775	2	<	PRESISI
2	189.576	11980.253	63.192	0.552039585	0.008735925	0.873592502	2	<	PRESISI
2.5	191.575	12234.067	63.858	0.475820285	0.007451199	0.745119938	2	<	PRESISI

Hari ke-5

5 Hari	m1 (mg)	m2 (mg)	Δm (mg)	p (cm)	l(cm)	L. baja (cm)	phi	r (cm)	L. lubang (cm ²)	L. total (cm ²)	r (laju korosi) (mg/cm ² .hari)	r (laju korosi blanko) (mg/cm ² .hari)
0 (blanko)	4286.2	4270.0	16.2	1.678	1.909	6.41	3.14	0.150	0.071	6.336	12.784	12.984
	4077.5	4059.8	17.7	1.607	2.118	6.81	3.14	0.150	0.071	6.737	13.137	
	4057.9	4040.7	17.2	1.656	2.014	6.67	3.14	0.150	0.071	6.600	13.031	

Ce nk	m1 (mg)	m2 (mg)	Δm (mg)	p (cm)	L (cm)	L. baja (cm)	phi	r (cm)	L. lubang (cm ²)	L. total (cm ²)	r (laju korosi) (mg/cm ² .hari)	rata-rata r (laju korosi) (mg/cm ² .hari)	r (laju korosi blanko) (mg/cm ² .hari)	EI (%)	rata-rata EI
0.5	4072.7	4063.3	9.4	1.646	2.000	6.58	3.14	0.150	0.071	6.513	7.216	7.190	12.984	44.425	44.628
	4030.4	4021.1	9.3	1.649	1.983	6.54	3.14	0.150	0.071	6.469	7.188		12.984	44.641	
	4347.3	4337.6	9.7	1.693	2.020	6.84	3.14	0.150	0.071	6.769	7.165		12.984	44.817	
1.0	3987.0	3979.0	8.0	1.661	1.963	6.52	3.14	0.150	0.071	6.450	6.201	6.192	12.984	52.240	52.311
	4055.7	4047.4	8.3	1.673	2.040	6.83	3.14	0.150	0.071	6.755	6.143		12.984	52.685	
	3885.3	3877.3	8.0	1.664	1.950	6.49	3.14	0.150	0.071	6.419	6.232		12.984	52.006	
1.5	4052.7	4044.8	7.9	1.665	2.023	6.74	3.14	0.150	0.071	6.666	5.926	5.937	12.984	54.362	54.274
	3647.3	3640.4	6.9	1.590	1.841	5.85	3.14	0.150	0.071	5.784	5.965		12.984	54.059	
	3829.0	3821.5	7.5	1.614	1.984	6.40	3.14	0.150	0.071	6.334	5.921		12.984	54.400	
2.0	3843.1	3835.8	7.3	1.633	1.919	6.27	3.14	0.150	0.071	6.197	5.890	5.815	12.984	54.636	55.216
	3983.8	3976.2	7.6	1.656	2.004	6.64	3.14	0.150	0.071	6.567	5.787		12.984	55.431	
	3885.5	3878.1	7.4	1.658	1.956	6.49	3.14	0.150	0.071	6.415	5.767		12.984	55.582	
2.5	4133.9	4127.1	6.8	1.659	2.056	6.82	3.14	0.150	0.071	6.751	5.036	5.065	12.984	61.213	60.992
	3841.8	3835.5	6.3	1.640	1.939	6.36	3.14	0.150	0.071	6.289	5.009		12.984	61.426	
	3865.1	3858.5	6.6	1.668	1.942	6.48	3.14	0.150	0.071	6.408	5.150		12.984	60.337	

Kontrol Jaminan Mutu

No.	Jlh X	Jumlah X ²	Rata-Rata	SD	RSD	%RSD	2%	%RSD VS 2%	"Presisi" "Tidak Presisi"
								"<"=">"	
0 (blanko)	38.952	505.824	12.984	0.181091986	0.013947236	1.394723617	2	<	PRESISI
0.5	133.883	5975.001	44.628	0.196765809	0.00440904	0.440904047	2	<	PRESISI
1	156.932	8209.419	52.311	0.344736013	0.006590181	0.65901814	2	<	PRESISI
1.5	162.821	8837.016	54.274	0.186978797	0.0034451	0.344510038	2	<	PRESISI
2	165.648	9146.971	55.216	0.508223946	0.00920427	0.920427034	2	<	PRESISI
2.5	182.975	11160.606	60.992	0.577162825	0.009462983	0.946298286	2	<	PRESISI

Hari ke-7

7 Hari	m1 (mg)	m2 (mg)	Δm (mg)	p (cm)	l(cm)	L. baja (cm)	phi	r (cm)	L. lubang (cm ²)	L. total (cm ²)	r (laju korosi) (mg/cm ² .hari)	r (laju korosi blanko) (mg/cm ² .hari)
0 (blanko)	3863.9	3844.4	19.5	1.587	1.982	6.29	3.14	0.150	0.071	6.220	21.945	21.808
	3845.6	3826.1	19.5	1.628	1.963	6.39	3.14	0.150	0.071	6.321	21.595	
	3687.1	3667.2	19.9	1.586	2.029	6.44	3.14	0.150	0.071	6.365	21.884	

Ce nk	m1 (mg)	m2 (mg)	Δm (mg)	p (cm)	L (cm)	L. baja (cm)	phi	r (cm)	L. lubang (cm ²)	L. total (cm ²)	r (laju korosi) (mg/cm ² .hari)	rata-rata r (laju korosi) (mg/cm ² .hari)	r (laju korosi blanko) (mg/cm ² .hari)	EI (%)	rata-rata EI
0.5	3552.2	3538.6	13.6	1.579	1.996	6.30	3.14	0.150	0.071	6.233	15.274	15.300	21.808	29.960	29.841
	3722.0	3708.5	13.5	1.636	1.898	6.21	3.14	0.150	0.071	6.140	15.392		21.808	29.421	
	3979.6	3965.0	14.6	1.628	2.082	6.78	3.14	0.150	0.071	6.708	15.235		21.808	30.141	

Ce nk	m1 (mg)	m2 (mg)	Δ m (mg)	p (cm)	L (cm)	L. baja (cm)	phi	r (cm)	L. lubang (cm ²)	L. total (cm ²)	r (laju korosi) (mg/cm ² .hari)	rata-rata r (laju korosi) (mg/cm ² . hari)	r (laju korosi blanko) (mg/cm ² .hari)	EI (%)	rata-rata EI
1.0	3765.4	3752.9	12.5	1.590	1.981	6.30	3.14	0.150	0.071	6.229	14.047	14.115	21.808	35.586	35.274
	3836.0	3823.0	13.0	1.628	1.996	6.50	3.14	0.150	0.071	6.428	14.156		21.808	35.087	
	3698.0	3685.6	12.4	1.638	1.895	6.21	3.14	0.150	0.071	6.137	14.143		21.808	35.148	
1.5	3871.2	3860.4	10.8	1.598	1.869	5.97	3.14	0.150	0.071	5.903	12.808	12.744	21.808	41.270	41.563
	3599.6	3588.0	11.6	1.604	2.000	6.42	3.14	0.150	0.071	6.345	12.797		21.808	41.321	
	4126.8	4115.8	11.0	1.614	1.911	6.17	3.14	0.150	0.071	6.098	12.627		21.808	42.099	
2.0	4081.8	4070.8	11.0	1.607	1.993	6.41	3.14	0.150	0.071	6.335	12.155	12.201	21.808	44.264	44.050
	4064.2	4053.2	11.0	1.616	1.965	6.35	3.14	0.150	0.071	6.280	12.261		21.808	43.779	
	3981.9	3970.9	11.0	1.597	2.000	6.39	3.14	0.150	0.071	6.317	12.189		21.808	44.109	
2.5	4137.8	4127.8	10.0	1.609	1.971	6.34	3.14	0.150	0.071	6.272	11.161	11.206	21.808	48.823	48.615
	3878.0	3868.1	9.9	1.582	1.958	6.20	3.14	0.150	0.071	6.124	11.315		21.808	48.114	
	4117.0	4106.8	10.2	1.610	2.012	6.48	3.14	0.150	0.071	6.408	11.142		21.808	48.907	

Kontrol Jaminan Mutu

No.	Jlh X	Jumlah X ²	Rata- Rata	SD	RSD	%RSD	2%	%RSD VS 2%	"Presisi" "Tidak Presisi"
								"<"=">"	
0 (blanko)	65.424	1426.828	21.808	0.186782486	0.008564885	0.856488474	2	<	PRESISI
0.5	89.522	2671.691	29.841	0.374764012	0.012558803	1.255880342	2	<	PRESISI
1	105.822	3732.882	35.274	0.272063742	0.007712902	0.771290172	2	<	PRESISI
1.5	124.690	5182.964	41.563	0.464758165	0.011181927	1.118192689	2	<	PRESISI
2	132.151	5821.449	44.050	0.24764646	0.005621883	0.562188282	2	<	PRESISI
2.5	145.844	7090.521	48.615	0.435620914	0.008960699	0.896069943	2	<	PRESISI

3.5.3. Dalam Media Air Gambut

Hari ke-1

1 Hari	m1 (mg)	m2 (mg)	Δm (mg)	p (cm)	l(cm)	L. baja (cm)	phi	r (cm)	L. lubang (cm ²)	L. total (cm ²)	r (laju korosi) (mg/cm ¹ .hari)	r (laju korosi blanko) (mg/cm ¹ .hari)
0 (blanko)	4149.0	4147.4	1.6	2.003	1.504	6.03	3.14	0.150	0.071	5.954	0.269	0.267
	4759.4	4757.8	1.6	2.025	1.517	6.14	3.14	0.150	0.071	6.073	0.263	
	4398.6	4396.8	1.8	2.088	1.621	6.77	3.14	0.150	0.071	6.699	0.269	

Cenk	m1 (mg)	m2 (mg)	Δm (mg)	p (cm)	l(cm)	L. baja (cm)	phi	r (cm)	L. lubang (cm ²)	L. total (cm ²)	r (laju korosi) (mg/cm ¹ .hari)	rata-rata r (laju korosi) (mg/cm ¹ .hari)	r (laju korosi blanko) (mg/cm ¹ .hari)	EI (%)	rata-rata EI
0.5	4198.3	4197.6	0.7	2.039	1.490	6.08	3.14	0.150	0.071	6.006	0.117	0.119	0.267	56.338	55.513
	4285.4	4284.6	0.8	2.054	1.616	6.64	3.14	0.150	0.071	6.568	0.122		0.267	54.373	
	4498.7	4498.0	0.7	2.001	1.501	6.01	3.14	0.150	0.071	5.936	0.118		0.267	55.829	
1.0	4248.1	4247.4	0.7	2.101	1.606	6.75	3.14	0.150	0.071	6.678	0.105	0.107	0.267	60.733	59.740
	4053.1	4052.4	0.7	1.998	1.601	6.40	3.14	0.150	0.071	6.327	0.111		0.267	58.556	
	4218.5	4217.8	0.7	2.039	1.622	6.61	3.14	0.150	0.071	6.544	0.107		0.267	59.930	
1.5	4280.4	4279.8	0.6	2.076	1.686	7.00	3.14	0.150	0.071	6.930	0.087	0.087	0.267	67.566	67.425
	4064.6	4064.0	0.6	2.019	1.661	6.71	3.14	0.150	0.071	6.636	0.090		0.267	66.133	
	4292.6	4292.1	0.5	1.980	1.523	6.03	3.14	0.150	0.071	5.960	0.084		0.267	68.577	
2.0	4338.2	4337.9	0.3	2.069	1.681	6.96	3.14	0.150	0.071	6.885	0.044	0.044	0.267	83.679	83.701
	4225.3	4225.0	0.3	2.064	1.608	6.64	3.14	0.150	0.071	6.567	0.046		0.267	82.888	
	4728.3	4728.0	0.3	2.148	1.708	7.34	3.14	0.150	0.071	7.267	0.041		0.267	84.536	
2.5	3998.5	3998.4	0.1	1.985	1.583	6.28	3.14	0.150	0.071	6.214	0.016	0.016	0.267	93.972	94.065
	4021.4	4021.3	0.1	2.000	1.596	6.38	3.14	0.150	0.071	6.313	0.016		0.267	94.067	
	4215.2	4215.1	0.1	2.012	1.611	6.48	3.14	0.150	0.071	6.412	0.016		0.267	94.158	

Kontrol Jaminan Mutu

No.	Jlh X	Jumlah X ²	Rata-Rata	SD	RSD	%RSD	2%	%RSD VS 2%	"Presisi" "Tidak Presisi"
								"<"=">"	
0 (blanko)	0.801	0.214	0.267	0.003035695	0.011371439	1.137143913	2	<	PRESISI
0.5	166.540	9247.314	55.513	1.019967542	0.018373337	1.837333711	2	<	PRESISI
1	179.219	10708.932	59.740	1.10100913	0.018430098	1.843009773	2	<	PRESISI
1.5	202.276	13641.592	67.425	1.227780779	0.018209454	1.820945427	2	<	PRESISI
2	251.103	21018.852	83.701	0.824093005	0.009845695	0.984569526	2	<	PRESISI
2.5	282.196	26544.945	94.065	0.093154267	0.000990313	0.099031329	2	<	PRESISI

Hari ke-3

3 Hari	m1 (mg)	m2 (mg)	Δm (mg)	p (cm)	l(cm)	L. baja (cm)	phi	r (cm)	L. lubang (cm ²)	L. total (cm ²)	r (laju korosi) (mg/cm ² .hari)	r (laju korosi blanko) (mg/cm ² .hari)
0 (blanko)	4156.3	4148.8	7.5	1.996	1.669	6.66	3.14	0.150	0.071	6.592	3.413	3.489
	4256.9	4249.3	7.6	1.989	1.653	6.58	3.14	0.150	0.071	6.505	3.505	
	4222.3	4214.6	7.7	2.003	1.642	6.58	3.14	0.150	0.071	6.507	3.550	

Ce nk	m1 (mg)	m2 (mg)	Δm (mg)	p (cm)	L (cm)	L. baja (cm)	phi	r (cm)	L. lubang (cm ²)	L. total (cm ²)	r (laju korosi) (mg/cm ² .hari)	rata-rata r (laju korosi) (mg/cm ² . hari)	r (laju korosi blanko) (mg/cm ² .hari)	EI (%)	rata- rata EI
0.5	4221.9	4218.3	3.6	1.987	1.609	6.39	3.14	0.150	0.071	6.324	1.708	1.710	3.489	51.054	50.997
	4456.2	4452.5	3.7	2.017	1.611	6.50	3.14	0.150	0.071	6.428	1.727		3.489	50.513	
	3968.0	3964.3	3.7	2.043	1.620	6.62	3.14	0.150	0.071	6.549	1.695		3.489	51.424	
1.0	4192.5	4189.1	3.4	2.033	1.622	6.60	3.14	0.150	0.071	6.524	1.563	1.542	3.489	55.197	55.817
	4468.9	4465.6	3.3	1.979	1.635	6.47	3.14	0.150	0.071	6.401	1.547		3.489	55.674	
	4321.6	4318.2	3.4	2.032	1.674	6.80	3.14	0.150	0.071	6.732	1.515		3.489	56.581	
1.5	4562.0	4559.0	3.0	2.033	1.680	6.83	3.14	0.150	0.071	6.760	1.331	1.345	3.489	61.847	61.462
	4186.2	4183.3	2.9	1.999	1.625	6.50	3.14	0.150	0.071	6.426	1.354		3.489	61.201	
	4366.6	4363.7	2.9	2.011	1.621	6.52	3.14	0.150	0.071	6.449	1.349		3.489	61.339	
2.0	4423.7	4421.2	2.5	2.009	1.672	6.72	3.14	0.150	0.071	6.647	1.128	1.129	3.489	67.666	67.656
	4232.8	4230.3	2.5	2.013	1.694	6.82	3.14	0.150	0.071	6.749	1.111		3.489	68.155	
	4465.1	4462.5	2.6	2.118	1.623	6.88	3.14	0.150	0.071	6.804	1.146		3.489	67.148	
2.5	4217.3	4215.6	1.7	2.114	1.654	6.99	3.14	0.150	0.071	6.922	0.737	0.790	3.489	78.886	77.364
	4561.9	4560.1	1.8	2.012	1.658	6.67	3.14	0.150	0.071	6.601	0.818		3.489	76.556	
	4122.0	4120.2	1.8	2.036	1.645	6.70	3.14	0.150	0.071	6.628	0.815		3.489	76.651	

Kontrol Jaminan Mutu

No.	Jlh X	Jumlah X ²	Rata- Rata	SD	RSD	%RSD	2%	%RSD VS 2% "<"=">"	"Presisi" "Tidak Presisi"
0 (blanko)	10.468	36.537	3.489	0.069668161	0.019965758	1.996575776	2	<	PRESISI
0.5	152.991	7802.525	50.997	0.458136818	0.00898359	0.898359006	2	<	PRESISI
1	167.452	9347.688	55.817	0.703437729	0.012602514	1.260251354	2	<	PRESISI
1.5	184.386	11332.968	61.462	0.340177312	0.005534757	0.553475731	2	<	PRESISI
2	202.969	13732.637	67.656	0.503168117	0.00743712	0.743711986	2	<	PRESISI
2.5	232.093	17959.249	77.364	1.318950249	0.017048533	1.704853341	2	<	PRESISI

Hari ke-5

5 Hari	m1 (mg)	m2 (mg)	Δm (mg)	p (cm)	l(cm)	L. baja (cm)	phi	r (cm)	L. lubang (cm ²)	L. total (cm ²)	r (laju korosi) (mg/cm ² .hari)	r (laju korosi blanko) (mg/cm ² .hari)
0 (blanko)	4186.1	4169.4	16.7	2.086	1.617	6.75	3.14	0.150	0.071	6.675	12.508	12.530
	4380.4	4363.4	17.0	2.009	1.678	6.74	3.14	0.150	0.071	6.672	12.741	
	3958.5	3942.0	16.5	1.994	1.694	6.76	3.14	0.150	0.071	6.685	12.341	

Ce nk	m1 (mg)	m2 (mg)	Δm (mg)	p (cm)	L (cm)	L. baja (cm)	phi	r (cm)	L. lubang (cm ²)	L. total (cm ²)	r (laju korosi) (mg/cm ² .hari)	rata-rata r (laju korosi) (mg/cm ² .hari)	r (laju korosi blanko) (mg/cm ² .hari)	EI (%)	rata-rata EI
0.5	4102.3	4094.0	8.3	2.016	1.581	6.37	3.14	0.150	0.071	6.304	6.583	6.621	12.530	47.461	47.155
	3967.6	3959.5	8.1	1.963	1.592	6.25	3.14	0.150	0.071	6.180	6.554		12.530	47.695	
	4154.2	4145.4	8.8	2.043	1.618	6.61	3.14	0.150	0.071	6.540	6.727		12.530	46.311	
1.0	4376.9	4368.1	8.8	2.184	1.640	7.16	3.14	0.150	0.071	7.093	6.203	6.143	12.530	50.492	50.972
	4121.8	4114.1	7.7	1.930	1.680	6.48	3.14	0.150	0.071	6.414	6.002		12.530	52.096	
	4059.1	4051.2	7.9	2.023	1.586	6.42	3.14	0.150	0.071	6.346	6.224		12.530	50.327	
1.5	4190.7	4183.2	7.5	2.057	1.597	6.57	3.14	0.150	0.071	6.499	5.770	5.639	12.530	53.953	54.996
	4178.7	4171.6	7.1	2.042	1.596	6.52	3.14	0.150	0.071	6.447	5.506		12.530	56.057	
	4266.7	4258.6	8.1	2.185	1.659	7.25	3.14	0.150	0.071	7.179	5.641		12.530	54.978	
2.0	4469.9	4462.8	7.1	2.101	1.593	6.69	3.14	0.150	0.071	6.623	5.360	5.352	12.530	57.223	57.288
	4077.6	4070.8	6.8	2.055	1.595	6.56	3.14	0.150	0.071	6.485	5.243		12.530	58.156	
	4101.8	4094.0	7.8	2.146	1.683	7.22	3.14	0.150	0.071	7.153	5.452		12.530	56.485	
2.5	4164.0	4157.8	6.2	2.061	1.590	6.55	3.14	0.150	0.071	6.483	4.781	4.944	12.530	61.840	60.539
	3978.3	3972.0	6.3	1.979	1.606	6.36	3.14	0.150	0.071	6.286	5.011		12.530	60.006	
	4129.9	4123.5	6.4	1.969	1.630	6.42	3.14	0.150	0.071	6.348	5.041		12.530	59.771	

Kontrol Jaminan Mutu

No.	Jlh X	Jumlah X ²	Rata-Rata	SD	RSD	%RSD	2%	%RSD VS 2%	"Presisi" "Tidak Presisi"
								"<"=">"	
0 (blanko)	37.590	471.087	12.530	0.200691009	0.016016774	1.60167737	2	<	PRESISI
0.5	141.466	6671.982	47.155	0.740912567	0.01571216	1.571216	2	<	PRESISI
1	152.915	7796.217	50.972	0.97755683	0.019178469	1.917846863	2	<	PRESISI
1.5	164.987	9075.826	54.996	1.052277512	0.019133783	1.91337827	2	<	PRESISI
2	171.864	9847.201	57.288	0.837467007	0.014618502	1.461850205	2	<	PRESISI
2.5	181.617	10997.490	60.539	1.132629514	0.018709078	1.870907752	2	<	PRESISI

Hari ke-7

7 Hari	m1 (mg)	m2 (mg)	Δm (mg)	p (cm)	l(cm)	L. baja (cm)	phi	r (cm)	L. lubang (cm ²)	L. total (cm ²)	r (laju korosi) (mg/cm ² .hari)	r (laju korosi blanko) (mg/cm ² .hari)
0 (blanko)	4175.0	4158.0	17.0	2.026	1.502	6.09	3.14	0.150	0.071	6.015	19.782	19.593
	4302.6	4285.8	16.8	2.006	1.506	6.04	3.14	0.150	0.071	5.971	19.694	
	4163.1	4146.2	16.9	2.042	1.518	6.20	3.14	0.150	0.071	6.129	19.302	

Ce nk	m1 (mg)	m2 (mg)	Δm (mg)	p (cm)	L (cm)	L. baja (cm)	phi	r (cm)	L. lubang (cm ²)	L. total (cm ²)	r (laju korosi) (mg/cm ² .hari)	rata-rata r (laju korosi) (mg/cm ² .hari)	r (laju korosi blanko) (mg/cm ² .hari)	EI (%)	rata-rata EI
0.5	4018.0	4004.3	13.7	2.025	1.590	6.44	3.14	0.150	0.071	6.369	15.058	14.994	19.593	23.147	23.469
	4522.9	4509.1	13.8	2.007	1.626	6.53	3.14	0.150	0.071	6.456	14.963		19.593	23.632	
	4093.5	4080.2	13.3	1.908	1.649	6.29	3.14	0.150	0.071	6.222	14.963		19.593	23.629	

Ce nk	m1 (mg)	m2 (mg)	Δm (mg)	p (cm)	L (cm)	L. baja (cm)	phi	r (cm)	L. lubang (cm ²)	L. total (cm ²)	r (laju korosi) (mg/cm ² .hari)	rata-rata r (laju korosi) (mg/cm ² . hari)	r (laju korosi blanko) (mg/cm ² .hari)	EI (%)	rata-rata EI
1.0	4385.6	4372.9	12.7	2.079	1.627	6.77	3.14	0.150	0.071	6.694	13.280	13.177	19.593	32.221	32.744
	4139.7	4126.5	13.2	2.169	1.639	7.11	3.14	0.150	0.071	7.039	13.126		19.593	33.005	
	4111.6	4098.2	13.4	2.140	1.686	7.22	3.14	0.150	0.071	7.146	13.126		19.593	33.006	
1.5	4185.6	4174.4	11.2	2.005	1.590	6.38	3.14	0.150	0.071	6.305	12.434	12.490	19.593	36.537	36.254
	4106.1	4094.3	11.8	2.119	1.589	6.73	3.14	0.150	0.071	6.664	12.396		19.593	36.733	
	4074.8	4063.3	11.5	2.000	1.610	6.44	3.14	0.150	0.071	6.369	12.639		19.593	35.493	
2.0	4100.0	4088.6	11.4	2.075	1.605	6.66	3.14	0.150	0.071	6.590	12.109	12.128	19.593	38.196	38.099
	4029.9	4018.3	11.6	2.061	1.625	6.70	3.14	0.150	0.071	6.628	12.252		19.593	37.468	
	4310.8	4300.4	10.4	2.011	1.523	6.13	3.14	0.150	0.071	6.055	12.023		19.593	38.633	
2.5	4172.4	4162.6	9.8	2.002	1.658	6.64	3.14	0.150	0.071	6.568	10.445	10.465	19.593	46.692	46.589
	4555.2	4544.5	10.7	2.149	1.686	7.25	3.14	0.150	0.071	7.176	10.438		19.593	46.726	
	4309.0	4298.4	10.6	2.132	1.672	7.13	3.14	0.150	0.071	7.059	10.512		19.593	46.349	

Kontrol Jaminan Mutu

No.	Jlh X	Jumlah X ²	Rata- Rata	SD	RSD	%RSD	2%	%RSD VS 2% "<=">"	"Presisi" "Tidak Presisi"
0 (blanko)	58.778	1151.760	19.593	0.255577556	0.013044486	1.30444859	2	<	PRESISI
0.5	70.408	1652.586	23.469	0.279316632	0.011901341	1.19013406	2	<	PRESISI
1	98.232	3216.895	32.744	0.452578382	0.013821771	1.38217705	2	<	PRESISI
1.5	108.763	3944.038	36.254	0.666368415	0.018380333	1.838033329	2	<	PRESISI
2	114.297	4355.325	38.099	0.588869668	0.015456248	1.545624849	2	<	PRESISI
2.5	139.766	6511.602	46.589	0.208492171	0.004475168	0.447516816	2	<	PRESISI

3.6. Analisis Rancangan Acak Kelompok (RAK) Faktorial . 2 Faktor

3.6.1. Lampiran Rancangan Acak Kelompok Efisiensi Inhibisi dalam Media Asam Sulfat 0.75 M

Kode	Ulangan			Jumlah	Rata-rata
	I	II	III		
H1K0.5	34.38	34.21	35.32	103.92	34.64
H1K1	36.03	36.25	36.03	108.31	36.10
H1K1.5	38.42	37.96	37.58	113.96	37.99
H1K2	41.30	41.79	41.30	124.39	41.46
H1K2.5	45.84	45.72	47.03	138.59	46.20
H3K0.5	26.95	27.90	27.01	81.86	27.29
H3K1	32.83	31.59	32.14	96.55	32.18
H3K1.5	34.61	34.30	35.07	103.98	34.66
H3K2	40.70	40.83	41.04	122.57	40.86
H3K2.5	44.39	44.17	44.95	133.51	44.50
H5K0.5	17.30	16.99	17.51	51.80	17.27
H5K1	29.36	29.18	29.32	87.85	29.28
H5K1.5	33.47	33.83	33.46	100.76	33.59
H5K2	37.76	37.57	37.25	112.59	37.53
H5K2.5	44.07	44.75	44.36	133.18	44.39
H7K0.5	9.82	9.67	9.79	29.29	9.76
H7K1	15.29	15.12	14.99	45.41	15.14
H7K1.5	23.79	23.76	23.95	71.50	23.83
H7K2	26.31	25.80	26.51	78.62	26.21
H7K2.5	33.09	32.82	33.40	99.31	33.10
Jumlah	645.73	644.21	648.03	1937.96	32.30

Ket: H, Hari & K, Konsentrasi

a. Tabel Dwi Arah

Faktor Pertama	Faktor Kedua					Total	Rata-rata
	K0.5	K1	K1.5	K2	K2.5		
H1	103.92	108.31	113.96	124.39	138.59	589.18	39.28
H3	81.86	96.55	103.98	122.57	133.51	538.47	35.90
H5	51.80	87.85	100.76	112.59	133.18	486.19	32.41
H7	29.29	45.41	71.50	78.62	99.31	324.13	21.61
Total	266.87	338.12	390.20	438.17	504.60	1937.96	
Rata-rata	22.24	28.18	32.52	36.51	42.05		

b. Derajat Bebas (db)

$$\text{db Ulangan} = r - 1 = 3 - 1 = \underline{2}$$

$$\begin{aligned} \text{db Perlakuan} &= t - 1 = 20 - 1 = \underline{19} \\ \text{db Faktor Pertama(H)} &= a - 1 = 4 - 1 = \underline{3} \\ \text{db Faktor Kedua (K)} &= a - 1 = 5 - 1 = \underline{4} \\ \text{db Interaksi Faktor} &= (a - 1)(b-1) = (4 - 1)(5 - 1) = \underline{12} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{db Galat} &= (t - 1)(r - 1) = (20 - 1)(3 - 1) = 19 \times 2 = \underline{38} \\ \text{db Total} &= (r \times t) - 1 = (3 \times 20) - 1 = \underline{59} \end{aligned}$$

c. Faktor Koreksi (FK)

$$\begin{aligned} \text{FK} &= \frac{Y_{..}^2}{r \times t} = \frac{\text{Kuadrat Jumlah Seluruh Data}}{\text{Jumlah Unit Percobaan (Banyaknya data)}} \\ &= \frac{1937.96^2}{3 \times 20} = \frac{3755683.74}{60} = \underline{62592.88} \end{aligned}$$

d. Jumlah Kuadrat (JK)

$$\begin{aligned} \text{JKT} &= \sum Y_{ij}^2 - \text{FK} = \text{Jumlah Kuadrat seluruh data} - \text{Faktor Koreksi} \\ &= (34.38^2 + \dots + 34.21^2) - 62592.88 \\ &= 68312.46 - 62592.88 = \underline{5719.58} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JKP} &= \frac{\sum Y_{i.}^2}{r} - \text{FK} = \frac{\text{Total Kuadrat Jumlah Tiap Perlakuan}}{\text{Ulangan}} - \text{Faktor Koreksi} \\ &= \frac{(3.92^2 + \dots + 108.31^2)}{3} - 62592.88 \\ &= \frac{204921.02}{3} - 62592.88 = \underline{5714.13} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JKU} &= \frac{\sum Y_{.j}^2}{t} - \text{FK} = \frac{\text{Total Kuadrat Jumlah Tiap Ulangan}}{\text{Perlakuan}} - \text{Faktor Koreksi} \\ &= \frac{(5.72^2 + \dots + 644.21^2)}{20} - 62592.88 \\ &= \frac{1251864.89}{20} - 62592.88 = \underline{0.37} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JKF}_1(\text{K}) &= \frac{\sum Y_{.j}^2}{t} - \text{FK} = \frac{\text{Total Kuadrat Jumlah Tiap Ulangan}}{\text{Perlakuan}} - \text{Faktor Koreksi} \\ &= \frac{(39.18^2 + \dots + 538.47^2)}{5 \times 3} - 62592.88 \\ &= \frac{978488.50}{15} - 62592.88 = \underline{2639.69} \end{aligned}$$

$$\text{JKF}_2(\text{H}) = \frac{\sum Y_{.j}^2}{t} - \text{FK} = \frac{\text{Total Kuadrat Jumlah Tiap Ulangan}}{\text{Perlakuan}} - \text{Faktor Koreksi}$$

$$= \frac{(6.87^2 + \dots + 338.12^2)}{4 \times 3} - 62592.88$$

$$= \frac{78392.11}{12} - 62592.88 = \underline{\underline{2773.13}}$$

JKIF = Jumlah Kuadrat Perlakuan – Jumlah Kuadrat Faktor Pertama (K) –
Jumlah Kuadrat Faktor Kedua (H)

$$= 5714.13 - 2639.69 - 2773.13 = \underline{\underline{301.31}}$$

JKG = Jumlah Kuadrat Total – Jumlah Kuadrat Perlakuan – Jumlah Kuadrat
Ulangan

$$= 5719.58 - 5714.13 - 0.37 = \underline{\underline{5.09}}$$

e. Kuadrat Tengah (KT)

$$KTU = \frac{JKU}{db U} = \frac{0.37}{2} = \underline{\underline{0.18}}$$

$$KTP = \frac{JKP}{db P} = \frac{5714.13}{19} = \underline{\underline{300.74}}$$

$$KTF(H) = \frac{JKFH}{db FH} = \frac{2639.69}{3} = \underline{\underline{879.90}}$$

$$KTF(K) = \frac{JKFK}{db FK} = \frac{2773.13}{4} = \underline{\underline{693.28}}$$

$$KTIF(KH) = \frac{JKIF}{db IF} = \frac{301.31}{12} = \underline{\underline{25.11}}$$

$$KTG = \frac{JKG}{db G} = \frac{5.09}{38} = \underline{\underline{0.13}}$$

f. F hitung

$$F \text{ hitung U} = \frac{KTU}{KTG} = \frac{0.18}{0.13} = \underline{\underline{1.37}}$$

$$F \text{ hitung P} = \frac{KTP}{KTG} = \frac{300.74}{0.13} = \underline{\underline{2245.74}}$$

$$F \text{ hitung F (H)} = \frac{KTFH}{KTG} = \frac{879.90}{0.13} = \underline{\underline{6570.43}}$$

$$F \text{ hitung F (K)} = \frac{KTFK}{KTG} = \frac{693.28}{0.13} = \underline{\underline{5176.94}}$$

$$F \text{ hitung IF (HK)} = \frac{KTIF}{KTG} = \frac{25.11}{0.13} = \underline{\underline{187.50}}$$

g. F tabel 5%

$$F \text{ tabel U} = F(\alpha; db U; db G) = F(0.05; 2; 38) = \underline{\underline{3.24}}$$

$$F \text{ tabel P} = F(\alpha; db P; db G) = F(0.05; 19; 18) = \underline{\underline{1.87}}$$

$$F \text{ tabel FH} = F(\alpha; db FH; db G) = F(0.05; 3; 18) = \underline{\underline{2.85}}$$

$$F \text{ tabel FK} = F(\alpha; db FK; db G) = F(0.05; 4; 18) = \underline{\underline{2.62}}$$

$$F \text{ tabel IF} = F(\alpha; db IF; db G) = F(0.05; 12; 18) = \underline{\underline{2.02}}$$

h. Koefisiensi Keragaman (KK)

$$KK = \frac{\sqrt{KTG}}{\bar{x}} \times 100\% = \frac{\sqrt{0.13}}{32.30} \times 100\% = \frac{0.37}{32.30} \times 100\% = \underline{\underline{1.13\%}}$$

Tabel analisis sidik ragam Waktu Perendaman (H) dan Konsentrasi Enkapsul (K) terhadap Efisiensi Inhibisi

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F Hitung	F Tabel 5%
Ulangan	2	0.37	0.18	1.37	3.24
Perlakuan	19	5714.13	300.74	2245.74	1.87
Faktor Pertama (HARI)	3	2639.69	879.90	6570.43	2.85
Faktor Kedua (KONSENTRASI)	4	2773.13	693.28	5176.94	2.62
HARIxKONSENTRASI	12	301.31	25.11	187.50	2.02
Galat	38	5.09	0.13		
Total	59	5719.58			
Koefisien Keragaman	1.13	%			

Keterangan : * = signifikan
ns = Non signifikan

Kriteria

- Jika F hitung > F tabel maka H₀ ditolak
- Jika F hitung < F tabel maka H₀ diterima

Hipotesis

- H₀ = Tidak terdapat pengaruh nyata terhadap Efisiensi Inhibisi.
- H₁ = Terdapat pengaruh nyata terhadap Efisiensi Inhibisi.

Kesimpulan

Terdapat pengaruh Interaksi Waktu Perendaman (H) dan Konsentrasi Enkapsul (K) terhadap efisiensi inhibisi.

i. Uji Lanjut Mandiri Duncan (DMRT) Taraf 5%

Tabel Dwi Arah Dari Jumlah Perlakuan

	K0.5	K1	K1.5	K2	K2.5	Rata-rata B
H1	103.91	108.31	113.96	124.39	138.59	39.28
H3	81.86	96.56	103.98	122.57	133.51	35.90
H5	51.80	87.86	100.76	112.58	133.18	32.41
H7	29.28	45.40	71.50	78.62	99.31	21.61
Rata-rata A	22.24	28.18	32.52	36.51	42.05	

Nilai Pembanding LSR

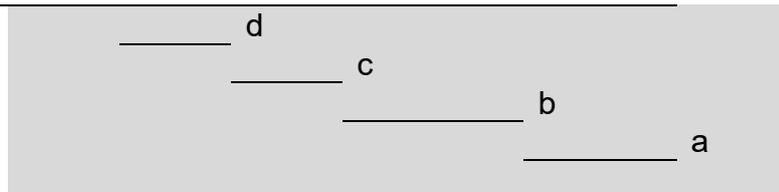
- Nilai LSR Faktor Pertama

Mencari LSR (LSR = SSR ((α , a, db Galat) x Sd

Menghitung Sd $= \sqrt{\frac{KTG}{r,b}} = \sqrt{\frac{0,13}{3 \times 5}} = \sqrt{0,01} = 0,09$

Jumlah Faktor A	2	3	4	5
SSR	3.01	3.16	3.25	3.31
Sd	0.09	0.09	0.09	0.09
LSR	0.28	0.30	0.31	0.31

	LSR	0.28	0.30	0.31
		H7	H5	H3
		21.61	32.41	35.90
				H1
				39.28
H7	21.61	0.00	10.80	14.29
H5	32.41	0.00	0.00	3.49
H3	35.90	0.00	0.00	0.00
H1	39.28	0.00	0.00	0.00

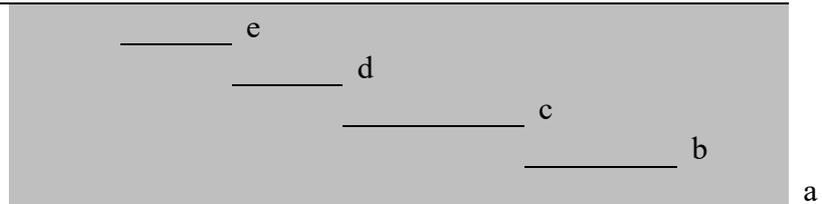


- Nilai LSR Faktor Kedua

Mencari LSR (LSR = SSR ((α ,a, db Galat) x Sd

$$\text{Menghitung Sd} = \sqrt{\frac{KTG}{r,b}} = \sqrt{\frac{0,13}{3 \times 4}} = \sqrt{0,01} = \mathbf{0.11}$$

jumlah faktor B	2.00	3.00	4.00	5.00		
SSR	3.01	3.16	3.25	3.31		
sd	0.11	0.11	0.11	0.11		
LSR	0.32	0.33	0.34	0.35		
		LSR	0.32	0.33	0.34	0.35
		K0.5	K1	K1.5	K2	K2.5
		22.24	28.18	32.52	36.51	42.05
K0.5	22.24	0.00	5.94	10.28	14.27	19.81
K1	28.18	0.00	0.00	4.34	8.33	13.87
K1.5	32.52	0.00	0.00	0.00	3.99	9.53
K2	36.51	0.00	0.00	0.00	0.00	5.54
K2.5	42.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



Notasi Huruf

Faktor H, Waktu Perendaman	Rata-Rata	
1 Hari	39.28±4.31	a
3 Hari	35.90±6.36	b
5 Hari	32.41±9.38	c
7 Hari	21.61±8.54	d

Faktor K, Konsentrasi Enkapsul	Rata-Rata	
0.5 mg/mL	22.24±9.91	e
1 mg/mL	28.18±8.27	d
1.5 mg/mL	32.52±5.51	c
2 mg/mL	36.51±6.41	b
2.5 mg/mL	42.05±5.46	a

Uji Lanjut Interaksi DMRT Taraf 5%

Tabel Dwi Arah Dari Rata-rata

	K0.5	K1	K1.5	K2	K2.5
H1	34.64	36.10	37.99	41.46	46.20
H3	27.29	32.19	34.66	40.86	44.50
H5	17.27	29.29	33.59	37.53	44.39
H7	9.76	15.13	23.83	26.21	33.10

Nilai Pembanding LSR

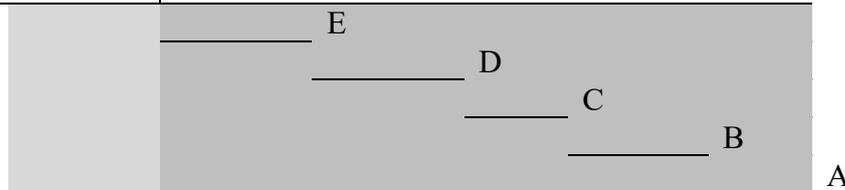
Mencari LSR (LSR = SSR (α, b , db Galat) x Sd

$$\text{Menghitung Sd} = \sqrt{\frac{KTG}{r, \alpha, b}} = \sqrt{\frac{0.13}{3 \times 4 \times 5}} = \sqrt{0.00} = \mathbf{0.05}$$

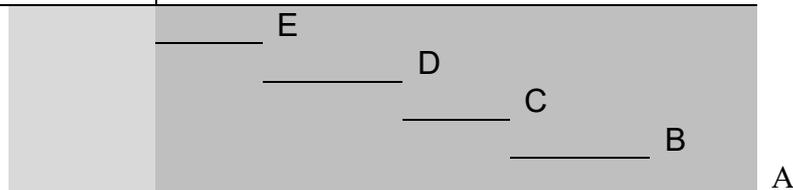
Jumlah Faktor A	2	3	4	5
SSR	3.01	3.16	3.25	3.31
Sd	0.05	0.05	0.05	0.05
LSR	0.14	0.15	0.15	0.16

- Mencari Selisih Faktor ke-2 Pada Setiap Faktor ke-1

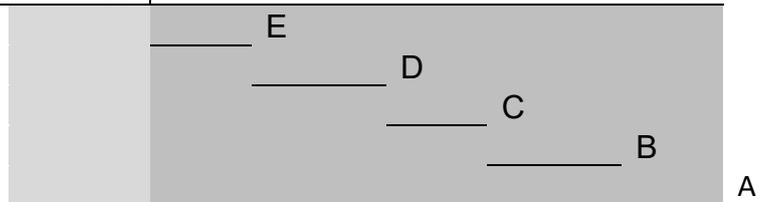
H1		LSR	0.14	0.15	0.15	0.16
		K0.5	K1	K1.5	K2	K2.5
		34.64	36.10	37.99	41.46	46.20
K0.5	34.64	0.00	1.46	3.35	6.82	11.56
K1	36.10		0.00	1.89	5.36	10.10
K1.5	37.99			0.00	3.47	8.21
K2	41.46				0.00	4.74
K2.5	46.20					0.00



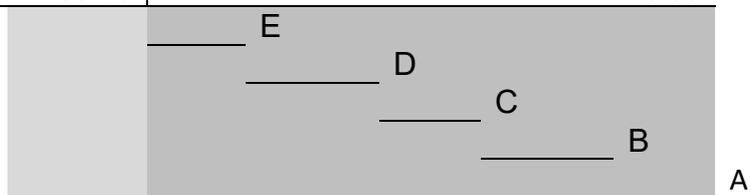
H3		LSR	0.14	0.15	0.15	0.16
		K0.5	K1	K1.5	K2	K2.5
		27.29	32.18	34.66	40.86	44.50
K0.5	27.29	0.00	4.89	7.37	13.57	17.21
K1	32.18		0.00	2.48	8.68	12.32
K1.5	34.66			0.00	6.20	9.84
K2	40.86				0.00	3.64
K2.5	44.50					0.00



H5		LSR	0.14	0.15	0.15	0.16
		K0.5	K1	K1.5	K2	K2.5
		17.27	29.28	33.59	37.53	44.39
K0.5	17.27	0.00	12.01	16.32	20.26	27.12
K1	29.28		0.00	4.31	8.25	15.11
K1.5	33.59			0.00	3.94	10.80
K2	37.53				0.00	6.86
K2.5	44.39					0.00

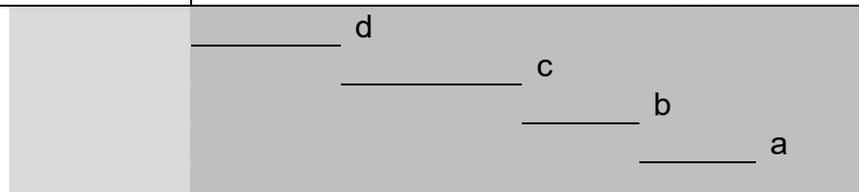


H7		LSR	0.14	0.15	0.15	0.16
		K0.5	K1	K1.5	K2	K2.5
		9.76	15.14	23.83	26.21	33.10
K0.5	9.76	0.00	5.38	14.07	16.45	23.34
K1	15.14		0.00	8.69	11.07	17.96
K1.5	23.83			0.00	2.38	9.27
K2	26.21				0.00	6.89
K2.5	33.10					0.00



- Mencari Selisih Faktor ke-1 Pada Setiap Faktor ke-2

K0.5		LSR	0.14	0.15	0.15
		H7	H5	H3	H1
		9.76	17.27	27.29	34.64
H7	9.76	0.00	7.51	17.53	24.88
H5	17.27		0.00	10.02	17.37
H3	27.29			0.00	7.35
H1	34.64				0.00

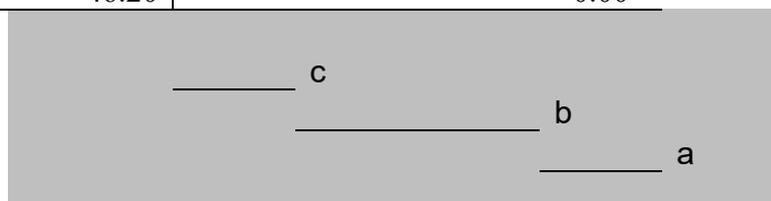


		K1	LSR	0.14	0.15	0.15
			H7	H5	H3	H1
			15.14	29.28	32.18	36.10
H7	15.14	0.00	14.14	17.04	20.96	
H5	29.28		0.00	2.90	6.82	
H3	32.18			0.00	3.92	
H1	36.10				0.00	

		K1.5	LSR	0.14	0.15	0.15
			H7	H5	H3	H1
			23.83	33.59	34.66	37.99
H7	23.83	0.00	9.76	10.83	14.16	
H5	33.59		0.00	1.07	4.40	
H3	34.66			0.00	3.33	
H1	37.99				0.00	

		K2	LSR	0.14	0.15	0.15
			H7	H5	H3	H1
			26.21	37.53	40.86	41.46
H7	26.21	0.00	11.32	14.65	15.25	
H5	37.53		0.00	3.33	3.93	
H3	40.86			0.00	0.60	
H1	41.46				0.00	

	K2.5	LSR	0.14	0.15	0.15
		H7	H5	H3	H1
		33.10	44.39	44.50	46.20
H7	33.10	0.00	11.29	11.40	13.10
H5	44.39		0.00	0.11	1.81
H3	44.50			0.00	1.70
H1	46.20				0.00



Tabel Interaksi

Waktu Perendaman (Hari)	Konsentrasi Enkapsul (mg/mL)				
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
1 Hari	34.64±0.60 aE	36.10±0.13 aD	37.99±0.42 aC	41.46±0.28 aB	46.20±0.72 aA
3 Hari	27.29±0.53 bE	32.19±0.62 bD	34.66±0.39 bC	40.86±0.17 bB	44.50±0.40 bA
5 Hari	17.27±0.26 cE	29.29±0.09 cD	33.59±0.21 cC	37.53±0.26 cB	44.39±0.34 bA
7 Hari	9.76±0.08 dE	15.13±0.15 dD	23.83±0.10 dC	26.21±0.37 dB	33.10±0.29 cA
KK %	1.13				

3.6.2. Lampiran Rancangan Acak Kelompok Efisiensi Inhibisi dalam Media Air Laut

Kode	Ulangan			Jumlah	Rata-rata
	I	II	III		
H1K0.5	58.98	58.23	58.70	175.91	58.64
H1K1	59.14	59.42	59.37	177.93	59.31
H1K1.5	64.07	64.20	64.02	192.29	64.10
H1K2	68.30	67.60	68.10	204.00	68.00
H1K2.5	71.77	71.83	71.45	215.05	71.68
H3K0.5	53.05	53.48	53.21	159.74	53.25
H3K1	54.26	54.48	53.87	162.61	54.20
H3K1.5	56.88	56.55	56.93	170.36	56.79
H3K2	62.60	63.29	63.69	189.58	63.19
H3K2.5	63.64	64.40	63.53	191.57	63.86
H5K0.5	44.42	44.64	44.82	133.88	44.63
H5K1	52.24	52.68	52.01	156.93	52.31
H5K1.5	54.36	54.06	54.40	162.82	54.27
H5K2	54.64	55.43	55.58	165.65	55.22
H5K2.5	61.21	61.43	60.34	182.98	60.99
H7K0.5	29.96	29.42	30.14	89.52	29.84
H7K1	35.59	35.09	35.15	105.83	35.28
H7K1.5	41.27	41.32	42.10	124.69	41.56
H7K2	44.26	43.78	44.11	132.15	44.05
H7K2.5	48.82	48.11	48.91	145.84	48.61
Jumlah	1079.46	1079.44	1080.43	3239.33	53.99

Ket: H, Hari & K, Konsentrasi

j. Tabel Dwi Arah

Faktor Pertama	Faktor Kedua					Total	Rata-rata
	K0.5	K1	K1.5	K2	K2.5		
H1	175.91	177.93	192.29	204.00	215.05	965.18	64.35
H3	159.74	162.61	170.36	189.58	191.57	873.86	58.26
H5	133.88	156.93	162.82	165.65	182.98	802.26	53.48
H7	89.52	105.83	124.69	132.15	145.84	598.03	39.87
Total	559.05	603.30	650.16	691.38	735.44	3239.33	
Rata-rata	46.59	50.28	54.18	57.62	61.29		

k. Derajat Bebas (db)

$$\text{db Ulangan} = r - 1 = 3 - 1 = \underline{2}$$

$$\text{db Perlakuan} = t - 1 = 20 - 1 = \underline{19}$$

$$\text{db Faktor Pertama(H)} = a - 1 = 4 - 1 = \underline{3}$$

$$\text{db Faktor Kedua (K)} = a - 1 = 5 - 1 = \underline{4}$$

$$\text{db Interaksi Faktor} = (a - 1)(b-1) = (4 - 1)(5 - 1) = \underline{12}$$

$$\text{db Galat} = (t - 1) (r - 1) = (20 - 1) (3 - 1) = 19 \times 2 = \underline{38}$$

$$\text{db Total} = (r \times t) - 1 = (3 \times 20) - 1 = \underline{59}$$

l. Faktor Koreksi (FK)

$$\begin{aligned} \text{FK} &= \frac{Y_{..}^2}{r \times t} = \frac{\text{Kuadrat Jumlah Seluruh Data}}{\text{Jumlah Unit Percobaan (Banyaknya data)}} \\ &= \frac{3239.33^2}{3 \times 20} = \frac{10493258.85}{60} = \underline{174887.65} \end{aligned}$$

m. Jumlah Kuadrat (JK)

$$\begin{aligned} \text{JKT} &= \sum Y_{ij}^2 - \text{FK} = \text{Jumlah Kuadrat seluruh data} - \text{Faktor Koreksi} \\ &= (58.98^2 + \dots + 58.23^2) - 174887.65 \\ &= 181518.24 - 174887.65 = \underline{6630.59} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JKP} &= \frac{\sum Y_{i.}^2}{r} - \text{FK} = \frac{\text{Total Kuadrat Jumlah Tiap Perlakuan}}{\text{Ulangan}} - \text{Faktor Koreksi} \\ &= \frac{(175.91^2 + \dots + 177.93^2)}{3} - 174887.65 \\ &= \frac{544539.59}{3} - 174887.65 = \underline{6625.55} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JKU} &= \frac{\sum Y_{.j}^2}{t} - \text{FK} = \frac{\text{Total Kuadrat Jumlah Tiap Ulangan}}{\text{Perlakuan}} - \text{Faktor Koreksi} \\ &= \frac{(1079.46^2 + \dots + 1079.44^2)}{20} - 174887.65 \\ &= \frac{3497753.59}{20} - 174887.65 = \underline{0.03} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JKF}_1(\text{K}) &= \frac{\sum Y_{.j}^2}{t} - \text{FK} = \frac{\text{Total Kuadrat Jumlah Tiap Ulangan}}{\text{Perlakuan}} - \text{Faktor Koreksi} \\ &= \frac{(965.18^2 + \dots + 873.86^2)}{5 \times 3} - 174887.65 \\ &= \frac{2696464.72}{15} - 174887.65 = \underline{4876.67} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JKF}_2(\text{H}) &= \frac{\sum Y_{.j}^2}{t} - \text{FK} = \frac{\text{Total Kuadrat Jumlah Tiap Ulangan}}{\text{Perlakuan}} - \text{Faktor Koreksi} \\ &= \frac{(559.05^2 + \dots + 603.3^2)}{4 \times 3} - 174887.65 \\ &= \frac{2118094.12}{12} - 174887.65 = \underline{1620.20} \end{aligned}$$

JKIF = Jumlah Kuadrat Perlakuan – Jumlah Kuadrat Faktor Pertama (K) –
 Jumlah Kuadrat Faktor Kedua (H)

$$= 6625.55 - 4876.67 - 1620.20 = \underline{128.69}$$

JKG = Jumlah Kuadrat Total – Jumlah Kuadrat Perlakuan – Jumlah Kuadrat
 Ulangan

$$= 6630.59 - 0.03 - 6625.55 = \underline{5.01}$$

n. Kuadrat Tengah (KT)

$$KTU = \frac{JKU}{db U} = \frac{0.03}{2} = \underline{0.02}$$

$$KTP = \frac{JKP}{db P} = \frac{6625.55}{19} = \underline{348.71}$$

$$KTF(H) = \frac{JKFH}{db FH} = \frac{4876.67}{3} = \underline{1625.56}$$

$$KTF(K) = \frac{JKFK}{db FK} = \frac{1620.20}{4} = \underline{405.05}$$

$$KTIF(KH) = \frac{JKIF}{db IF} = \frac{128.69}{12} = \underline{10.72}$$

$$KTG = \frac{JKG}{db G} = \frac{5.01}{38} = \underline{0.13}$$

o. F hitung

$$F \text{ hitung U} = \frac{KTU}{KTG} = \frac{0.02}{0.13} = \underline{0.12}$$

$$F \text{ hitung P} = \frac{KTP}{KTG} = \frac{348.71}{0.13} = \underline{2644.10}$$

$$F \text{ hitung F (H)} = \frac{KTFH}{KTG} = \frac{1625.56}{0.13} = \underline{12325.69}$$

$$F \text{ hitung F (K)} = \frac{KTFK}{KTG} = \frac{405.05}{0.13} = \underline{3071.26}$$

$$F \text{ hitung IF (HK)} = \frac{KTIF}{KTG} = \frac{10.72}{0.13} = \underline{81.31}$$

p. F tabel 5%

$$F \text{ tabel U} = F(\alpha; db U; db G) = F(0.05; 2; 38) = \underline{3.24}$$

$$F \text{ tabel P} = F(\alpha; db P; db G) = F(0.05; 19; 18) = \underline{1.87}$$

$$F \text{ tabel FH} = F(\alpha; db FH; db G) = F(0.05; 3; 18) = \underline{2.85}$$

$$F \text{ tabel FK} = F(\alpha; db FK; db G) = F(0.05; 4; 18) = \underline{2.62}$$

$$F \text{ tabel IF} = F(\alpha; db IF; db G) = F(0.05; 12; 18) = \underline{2.02}$$

q. Koefesiensi Keragaman (KK)

$$KK = \frac{\sqrt{KTG}}{\bar{x}} \times 100\% = \frac{\sqrt{0.13}}{53.99} \times 100\% = \frac{0.36}{53.99} \times 100\% = \underline{0.67\%}$$

Tabel analisis sidik ragam Waktu Perendaman (H) dan Konsentrasi Enkapsul (K) terhadap Efisiensi Inhibisi

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F Hitung	F Tabel 5%
Ulangan	2	0.03	0.02	0.12	3.24
Perlakuan	19	6625.55	348.71	2644.10	1.87
Faktor Pertama (HARI)	3	4876.67	1625.56	12325.69	2.85
Faktor Kedua (KONSENTRASI)	4	1620.20	405.05	3071.26	2.62
HARIxKONSENTRASI	12	128.69	10.72	81.31	2.02
Galat	38	5.01	0.13		
Total	59	6630.59			
Koefisien Keragaman	0.67	%			

Keterangan : * = signifikan
ns = Non signifikan

Kriteria

- Jika F hitung > F tabel maka H_0 ditolak
- Jika F hitung < F tabel maka H_0 diterima

Hipotesis

- H_0 = Tidak terdapat pengaruh nyata terhadap Efisiensi Inhibisi.
- H_1 = Terdapat pengaruh nyata terhadap Efisiensi Inhibisi.

Kesimpulan

Terdapat pengaruh Interaksi Waktu Perendaman (H) dan Konsentrasi Enkapsul (K) terhadap efisiensi inhibisi.

r. Uji Lanjut Mandiri Duncan (DMRT) Taraf 5%

Tabel Dwi Arah Dari Jumlah Perlakuan						
	K0.5	K1	K1.5	K2	K2.5	Rata-rata B
H1	175.91	177.93	192.29	204.00	215.05	64.35
H3	159.74	162.61	170.36	189.58	191.57	58.26
H5	133.88	156.93	162.82	165.65	182.98	53.48
H7	89.52	105.83	124.69	132.15	145.84	39.87
Rata-rata A	46.59	50.28	54.18	57.62	61.29	

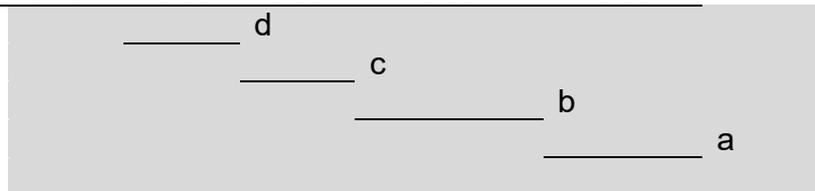
Nilai Pembanding LSR

- Nilai LSR Faktor Pertama

Mencari LSR ($LSR = SSR ((\alpha, a, db \text{ Galat}) \times Sd$)

$$\text{Menghitung } Sd = \sqrt{\frac{KTG}{r,b}} = \sqrt{\frac{0.13}{3 \times 5}} = \sqrt{0.01} = \mathbf{0.09}$$

Jumlah Faktor A	2	3	4	5	
SSR	3.01	3.16	3.25	3.31	
Sd	0.09	0.09	0.09	0.09	
LSR	0.28	0.30	0.31	0.31	
	LSR		0.28	0.30	0.31
		H7	H5	H3	H1
		39.87	53.48	58.26	64.34
H7	39.87	0.00	13.62	18.39	24.48
H5	53.48	0.00	0.00	4.77	10.86
H3	58.26	0.00	0.00	0.00	6.09
H1	64.34	0.00	0.00	0.00	0.00

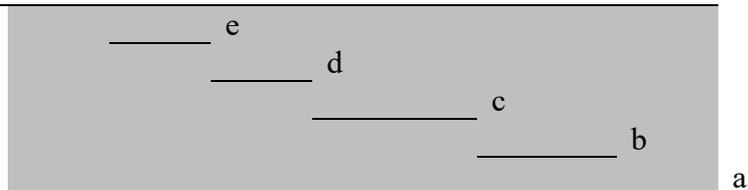


- Nilai LSR Faktor Kedua

Mencari LSR ($LSR = SSR ((\alpha, a, db \text{ Galat}) \times Sd$)

$$\text{Menghitung } Sd = \sqrt{\frac{KTG}{r,b}} = \sqrt{\frac{0.13}{3 \times 4}} = \sqrt{0.01} = \mathbf{0.10}$$

jumlah faktor B	2.00	3.00	4.00	5.00		
SSR	3.01	3.16	3.25	3.31		
sd	0.11	0.11	0.11	0.11		
LSR	0.32	0.33	0.34	0.35		
	LSR	0.32	0.33	0.34	0.35	
	K0.5	K1	K1.5	K2	K2.5	
	22.24	28.18	32.52	36.51	42.05	
K0.5	46.59	0.00	3.69	7.59	11.03	14.70
K1	50.27	0.00	0.00	3.91	7.34	11.01
K1.5	54.18	0.00	0.00	0.00	3.44	7.11
K2	57.61	0.00	0.00	0.00	0.00	3.67
K2.5	61.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



Notasi Huruf

Faktor H, Waktu Perendaman	Rata-Rata	
1 Hari	64.35±5.18	a
3 Hari	58.26±4.63	b
5 Hari	53.48±5.48	c
7 Hari	39.87±6.85	d

Faktor K, Konsentrasi Enkapsul	Rata-Rata	
0.5 mg/mL	46.59±11.37	e
1 mg/mL	50.28±9.43	d
1.5 mg/mL	54.18±8.49	c
2 mg/mL	57.62±9.48	b
2.5 mg/mL	61.29±8.67	a
KK %	0.67	

Tabel Dwi Arah Dari Rata-rata

	K0.5	K1	K1.5	K2	K2.5
H1	58.64	59.31	64.10	68.00	71.68
H3	53.25	54.20	56.79	63.19	63.86
H5	44.63	52.31	54.27	55.22	60.99
H7	29.84	35.28	41.56	44.05	48.61

Nilai Pembanding LSR

Mencari LSR (LSR = SSR (α, b , db Galat) x S_d)

$$\text{Menghitung Sd} = \sqrt{\frac{\text{KTG}}{r, \alpha, b}} = \sqrt{\frac{0.13}{3 \times 4 \times 5}} = \sqrt{0.00} = \mathbf{0.05}$$

Jumlah Faktor A	2	3	4	5
SSR	3.01	3.16	3.25	3.31
Sd	0.05	0.05	0.05	0.05
LSR	0.14	0.15	0.15	0.16

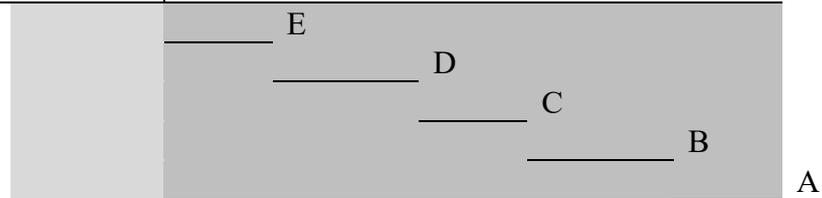
- Mencari Selisih Faktor ke-2 Pada Setiap Faktor ke-1

H1		LSR	0.14	0.15	0.15	0.16
		K0.5	K1	K1.5	K2	K2.5
		58.64	59.31	64.10	68.00	71.68
K0.5	58.64	0.00	0.67	5.46	9.37	13.04
K1	59.31		0.00	4.79	8.69	12.37
K1.5	64.10			0.00	3.91	7.58
K2	68.00				0.00	3.68
K2.5	71.68					0.00

H3		LSR	0.14	0.15	0.15	0.16
		K0.5	K1	K1.5	K2	K2.5
		27.29	32.18	34.66	40.86	44.50
K0.5		53.25	54.20	56.79	63.19	63.86
K1	53.25	0.00	0.95	3.54	9.94	10.61
K1.5	54.20		0.00	2.58	8.99	9.65
K2	56.79			0.00	6.41	7.07
K2.5	63.19				0.00	0.67

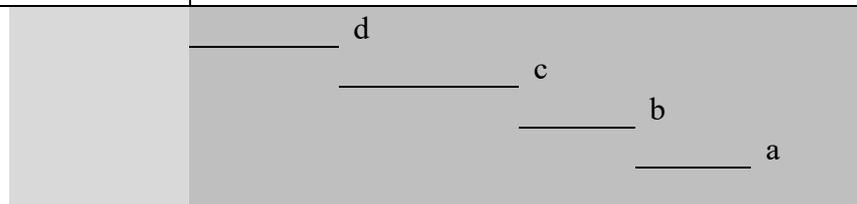
H5		LSR	0.14	0.15	0.15	0.16
		K0.5	K1	K1.5	K2	K2.5
		44.63	52.31	54.27	55.22	60.99
K0.5	44.63	0.00	7.68	9.65	10.59	16.36
K1	52.31		0.00	1.96	2.91	8.68
K1.5	54.27			0.00	0.94	6.72
K2	55.22				0.00	5.78
K2.5	60.99					0.00

H7		LSR	0.14	0.15	0.15	0.16
		K0.5	K1	K1.5	K2	K2.5
		29.84	35.27	41.56	44.05	48.61
K0.5	29.84	0.00	5.43	11.72	14.21	18.77
K1	35.27		0.00	6.29	8.78	13.34
K1.5	41.56			0.00	2.49	7.05
K2	44.05				0.00	4.56
K2.5	48.61					0.00

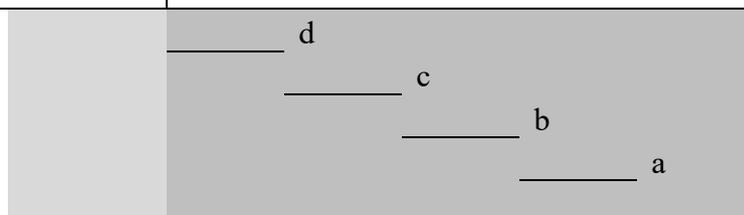


- Mencari Selisih Faktor ke-1 Pada Setiap Faktor ke-2

K0.5		LSR	0.14	0.15	0.15
		H7	H5	H3	H1
		29.84	44.63	53.25	58.64
H7	29.84	0.00	14.79	23.41	28.79
H5	44.63		0.00	8.62	14.01
H3	53.25			0.00	5.39
H1	58.64				0.00



K1		LSR	0.14	0.15	0.15
		H7	H5	H3	H1
		35.27	52.31	54.20	59.31
H7	35.27	0.00	17.04	18.93	24.04
H5	52.31		0.00	1.89	7.00
H3	54.20			0.00	5.11
H1	59.31				0.00



		LSR	0.14	0.15	0.15
		H7	H5	H3	H1
		23.83	33.59	34.66	37.99
H7	41.56	0.00	12.71	15.22	22.53
H5	54.27		0.00	2.51	9.82
H3	56.79			0.00	7.31
H1	64.10				0.00

		LSR	0.14	0.15	0.15
		H7	H5	H3	H1
		44.05	55.22	63.19	68.00
H7	44.05	0.00	11.17	19.14	23.95
H5	55.22		0.00	7.98	12.78
H3	63.19			0.00	4.81
H1	68.00				0.00

		LSR	0.14	0.15	0.15
		H7	H5	H3	H1
		48.61	60.99	63.86	71.68
H7	48.61	0.00	12.38	15.24	23.07
H5	60.99		0.00	2.87	10.69
H3	63.86			0.00	7.82
H1	71.68				0.00

Tabel Interaksi

Waktu Perendaman (Hari)	Konsentrasi Enkapsul (mg/mL)									
	0.5		1.0		1.5		2.0		2.5	
1 Hari	58.64±0.38	aE	59.31±0.15	aD	64.1±0.09	aC	68±0.36	aB	71.68±0.2	aA
3 Hari	53.25±0.22	bE	54.2±0.31	bD	56.79±0.21	bC	63.19±0.55	bB	63.86±0.47	bA
5 Hari	44.63±0.2	cE	52.31±0.34	cD	54.27±0.19	cC	55.22±0.51	cB	60.99±0.58	cA
7 Hari	29.84±0.37	dE	35.28±0.27	dD	41.56±0.47	dC	44.05±0.25	dB	48.61±0.44	dA
KK %	0.67									

3.6.3. Lampiran Rancangan Acak Kelompok Efisiensi Inhibisi dalam Media Air Gambut

Kode	Ulangan			Jumlah	Rata-rata
	I	II	III		
H1K0.5	56.34	54.37	55.83	166.54	55.51
H1K1	60.73	58.56	59.93	179.22	59.74
H1K1.5	67.57	66.13	68.58	202.28	67.43
H1K2	83.68	82.89	84.54	251.11	83.70
H1K2.5	93.97	94.07	94.16	282.20	94.07
H3K0.5	51.05	50.51	51.42	152.98	50.99
H3K1	55.20	55.67	56.58	167.45	55.82
H3K1.5	61.85	61.20	61.34	184.39	61.46
H3K2	67.67	68.15	67.15	202.97	67.66
H3K2.5	78.89	76.56	76.65	232.10	77.37
H5K0.5	47.46	47.69	46.31	141.46	47.15
H5K1	50.49	52.10	50.33	152.92	50.97
H5K1.5	53.95	56.06	54.98	164.99	55.00
H5K2	57.22	58.16	56.49	171.87	57.29
H5K2.5	61.84	60.01	59.77	181.62	60.54
H7K0.5	23.15	23.63	23.63	70.41	23.47
H7K1	32.22	33.00	33.01	98.23	32.74
H7K1.5	36.54	36.73	35.49	108.76	36.25
H7K2	38.20	37.47	38.63	114.30	38.10
H7K2.5	46.69	46.73	46.35	139.77	46.59
Jumlah	1124.71	1119.69	1121.17	3365.57	56.09

Ket: H, Hari & K, Konsentrasi

s. Tabel Dwi Arah

Faktor Pertama	Faktor Kedua					Total	Rata-rata
	K0.5	K1	K1.5	K2	K2.5		
H1	166.54	179.22	202.28	251.11	282.20	1081.35	72.09
H3	152.98	167.45	184.39	202.97	232.10	939.89	62.66
H5	141.46	152.92	164.99	171.87	181.62	812.86	54.19
H7	70.41	98.23	108.76	114.30	139.77	531.47	35.43
Total	531.39	597.82	660.42	740.25	835.69	3365.57	
Rata-rata	44.28	49.82	55.04	61.69	69.64		

t. Derajat Bebas (db)

$$\text{db Ulangan} = r - 1 = 3 - 1 = \underline{2}$$

$$\text{db Perlakuan} = t - 1 = 20 - 1 = \underline{19}$$

$$\text{db Faktor Pertama(H)} = a - 1 = 4 - 1 = \underline{3}$$

$$\text{db Faktor Kedua (K)} = a - 1 = 5 - 1 = \underline{4}$$

$$\text{db Interaksi Faktor} = (a - 1)(b - 1) = (4 - 1)(5 - 1) = \underline{12}$$

$$\text{db Galat} = (t - 1)(r - 1) = (20 - 1)(3 - 1) = 19 \times 2 = \underline{38}$$

$$\text{db Total} = (r \times t) - 1 = (3 \times 20) - 1 = \underline{59}$$

u. Faktor Koreksi (FK)

$$\begin{aligned} \text{FK} &= \frac{Y_{..}^2}{r \times t} = \frac{\text{Kuadrat Jumlah Seluruh Data}}{\text{Jumlah Unit Percobaan (Banyaknya data)}} \\ &= \frac{3365.57^2}{3 \times 20} = \frac{11327061.42}{60} = \underline{188784.36} \end{aligned}$$

v. Jumlah Kuadrat (JK)

$$\begin{aligned} \text{JKT} &= \sum Y_{ij}^2 - \text{FK} = \text{Jumlah Kuadrat seluruh data} - \text{Faktor Koreksi} \\ &= (56.34^2 + \dots + 54.37^2) - 188784.36 \\ &= 205410.23 - 188784.36 = \underline{16625.88} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JKP} &= \frac{\sum Y_i^2}{r} - \text{FK} = \frac{\text{Total Kuadrat Jumlah Tiap Perlakuan}}{\text{Ulangan}} - \text{Faktor Koreksi} \\ &= \frac{(166.54^2 + \dots + 179.22^2)}{3} - 188784.36 \\ &= \frac{616152.80}{3} - 188784.36 = \underline{16599.91} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JKU} &= \frac{\sum Y_j^2}{t} - \text{FK} = \frac{\text{Total Kuadrat Jumlah Tiap Ulangan}}{\text{Perlakuan}} - \text{Faktor Koreksi} \\ &= \frac{(1124.71^2 + \dots + 1119.69^2)}{20} - 188784.36 \\ &= \frac{3775700.45}{20} - 188784.36 = \underline{0.67} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JKF}_1(\text{K}) &= \frac{\sum Y_j^2}{t} - \text{FK} = \frac{\text{Total Kuadrat Jumlah Tiap Ulangan}}{\text{Perlakuan}} - \text{Faktor Koreksi} \\ &= \frac{(1081.35^2 + \dots + 939.89^2)}{5 \times 3} - 188784.36 \end{aligned}$$

$$= \frac{2995912.78}{15} - 188784.36 = \underline{\underline{10943.16}}$$

$$\begin{aligned} \text{JKF}_2(\text{H}) &= \frac{\sum Y_j^2}{t} - \text{FK} = \frac{\text{Total Kuadrat Jumlah Tiap Ulangan}}{\text{Perlakuan}} - \text{Faktor Koreksi} \\ &= \frac{(531.39^2 + \dots + 597.82^2)}{4 \times 3} - 188784.36 \\ &= \frac{2322266.50}{12} - 188784.36 = \underline{\underline{4737.85}} \end{aligned}$$

JKIF = Jumlah Kuadrat Perlakuan – Jumlah Kuadrat Faktor Pertama (K) – Jumlah Kuadrat Faktor Kedua (H)

$$= 16599.91 - 10943.16 - 4737.85 = \underline{\underline{918.90}}$$

JKG = Jumlah Kuadrat Total – Jumlah Kuadrat Perlakuan – Jumlah Kuadrat Ulangan

$$= 16625.88 - 0.67 - 16599.91 = \underline{\underline{25.30}}$$

w. Kuadrat Tengah (KT)

$$\text{KTU} = \frac{\text{JKU}}{\text{db U}} = \frac{0.67}{2} = \underline{\underline{0.33}}$$

$$\text{KTP} = \frac{\text{JKP}}{\text{db P}} = \frac{16599.91}{19} = \underline{\underline{873.68}}$$

$$\text{KTF}(\text{H}) = \frac{\text{JKFH}}{\text{db FH}} = \frac{10943.16}{3} = \underline{\underline{3647.72}}$$

$$\text{KTF}(\text{K}) = \frac{\text{JKFK}}{\text{db FK}} = \frac{4737.85}{4} = \underline{\underline{1184.46}}$$

$$\text{KTIF}(\text{KH}) = \frac{\text{JKIF}}{\text{db IF}} = \frac{918.90}{12} = \underline{\underline{76.57}}$$

$$\text{KTG} = \frac{\text{JKG}}{\text{db G}} = \frac{25.30}{38} = \underline{\underline{0.67}}$$

x. F hitung

$$\text{F hitung U} = \frac{\text{KTU}}{\text{KTG}} = \frac{0.33}{0.67} = \underline{\underline{0.50}}$$

$$\text{F hitung P} = \frac{\text{KTP}}{\text{KTG}} = \frac{873.68}{0.67} = \underline{\underline{1312.11}}$$

$$\text{F hitung F (H)} = \frac{\text{KTFH}}{\text{KTG}} = \frac{3647.72}{0.67} = \underline{\underline{5478.24}}$$

$$\text{F hitung F (K)} = \frac{\text{KTFK}}{\text{KTG}} = \frac{1184.46}{0.67} = \underline{\underline{1778.86}}$$

$$\text{F hitung IF (HK)} = \frac{\text{KTIF}}{\text{KTG}} = \frac{76.57}{0.67} = \underline{\underline{115.00}}$$

y. F tabel 5%

$$\text{F tabel U} = F(\alpha; \text{db U}; \text{db G}) = F(0.05; 2; 38) = \underline{\underline{3.24}}$$

$$\text{F tabel P} = F(\alpha; \text{db P}; \text{db G}) = F(0.05; 19; 18) = \underline{\underline{1.87}}$$

$$\text{F tabel FH} = F(\alpha; \text{db FH}; \text{db G}) = F(0.05; 3; 18) = \underline{\underline{2.85}}$$

$$\text{F tabel FK} = F(\alpha; \text{db FK}; \text{db G}) = F(0.05; 4; 18) = \underline{\underline{2.62}}$$

$$\text{F tabel IF} = F(\alpha; \text{db IF}; \text{db G}) = F(0.05; 12; 18) = \underline{\underline{2.02}}$$

z. Koefisiensi Keragaman (KK)

$$KK = \frac{\sqrt{KTG}}{\bar{x}} \times 100\% = \frac{\sqrt{0.67}}{56.09} \times 100\% = \frac{0.82}{56.09} \times 100\% = \underline{\underline{1.45\%}}$$

Tabel analisis sidik ragam Waktu Perendaman (H) dan Konsentrasi Enkapsul (K) terhadap Efisiensi Inhibisi

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F Hitung	F Tabel 5%
Ulangan	2	0.67	0.33	0.50	3.24
Perlakuan	19	16599.91	873.68	1312.11	1.87
Faktor Pertama (HARI)	3	10943.16	3647.72	5478.24	2.85
Faktor Kedua (KONSENTRASI)	4	4737.85	1184.46	1778.86	2.62
HARIxKONSENTRASI	12	918.90	76.57	115.00	2.02
Galat	38	25.30	0.67		
Total	59	16625.88			
Koefisien Keragaman	1.45	%			

Keterangan : * = signifikan
ns = Non signifikan

Kriteria

- Jika F hitung > F tabel maka H₀ ditolak
- Jika F hitung < F tabel maka H₀ diterima

Hipotesis

- H₀ = Tidak terdapat pengaruh nyata terhadap Efisiensi Inhibisi.
- H₁ = Terdapat pengaruh nyata terhadap Efisiensi Inhibisi.

Kesimpulan

Terdapat pengaruh Interaksi Waktu Perendaman (H) dan Konsentrasi Enkapsul (K) terhadap efisiensi inhibisi.

aa. Uji Lanjut Mandiri Duncan (DMRT) Taraf 5%

Tabel Dwi Arah Dari Jumlah Perlakuan

	K0.5	K1	K1.5	K2	K2.5	Rata-rata B
H1	166.54	179.22	202.28	251.11	282.20	72.09
H3	152.98	167.45	184.39	202.97	232.10	62.66
H5	141.46	152.92	164.99	171.87	181.62	54.19
H7	70.41	98.23	108.76	114.30	139.77	35.43
Rata-rata A	44.28	49.82	55.04	61.69	69.64	

Nilai Pembanding LSR

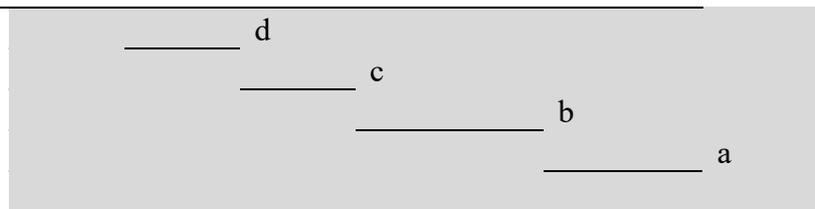
- Nilai LSR Faktor Pertama

Mencari LSR ($LSR = SSR (\alpha, a, db \text{ Galat}) \times S_d$)

$$\text{Menghitung } S_d = \sqrt{\frac{KTG}{r,b}} = \sqrt{\frac{0.67}{3 \times 5}} = \sqrt{0.04} = \mathbf{0.21}$$

Jumlah Faktor A	2	3	4	5
SSR	3.01	3.16	3.25	3.31
Sd	0.21	0.21	0.21	0.21
LSR	0.63	0.67	0.68	0.70

	LSR	0.63	0.67	0.68
	H7	35.43	54.19	62.66
	H5	35.43	0.00	18.76
	H3	54.19	0.00	0.00
	H1	62.66	0.00	0.00



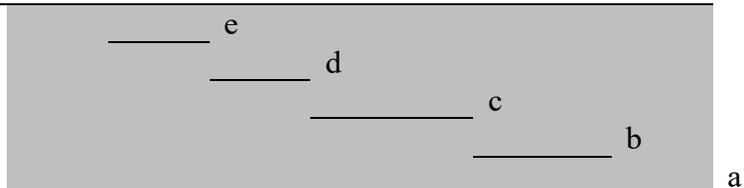
- Nilai LSR Faktor Kedua

Mencari LSR ($LSR = SSR (\alpha, b, db \text{ Galat}) \times S_d$)

$$\text{Menghitung } S_d = \sqrt{\frac{KTG}{r,b}} = \sqrt{\frac{0.67}{3 \times 4}} = \sqrt{0.06} = \mathbf{0.24}$$

jumlah faktor B	2.00	3.00	4.00	5.00
SSR	3.01	3.16	3.25	3.31
sd	0.24	0.24	0.24	0.24
LSR	0.71	0.74	0.77	0.78

	LSR	0.71	0.74	0.77	0.78
	K0.5	44.28	49.82	55.03	61.69
	K1	44.28	0.00	5.53	10.75
	K1.5	49.82	0.00	0.00	5.22
	K2	55.03	0.00	0.00	0.00
	K2.5	61.69	0.00	0.00	0.00



Notasi Huruf

Faktor H, Waktu Perendaman	Rata-Rata
1 Hari	72.09±15.14 a
3 Hari	62.66±9.57 b
5 Hari	54.19±4.93 c
7 Hari	35.43±7.79 d

Faktor K, Konsentrasi Enkapsul	Rata-Rata
0.5 mg/mL	44.28±12.94 e
1 mg/mL	49.82±10.82 d
1.5 mg/mL	55.03±12.24 c
2 mg/mL	61.69±17.30 b
2.5 mg/mL	69.64±18.63 a
KK %	1.45

Uji Lanjut Interaksi DMRT Taraf 5% Tabel Dwi Arah Dari Rata-rata

	K0.5	K1	K1.5	K2	K2.5
H1	55.51	59.74	67.43	83.70	94.07
H3	50.99	55.82	61.46	67.66	77.37
H5	47.15	50.97	55.00	57.29	60.54
H7	23.47	32.74	36.25	38.10	46.59

Nilai Pembanding LSR

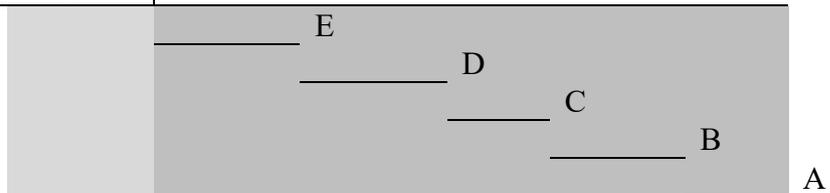
Mencari LSR ($LSR = SSR (\alpha, b, db \text{ Galat}) \times S_d$)

Menghitung $S_d = \sqrt{\frac{KTG}{r, \alpha, b}} = \sqrt{\frac{0.67}{3 \times 4 \times 5}} = \sqrt{0.01} = 0.11$

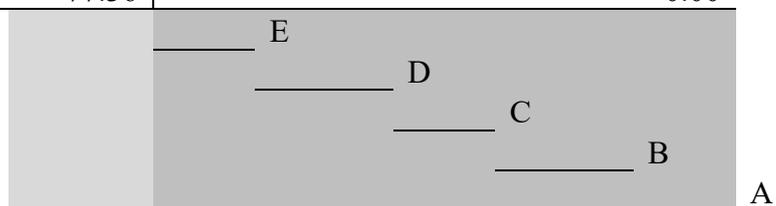
Jumlah Faktor A	2	3	4	5
SSR	3.01	3.16	3.25	3.31
Sd	0.11	0.11	0.11	0.11
LSR	0.32	0.33	0.34	0.35

- Mencari Selisih Faktor ke-2 Pada Setiap Faktor ke-1

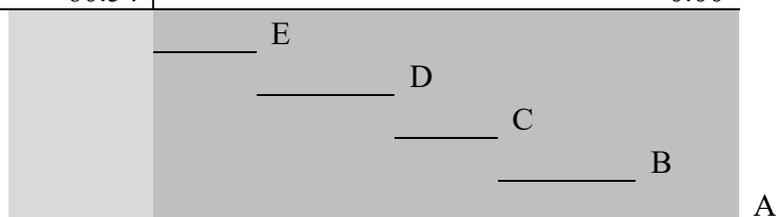
H1		LSR	0.32	0.33	0.34	0.35
		K0.5	K1	K1.5	K2	K2.5
		55.51	59.74	67.43	83.70	94.07
K0.5	55.51	0.00	4.23	11.91	28.19	38.55
K1	59.74		0.00	7.69	23.96	34.33
K1.5	67.43			0.00	16.28	26.64
K2	83.70				0.00	10.36
K2.5	94.07					0.00



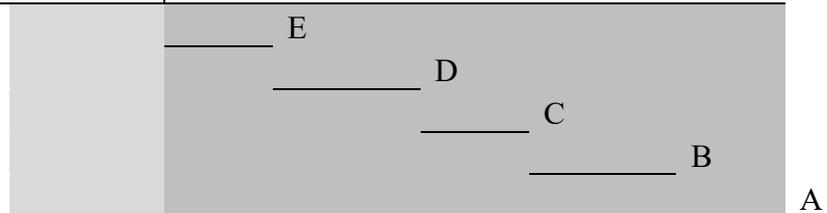
H3		LSR	0.32	0.33	0.34	0.35
		K0.5	K1	K1.5	K2	K2.5
		51.00	55.82	61.46	67.66	77.36
K0.5	51.00	0.00	4.82	10.46	16.66	26.37
K1	55.82		0.00	5.64	11.84	21.55
K1.5	61.46			0.00	6.19	15.90
K2	67.66				0.00	9.71
K2.5	77.36					0.00



H5		LSR	0.32	0.33	0.34	0.35
		K0.5	K1	K1.5	K2	K2.5
		47.16	50.97	55.00	57.29	60.54
K0.5	47.16	0.00	3.82	7.84	10.13	13.38
K1	50.97		0.00	4.02	6.32	9.57
K1.5	55.00			0.00	2.29	5.54
K2	57.29				0.00	3.25
K2.5	60.54					0.00

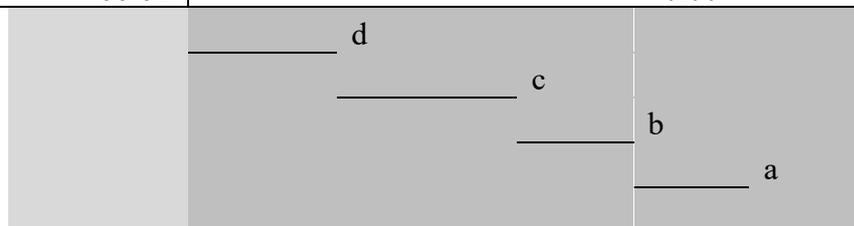


H7		LSR	0.32	0.33	0.34	0.35
		K0.5	K1	K1.5	K2	K2.5
		23.47	32.74	36.25	38.10	46.59
K0.5	23.47	0.00	9.27	12.79	14.63	23.12
K1	32.74		0.00	3.51	5.36	13.84
K1.5	36.25			0.00	1.84	10.33
K2	38.10				0.00	8.49
K2.5	46.59					0.00

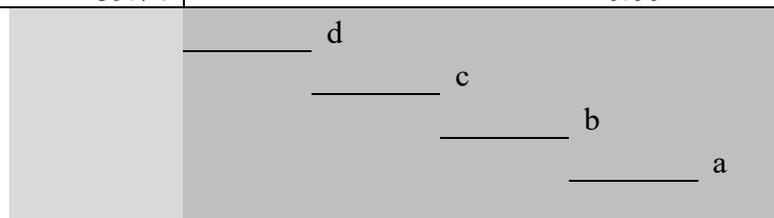


- Mencari Selisih Faktor ke-1 Pada Setiap Faktor ke-2

K0.5		LSR	0.32	0.33	0.34
		H7	H5	H3	H1
		23.47	47.16	51.00	55.51
H7	23.47	0.00	23.69	27.53	32.04
H5	47.16		0.00	3.84	8.36
H3	51.00			0.00	4.52
H1	55.51				0.00



K1		LSR	0.32	0.33	0.34
		H7	H5	H3	H1
		32.74	50.97	55.82	59.74
H7	32.74	0.00	18.23	23.07	27.00
H5	50.97		0.00	4.85	8.77
H3	55.82			0.00	3.92
H1	59.74				0.00



		LSR	0.32	0.33	0.34
		H7	H5	H3	H1
		36.25	55.00	61.46	67.43
H7	36.25	0.00	18.74	25.21	31.17
H5	55.00		0.00	6.47	12.43
H3	61.46			0.00	5.96
H1	67.43				0.00

		LSR	0.32	0.33	0.34
		H7	H5	H3	H1
		38.10	57.29	67.66	83.70
H7	38.10	0.00	19.19	29.56	45.60
H5	57.29		0.00	10.37	26.41
H3	67.66			0.00	16.04
H1	83.70				0.00

		LSR	0.32	0.33	0.34
		H7	H5	H3	H1
		46.59	60.54	77.36	94.07
H7	46.59	0.00	13.95	30.78	47.48
H5	60.54		0.00	16.83	33.53
H3	77.36			0.00	16.70
H1	94.07				0.00

Tabel Interaksi

Waktu Perendaman (Hari)	Konsentrasi Enkapsul (mg/mL)									
	0.5		1.0		1.5		2.0		2.5	
1 Hari	55.51±1.02	aE	59.74±1.1	aD	67.43±1.23	aC	83.7±0.82	aB	94.07±0.09	aA
3 Hari	51±0.46	bE	55.82±0.7	bD	61.46±0.34	bC	67.66±0.5	bB	77.36±1.32	bA
5 Hari	47.16±0.74	cE	50.97±0.98	cD	55±1.05	cC	57.29±0.84	cB	60.54±1.13	cA
7 Hari	23.47±0.28	dE	32.74±0.45	dD	36.25±0.67	dC	38.1±0.59	dB	46.59±0.21	dA
KK %	1.45									

3.7. Analisis Regresi Linear Berganda

3.7.1 Lampiran Analisis Regresi Linear Berganda dalam Media Asam Sulfat 0.75 M

1. Uji Normalitas

Dasar Pengambilan Keputusan yakni :

- Jika nilai Signifikansi Sig. lebih besar dari > 0.05 , maka data penelitian berdistribusi normal
- Jika nilai Signifikansi Sig. lebih besar dari $< 0,05$, maka data penelitian tidak berdistribusi normal

Tabel. Output Uji Normalitas Menggunakan One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test		
		Unstandardized Residual
N		20
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	0.0000000
	Std. Deviation	3.13364817
Most Extreme Differences	Absolute	0.129
	Positive	0.129
	Negative	-0.101
Test Statistic		0.129
Asymp. Sig. (2-tailed)		.200 ^{c,d}

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

c. Lilliefors Significance Correction.

d. This is a lower bound of the true significance.

Berdasarkan table “One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test” diatas diketahui nilai Asymp Sig.(2-tailed) sebesar 0,200 lebih besar dari 0,05. Maka sesuai dasar pengambilan keputusan uji normalitas Kolmogorov-

smirnov diatas, dapat disimpulkan bahwa data berdistribusi normal.

2. Uji Multikolinieritas

Uji multikolinieritas bertujuan untuk menguji apakah model regresi ditemukan adanya korelasi antar variabel bebas (independen). Untuk mendeteksi ada atau tidaknya multikolonieritas di dalam model regresi

Dasar Pengambilan Keputusan Uji Multikolinieritas

❖ Berdasarkan Nilai Tolerance

1. Jika nilai Tolerance lebih besar dari 0,10 maka artinya tidak terjadi multikolinieritas dalam model regresi
2. Jika nilai Tolerance lebih kecil dari 0,10 maka artinya terjadi multikolinieritas dalam model regresi

❖ Berdasarkan Nilai VIF (Variance Inflation Factor)

1. Jika nilai VIF < 10,00 maka artinya tidak terjadi multikolinieritas dalam model regresi
2. Jika nilai VIF > 10,00 maka artinya terjadi multikolinieritas dalam model regresi

Output dan Analisis SPSS Uji Multikolinieritas

Coefficients ^a							
Model		Unstandardized Coefficients	Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
						Std. Error	Beta
1	(Constant)	29.21		13.36	0.00		
	2			9	0		
	Waktu Perendaman (Hari)	-0.331	-0.647	-0.647	0.00	1.000	1.00
	Konsentrasi (mg/mL)	2.825	0.695	9.155	0.00	1.000	1.00
		1.048			0		0

a. Dependent Variable: Efisiensi Inhibisi (%)

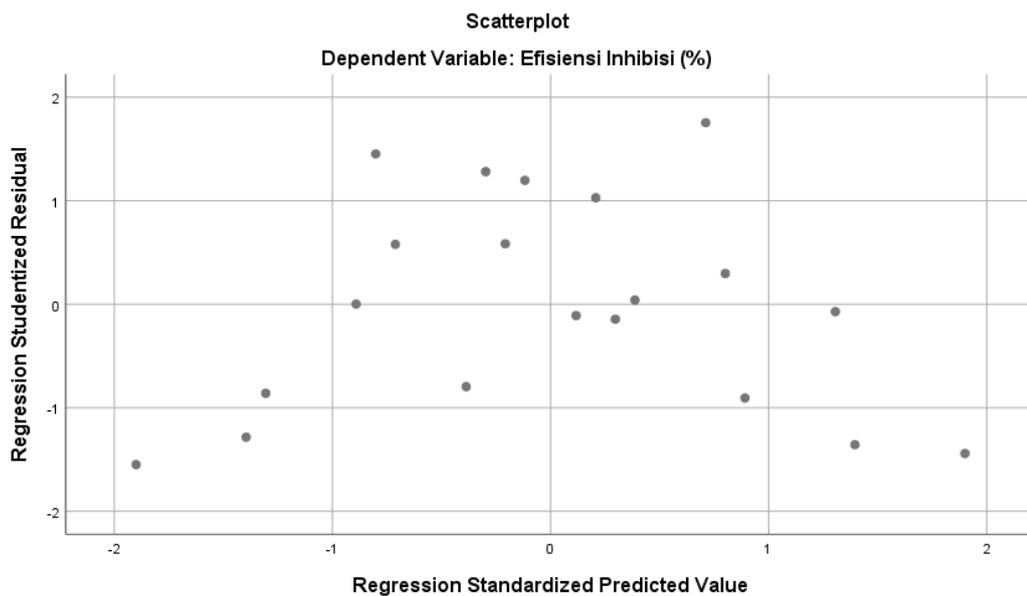
Berdasarkan table output “Coefficients” pada bagian Collinearity Statistics diketahui nilai *tolerance* untuk variable Waktu Perendaman (X1) sebesar 1.000, variable Konsentrasi (X2) Sebesar 1.000 > 0.10, sementara

nilai VIF Waktu Perendaman dan Konsentrasi masing-masing sebesar 1.000 dan $1.000 < 10.00$, Maka mengacu pada dasar pengambilan keputusan dalam uji multikolonieritas dapat disimpulkan bahwa tidak terjadi gejala multikolonieritas dalam model regresi.

3. Uji Heterokedastisitas

Uji heterokedastisitas digunakan untuk mengetahui ada atau tidaknya penyimpangan asumsi klasik heterokedastisitas yaitu adanya ketidaksamaan varian dari residual untuk semua pengamatan pada model regresi. Prasyarat yang harus terpenuhi dalam model regresi adalah tidak adanya gejala heteroskedastisitas. Ada beberapa metode pengujian yang bisa digunakan diantaranya yaitu dengan melihat scatterplot.

Jika dot menebar tidak teratur maka tidak terjadi heteroskedastisitas



Dot menebar tidak teratur maka tidak terjadi heteroskedastisitas

B. ANALISIS DATA

Hipotesis :

Ho : Tidak ada pengaruh Waktu Perendaman (X1) dan Konsentrasi (X2) terhadap Efisiensi Inhibisi (Y)

Ha : Ada pengaruh Waktu Perendaman (X1) dan Konsentrasi (X2) terhadap Efisiensi Inhibisi (Y)

Dasar Pengambilan Keputusan Uji Regresi Linear Berganda

- Jika nilai signifikansi Sig. lebih kecil dari $<$ probabilitas 0,05 mengandung arti bahwa ada pengaruh Waktu Perendaman (X1) dan Konsentrasi (X2) terhadap Efisiensi Inhibisi (Y)
- Jika nilai signifikansi Sig. lebih besar dari $>$ probabilitas 0,05 mengandung arti bahwa tidak ada pengaruh Waktu Perendaman (X1) dan Konsentrasi (X2) terhadap Efisiensi Inhibisi (Y)

1. UJI F

ANOVA ^a					
Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	1717.822	2	858.911	78.261	.000 ^b
Residual	186.575	17	10.975		
Total	1904.398	19			

a. Dependent Variable: Efisiensi Inhibisi (%)

b. Predictors: (Constant), Konsentrasi (mg/mL), Waktu Perendaman (Hari)

Berdasarkan hasil output SPSS pada table “ANOVA” diketahui nilai Sig. adalah $0,000 < 0,05$ maka sesuai dengan dasar pengambilan keputusan uji F dapat disimpulkan terdapat pengaruh Waktu Perendaman (X1) dan Konsentrasi (X2) terhadap Efisiensi Inhibisi (Y)

2. UJI T

Coefficients ^a							
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficient	t	Sig.	Collinearity Statistics Tolerance VIF
		B	Error Std.	Beta			
1	(Constant)	29.21	2.185		13.36	0.00	
	2				9	0	
	Waktu Perendaman (Hari)	-	0.331	-0.647	-	0.00	1.000
	Konsentrasi (mg/mL)	2.825			8.527	0	0
		9.591	1.048	0.695	9.155	0.00	1.000
						0	0

a. Dependent Variable: Efisiensi Inhibisi (%)

Berdasarkan output diatas diketahui nilai signifikansi Sig. pada variable Waktu Perendaman sebesar $0.000 < 0.05$, variable Konsentrasi

sebesar $0.000 < 0.05$ sehingga dapat disimpulkan bahwa Waktu Perendaman berpengaruh terhadap Efisiensi Inhibisi dan Konsentrasi berpengaruh terhadap Efisiensi Inhibisi

1. Waktu Perendaman berpengaruh terhadap Efisiensi Inhibisi
2. Konsentrasi berpengaruh terhadap Efisiensi Inhibisi
3. Waktu Perendaman dan Konsentrasi berpengaruh terhadap Efisiensi Inhibisi

Koefisien Determinasi

Model Summary^b				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.950 ^a	0.902	0.891	3.31286

a. Predictors: (Constant), Konsentrasi (mg/mL), Waktu Perendaman (Hari)

b. Dependent Variable: Efisiensi Inhibisi (%)

Berdasarkan table output SPSS “Model Summary” diatas, diketahui nilai koefisien determinasi atau R square adalah sebesar 0.902. nilai R square 0.902 ini berasal dari pengkuadratan nilai koefisien korelasi atau “R”, yaitu $0.950 \times 0.950 = 0.902$. Besarnya angka koefisien determinasi (R square) adalah 0.902 atau sama dengan 90.2%. Angka tersebut mengandung arti bahwa variable Waktu Perendaman (X1) dan Konsentrasi (X2) secara simultan (bersama-sama) berpengaruh terhadap variable Y sebesar 90.2 %.

Persamaan Regresi

Coefficients^a							
Model	Unstandardized Coefficients	Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics		
					B	Std. Error	Tolerance
1 (Constant)	29.21		13.36	0.00			
2 Waktu Perendaman (Hari)	-2.825	0.331	-8.527	0.00	1.000	1.000	
Konsentrasi (mg/mL)	9.591	1.048	9.155	0.00	1.000	1.000	

a. Dependent Variable: Efisiensi Inhibisi (%)

Dari tabel di atas didapat persamaan regresi linear berganda dari variabel Waktu Perendaman dan Konsentrasi terhadap Efisiensi Inhibisi yakni :

$$Y = B_1 \cdot X_1 + B_2 \cdot X_2 + C$$

$$\text{Efisiensi Inhibisi} = -2.825 \cdot \text{Waktu Perendaman} + 9.591 \cdot \text{Konsentrasi} + 29.212$$

$$Y = -2.825 X_1 + 9.591 X_2 + 29.212$$

Hal tersebut menunjukkan bahwa,

- Koefisien -2.825 untuk Waktu Perendaman (Hari) menunjukkan bahwa setiap kenaikan waktu sebesar satu satuan akan menurunkan Efisiensi Inhibisi sebesar 2.825 satuan (dengan asumsi konsentrasi tetap)
- Koefisien 9.591 untuk Konsentrasi menunjukkan bahwa setiap kenaikan konsentrasi sebesar satu satuan akan meningkatkan efisiensi inhibisi sebesar 9.591 satuan (dengan asumsi Waktu perendaman tetap)
- Konstanta 29.212 menunjukkan bahwa jika Waktu Perendaman dan Konsentrasi Kedua nya nol, efisiensi inhibisi diperkirakan akan berada pada level 29.212

3.7.2 Lampiran Analisis Regresi Linear Berganda dalam Media Air Laut

1. Uji Normalitas

Dasar Pengambilan Keputusan yakni :

- Jika nilai Signifikansi Sig. lebih besar dari > 0.05 , maka data penelitian berdistribusi normal
- Jika nilai Signifikansi Sig. lebih besar dari $< 0,05$, maka data penelitian tidak berdistribusi normal

Tabel. Output Uji Normalitas Menggunakan One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test		
		Unstandardized Residual
N		20
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	0.0000000
	Std. Deviation	2.71167829
Most Extreme Differences	Absolute	0.151
	Positive	0.151
	Negative	-0.094
Test Statistic		0.151
Asymp. Sig. (2-tailed)		.200 ^{c,d}

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

c. Lilliefors Significance Correction.

d. This is a lower bound of the true significance.

Berdasarkan table “One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test” diatas diketahui nilai Asymp Sig.(2-tailed) sebesar 0,200 lebih besar dari 0,05. Maka sesuai dasar pengambilan keputusan uji normalitas Kolmogorov-smirnov diatas, dapat disimpulkan bahwa data berdistribusi normal.

2. Uji Multikolinieritas

Uji multikolinieritas bertujuan untuk menguji apakah model regresi ditemukan adanya korelasi antar variabel bebas (independen). Untuk mendeteksi ada atau tidaknya multikolonieritas di dalam model regresi

Dasar Pengambilan Keputusan Uji Multikolinieritas

- ❖ Berdasarkan Nilai Tolerance
 - Jika nilai Tolerance lebih besar dari 0,10 maka artinya tidak terjadi multikolinieritas dalam model regresi
 - Jika nilai Tolerance lebih kecil dari 0,10 maka artinya terjadi multikolinieritas dalam model regresi
- ❖ Berdasarkan Nilai VIF (Variance Inflation Factor)
 - Jika nilai VIF < 10,00 maka artinya tidak terjadi multikolinieritas dalam model regresi
 - Jika nilai VIF > 10,00 maka artinya terjadi multikolinieritas dalam model regresi

Output dan Analisis SPSS Uji Multikolinieritas

Coefficients ^a							
Model	Unstandardized Coefficients	Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics		
					B	Error Std.	Beta
1 (Constant)	58.61	1.891	30.999	0.000			
2 Waktu Perendaman (Hari)	-	0.287	-0.832	-	0.000	1.000	1.000
Konsentrasi (mg/mL)	7.347	0.907	0.494	8.104	0.000	1.000	1.000

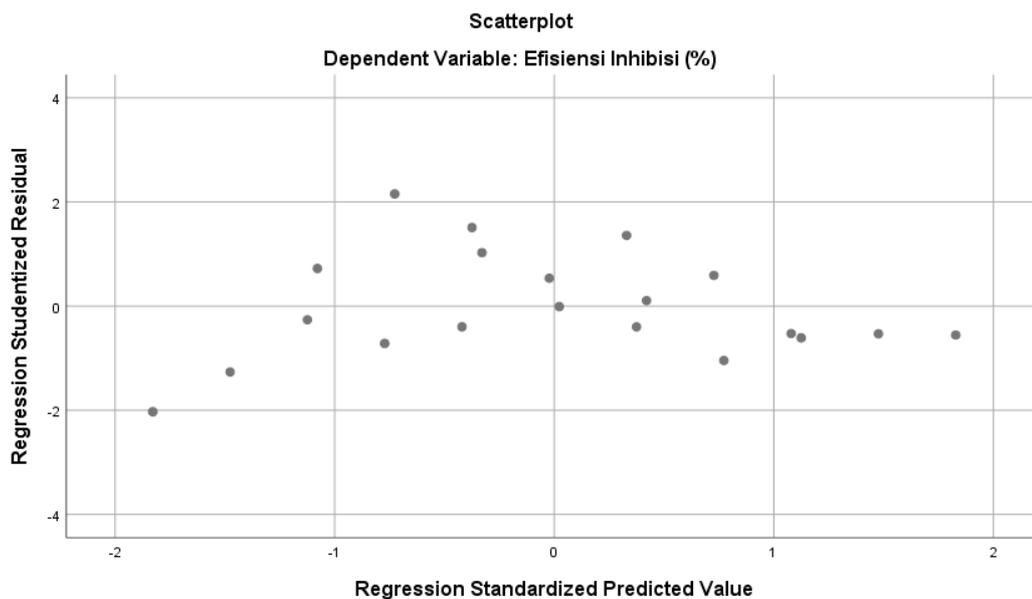
a. Dependent Variable: Efisiensi Inhibisi (%)

Berdasarkan table output “Coefficients” pada bagian Collinearity Statistics diketahui nilai *tolerance* untuk variable Waktu Perendaman (X1) sebesar 1.000, variable Konsentrasi (X2) Sebesar $1.000 > 0.10$, sementara nilai VIF Waktu Perendaman dan Konsentrasi masing-masing sebesar 1.000 dan $1.000 < 10.00$, Maka mengacu pada dasar pengambilan keputusan dalam uji multikolonieritas dapat disimpulkan bahwa tidak terjadi gejala multikolonieritas dalam model regresi.

3. Uji Heterokedastisitas

Uji heterokedastisitas digunakan untuk mengetahui ada atau tidaknya penyimpangan asumsi klasik heterokedastisitas yaitu adanya ketidaksamaan varian dari residual untuk semua pengamatan pada model regresi. Prasyarat yang harus terpenuhi dalam model regresi adalah tidak adanya gejala heteroskedastisitas. Ada beberapa metode pengujian yang bisa digunakan diantaranya yaitu dengan melihat scatterplot.

Jika dot menebar tidak teratur maka tidak terjadi heteroskedastisitas



Dot menebar tidak teratur maka tidak terjadi heteroskedastisitas

B. ANALISIS DATA

Hipotesis :

Ho : Tidak ada pengaruh Waktu Perendaman (X1) dan Konsentrasi (X2) terhadap Efisiensi Inhibisi (Y)

Ha : Ada pengaruh Waktu Perendaman (X1) dan Konsentrasi (X2) terhadap Efisiensi Inhibisi (Y)

Dasar Pengambilan Keputusan Uji Regresi Linear Berganda

- Jika nilai signifikansi Sig. lebih kecil dari $<$ probabilitas 0,05 mengandung arti bahwa ada pengaruh Waktu Perendaman (X1) dan Konsentrasi (X2) terhadap Efisiensi Inhibisi (Y)
- Jika nilai signifikansi Sig. lebih besar dari $>$ probabilitas 0,05 mengandung arti bahwa tidak ada pengaruh Waktu Perendaman (X1) dan Konsentrasi (X2) terhadap Efisiensi Inhibisi (Y)

1. UJI F

ANOVA ^a					
Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	2069.068	2	1034.534	125.882	.000 ^b
Residual	139.711	17	8.218		
Total	2208.779	19			

a. Dependent Variable: Efisiensi Inhibisi (%)

b. Predictors: (Constant), Konsentrasi (mg/mL), Waktu Perendaman (Hari)

Berdasarkan hasil output SPSS pada table “ANOVA” diketahui nilai Sig. adalah $0,000 < 0,05$ maka sesuai dengan dasar pengambilan keputusan uji F dapat disimpulkan terdapat pengaruh Waktu Perendaman (X1) dan Konsentrasi (X2) terhadap Efisiensi Inhibisi (Y)

2.UJI T

Coefficients ^a							
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		Sig.	Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta	t		Tolerance	VIF
1 (Constant)	58.612	1.891		30.999	0.000		
Waktu Perendaman (Hari)	-3.911	0.287	-0.832	-13.642	0.000	1.000	1.000
Konsentrasi (mg/mL)	7.347	0.907	0.494	8.104	0.000	1.000	1.000

a. Dependent Variable: Efisiensi Inhibisi (%)

Berdasarkan output diatas diketahui nilai signifikansi Sig. pada variable Waktu Perendaman sebesar $0.000 < 0.05$, variable Konsentrasi sebesar $0.000 < 0.05$ sehingga dapat disimpulkan bahwa Waktu Perendaman berpengaruh terhadap Efisiensi Inhibisi dan Konsentrasi berpengaruh terhadap Efisiensi Inhibisi

- Waktu Perendaman berpengaruh terhadap Efisiensi Inhibisi
- Konsentrasi berpengaruh terhadap Efisiensi Inhibisi
- Waktu Perendaman dan Konsentrasi berpengaruh terhadap Efisiensi Inhibisi

Koefisien Determinasi

Model Summary ^b				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.968 ^a	0.937	0.929	2.86675

a. Predictors: (Constant), Konsentrasi (mg/mL), Waktu Perendaman (Hari)

b. Dependent Variable: Efisiensi Inhibisi (%)

Berdasarkan table output SPSS “Model Summary” diatas, diketahui nilai koefisien determinasi atau R square adalah sebesar 0.937. nilai R square 0.937 ini berasal dari pengkuadratan nilai koefisien korelasi atau “R”, yaitu $0.968 \times 0.968 = 0.937$. Besarnya angka koefisien determinasi (R square) adalah 0.937 atau sama dengan 93.7%. Angka tersebut mengandung arti bahwa variable Waktu Perendaman (X1) dan Konsentrasi (X2) secara simultan (bersama-sama) berpengaruh terhadap variable Y sebesar 93.7 %.

Persamaan Regresi

Coefficients ^a								
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	58.612	1.891		30.999	0.000		
	Waktu Perendaman (Hari)	-3.911	0.287	-0.832	-13.642	0.000	1.000	1.000
	Konsentrasi (mg/mL)	7.347	0.907	0.494	8.104	0.000	1.000	1.000

a. Dependent Variable: Efisiensi Inhibisi (%)

Dari tabe diatas didapat persamaan regresi linear berganda dari variabel Waktu Perendaman dan Konsentrasi terhadap Efisiensi Inhibisi yakni :

$$Y = B1 \cdot X1 + B2 \cdot X2 + C$$

$$\text{Efisiensi Inhibisi} = - 3.911 \cdot \text{Waktu Perendaman} + 7.347 \cdot \text{Konsentrasi} + 58.612$$

$$Y = - 3.911 X1 + 7.347 X2 + 58.612$$

Hal tersebut menunjukkan bahwa,

- Koefisien - 3.911 untuk Waktu Perendaman (Hari) menunjukkan bahwa setiap kenaikan waktu sebesar satu satuan akan menurunkan Efisiensi Inhibisi sebesar 3.911 satuan (dengan asumsi konsentrasi tetap)
- Koefisien 7.347 untuk Konsentrasi menunjukkan bahwa setiap

kenaikan konsentrasi sebesar satu satuan akan meningkatkan efisiensi inhibisi sebesar 7.347 satuan (dengan asumsi Waktu perendaman tetap)

- Konstanta 58.612 menunjukkan bahwa jika Waktu Perendaman dan Konsentrasi Kedua nya nol, efisiensi inhibisi diperkirakan akan berada pada level 58.612

3.7.3 Lampiran Analisis Regresi Linear Berganda dalam Media Air Gambut

1. Uji Normalitas

Dasar Pengambilan Keputusan yakni :

- Jika nilai Signifikansi Sig. lebih besar dari > 0.05 , maka data penelitian berdistribusi normal
- Jika nilai Signifikansi Sig. lebih besar dari $< 0,05$, maka data penelitian tidak berdistribusi normal

Tabel. Output Uji Normalitas Menggunakan One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test		
		Unstandardized Residual
N		20
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	0.0000000
	Std. Deviation	4.91694323
Most Extreme Differences	Absolute	0.082
	Positive	0.082
	Negative	-0.074
Test Statistic		0.082
Asymp. Sig. (2-tailed)		.200 ^{c,d}

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

c. Lilliefors Significance Correction.

d. This is a lower bound of the true significance.

Berdasarkan table “One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test” diatas diketahui nilai Asymp Sig.(2-tailed) sebesar 0,200 lebih besar dari 0,05. Maka sesuai dasar pengambilan keputusan uji normalitas Kolmogorov-smirnov diatas, dapat disimpulkan bahwa data berdistribusi normal.

2. Uji Multikolinieritas

Uji multikolinieritas bertujuan untuk menguji apakah model regresi ditemukan adanya korelasi antar variabel bebas (independen). Untuk mendeteksi ada atau tidaknya multikolonieritas di dalam model regresi

Dasar Pengambilan Keputusan Uji Multikolinieritas

❖ Berdasarkan Nilai Tolerance

1. Jika nilai Tolerance lebih besar dari 0,10 maka artinya tidak terjadi multikolinieritas dalam model regresi
2. Jika nilai Tolerance lebih kecil dari 0,10 maka artinya terjadi multikolinieritas dalam model regresi

❖ Berdasarkan Nilai VIF (Variance Inflation Factor)

4. Jika nilai VIF < 10,00 maka artinya tidak terjadi multikolinieritas dalam model regresi
5. Jika nilai VIF > 10,00 maka artinya terjadi multikolinieritas dalam model regresi

Output dan Analisis SPSS Uji Multikolinieritas

Coefficients ^a								
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		Collinearity Statistics		
		B	Std. Error	Beta	t	Sig.	Tolerance	VIF
1	(Constant)	61.009	3.428		17.795	0.000		
	Waktu Perendaman (Hari)	-5.922	0.520	-0.796	-11.393	0.000	1.000	1.000
	Konsentrasi (mg/mL)	12.516	1.644	0.532	7.614	0.000	1.000	1.000

a. Dependent Variable: Efisiensi Inhibisi (%)

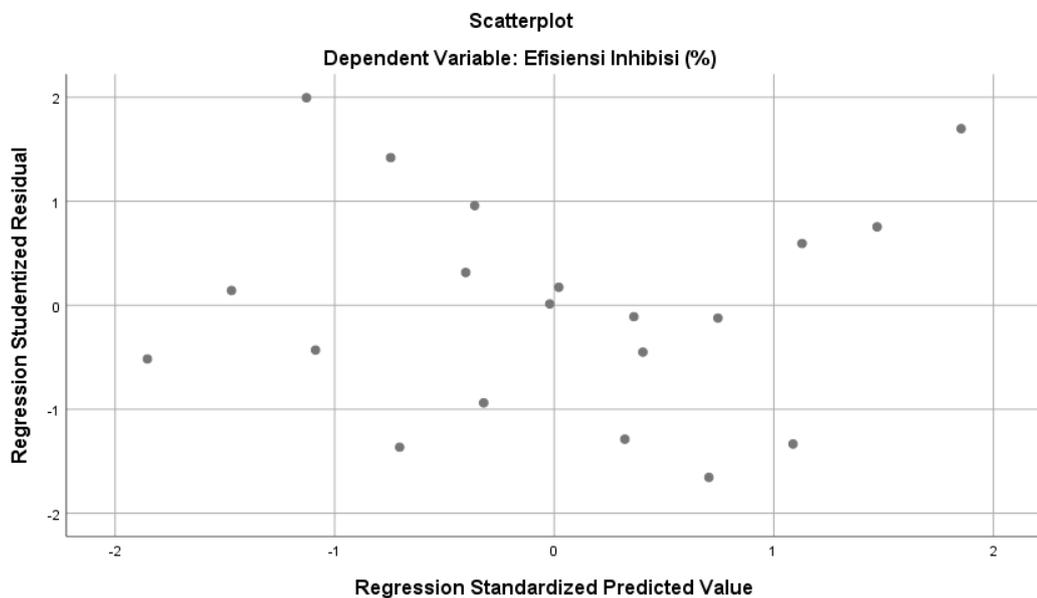
Berdasarkan table output “Coefficients” pada bagian Collinearity Statistics diketahui nilai *tolerance* untuk variable Waktu Perendaman (X1) sebesar 1.000, variable Konsentrasi (X2) Sebesar 1.000 > 0.10, sementara nilai VIF Waktu Perendaman dan Konsentrasi masing-masing sebesar 1.000 dan 1.000 < 10.00, Maka mengacu pada dasar pengambilan keputusan dalam uji multikolonieritas dapat disimpulkan bahwa tidak

terjadi gejala multikolonieritas dalam model regresi.

3. Uji Heterokedastisitas

Uji heterokedastisitas digunakan untuk mengetahui ada atau tidaknya penyimpangan asumsi klasik heterokedastisitas yaitu adanya ketidaksamaan varian dari residual untuk semua pengamatan pada model regresi. Prasyarat yang harus terpenuhi dalam model regresi adalah tidak adanya gejala heteroskedastisitas. Ada beberapa metode pengujian yang bisa digunakan diantaranya yaitu dengan melihat scatterplot.

Jika dot menebar tidak teratur maka tidak terjadi heteroskedastisitas



Dot menebar tidak teratur maka tidak terjadi heteroskedastisitas

B. ANALISIS DATA

Hipotesis :

Ho : Tidak ada pengaruh Waktu Perendaman (X1) dan Konsentrasi (X2) terhadap Efisiensi Inhibisi (Y)

Ha : Ada pengaruh Waktu Perendaman (X1) dan Konsentrasi (X2) terhadap Efisiensi Inhibisi (Y)

Dasar Pengambilan Keputusan Uji Regresi Linear Berganda

- Jika nilai signifikansi Sig. lebih kecil dari $<$ probabilitas 0,05 mengandung arti bahwa ada pengaruh Waktu Perendaman (X1) dan Konsentrasi (X2) terhadap Efisiensi Inhibisi (Y)
- Jika nilai signifikansi Sig. lebih besar dari $>$ probabilitas 0,05

mengandung arti bahwa tidak ada pengaruh Waktu Perendaman (X1) dan Konsentrasi (X2) terhadap Efisiensi Inhibisi (Y)

1. UJI F

ANOVA ^a					
Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	5073.985	2	2536.992	93.891	.000 ^b
Residual	459.350	17	27.021		
Total	5533.335	19			

a. Dependent Variable: Efisiensi Inhibisi (%)

b. Predictors: (Constant), Konsentrasi (mg/mL), Waktu Perendaman (Hari)

Berdasarkan hasil output SPSS pada table “ANOVA” diketahui nilai Sig. adalah $0,000 < 0,05$ maka sesuai dengan dasar pengambilan keputusan uji F dapat disimpulkan terdapat pengaruh Waktu Perendaman (X1) dan Konsentrasi (X2) terhadap Efisiensi Inhibisi (Y)

2. UJI T

Coefficients ^a								
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	61.009	3.428		17.795	0.000		
	Waktu Perendaman (Hari)	-5.922	0.520	-0.796	-11.393	0.000	1.000	1.000
	Konsentrasi (mg/mL)	12.516	1.644	0.532	7.614	0.000	1.000	1.000

a. Dependent Variable: Efisiensi Inhibisi (%)

Berdasarkan output diatas diketahui nilai signifikansi Sig. pada variable Waktu Perendaman sebesar $0.000 < 0.05$, variable Konsentrasi sebesar $0.000 < 0.05$ sehingga dapat disimpulkan bahwa Waktu Perendaman berpengaruh terhadap Efisiensi Inhibisi dan Konsentrasi berpengaruh terhadap Efisiensi Inhibisi

1. Waktu Perendaman berpengaruh terhadap Efisiensi Inhibisi
2. Konsentrasi berpengaruh terhadap Efisiensi Inhibisi
3. Waktu Perendaman dan Konsentrasi berpengaruh terhadap Efisiensi Inhibisi

Koefisien Determinasi

Model Summary ^b				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.958 ^a	0.917	0.907	5.19813

a. Predictors: (Constant), Konsentrasi (mg/mL), Waktu Perendaman (Hari)

b. Dependent Variable: Efisiensi Inhibisi (%)

Berdasarkan table output SPSS “Model Summary” diatas, diketahui nilai koefisien determinasi atau R square adalah sebesar 0.917. nilai R square 0.917 ini berasal dari pengkuadratan nilai koefisien korelasi atau “R”, yaitu $0.958 \times 0.958 = 0.917$. Besarnya angka koefisien determinasi (R square) adalah 0.917 atau sama dengan 91.7%. Angka tersebut mengandung arti bahwa variable Waktu Perendaman (X1) dan Konsentrasi (X2) secara simultan (bersama-sama) berpengaruh terhadap variable Y sebesar 91.7 %.

Persamaan Regresi

Coefficients ^a								
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		Collinearity Statistics		
		B	Std. Error	Beta	t	Sig.	Tolerance	VIF
1	(Constant)	61.009	3.428		17.795	0.000		
	Waktu Perendaman (Hari)	-5.922	0.520	-0.796	-11.393	0.000	1.000	1.000
	Konsentrasi (mg/mL)	12.516	1.644	0.532	7.614	0.000	1.000	1.000

a. Dependent Variable: Efisiensi Inhibisi (%)

Dari tabel diatas didapat persamaan regresi linear berganda dari variabel Waktu Perendaman dan Konsentrasi terhadap Efisiensi Inhibisi yakni :

$$Y = B_1 \cdot X_1 + B_2 \cdot X_2 + C$$

$$\text{Efisiensi Inhibisi} = - 5.922 \cdot \text{Waktu Perendaman} + 12.516 \cdot \text{Konsentrasi} + 61.009$$

$$Y = - 5.922 X_1 + 12.516 X_2 + 61.009$$

Hal tersebut menunjukkan bahwa,

- Koefisien -5.922 untuk Waktu Perendaman (Hari) menunjukkan bahwa setiap kenaikan waktu sebesar satu satuan akan menurunkan

Efisiensi Inhibisi sebesar 5.922 satuan (dengan asumsi konsentrasi tetap)

- Koefisien 12.516 untuk Konsentrasi menunjukkan bahwa setiap kenaikan konsentrasi sebesar satu satuan akan meningkatkan efisiensi inhibisi sebesar 12.516 satuan (dengan asumsi Waktu perendaman tetap)
- Konstanta 61.009 menunjukkan bahwa jika Waktu Perendaman dan Konsentrasi Kedua nya nol, efisiensi inhibisi diperkirakan akan berada pada level 61.009

Lampiran 4. Dokumentasi



Pengumpulan Kulit Kakao yang sudah dibersihkan



Kulit Kakao diiris kecil-kecil



Proses penjemuran kulit kakao yang sudah diiris



Kulit Kakao yang sudah kering



Proses penghalusan dan pengayakan kulit kakao



Serbuk Kulit Kakao



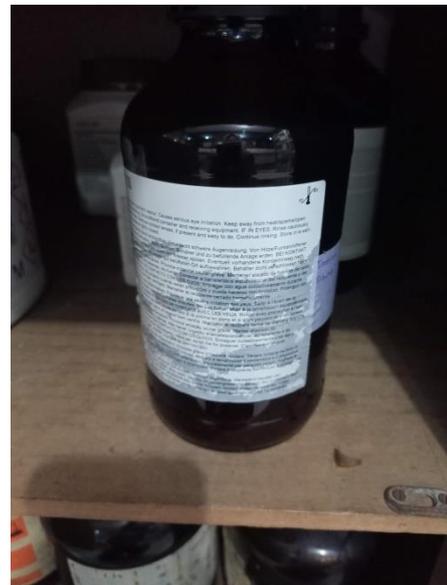
Proses Penimbangan Serbuk Kulit Kakao



Pencampuran Serbuk Kulit Kakao + Etanol 96 %



Serbuk Kulit Kakao + Etanol 96 % di sonifikasi



Pendiaman Larutan Kulit Kakao dalam Etanol 96%



Penyaringan Ekstrak Kulit Kakao



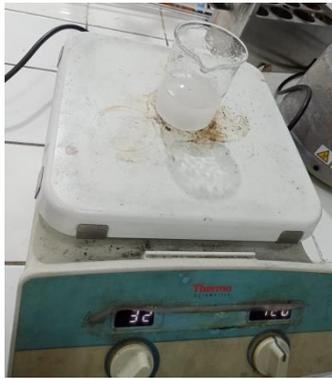
Destilasi Ekstrak Kulit Kakao (memisahkan dengan pelarut) untuk mendapat ekstrak kulit kakao pekat



Ekstrak Pekat Kulit Kakao yang didapat



Penimbangan Maltodekstrin, Kitosan dan Ekstrak Kulit Kakao



Pencampuran larutan enkapsul maltodekstrin dan kitosan dengan berbagai perbandingan



Homogenisasi larutan enkapsul maltodekstrin dan kitosan setelah ditambah ekstrak kulit kakao



Larutan enkapsul maltodekstrin-kitosan ekstrak kulit kakao dikeringkan



Enkapsul maltodekstrin-kitosan pada ekstrak kulit kakao yang telah kering



Proses penghalusan dan pengayakan Enkapsul maltodekstrin-kitosan pada ekstrak kulit kakao



Hasil Uji Skinning Fitokimia pada ekstrak kulit kakao