

TUGAS AKHIR

PENGARUH PARAMETER CUACA LOKAL TERHADAP LAJU KOROSI ATMOSFERIK DI LINGKUNGAN KOTA MEDAN DENGAN PENDEKATAN MACHINE LEARNING

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

Disusun Oleh:

RAIHAN SYAHPUTRA NASUTION

2107230122



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

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

HALAMAN PENGESAHAN

Laporan penelitian Tugas Akhir ini diajukan oleh:

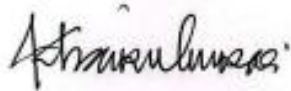
Nama : Raihan Syahputra Nasution
NPM : 2107230122
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Parameter Cuaca Lokal Terhadap Laju Korosi
Atmosferik Di Lingkungan Kota Medan Dengan
Pendekatan Machine Learning
Bidang Ilmu : Konstruksi Manufaktur

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 10 September 2025

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



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

Dosen Penguji II



Afandi, S.T., M.T.

Dosen Penguji III



Iqbal Tanjung, S.T., M.T

Program Studi Teknik Mesin

Ketua



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

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertandatangan di bawah ini :

Nama Lengkap	: Raihan Syahputra Nasution
NPM	: 2107230122
Tempat / Tanggal Lahir	: Medan, 25 Juni 2003
Fakultas	: Teknik
Program Studi	: Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan tugas akhir saya yang berjudul :

“PENGARUH PARAMETER CUACA LOKAL TERHADAP LAJU KOROSI ATMOSFERIK DI LINGKUNGAN KOTA MEDAN DENGAN PENDEKATAN MACHINE LEARNING”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karna hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain yang pada hakikatnya bukan merupakan karya tulis tugas akhir secara orisinal dan otentik.

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

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

Medan, 10 September 2025



Raihan Syahputra Nasution

ABSTRAK

Korosi atmosferik merupakan salah satu permasalahan utama yang mempengaruhi umur pakai material logam, khususnya di wilayah perkotaan dengan kondisi cuaca yang bervariasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh parameter cuaca lokal terhadap laju korosi atmosferik di lingkungan Kota Medan serta mengembangkan model prediksi laju korosi menggunakan pendekatan *machine learning*. Parameter cuaca yang dianalisis meliputi suhu udara, kelembapan relatif, curah hujan, kecepatan angin, dan intensitas sinar matahari. Data laju korosi diperoleh melalui pengujian spesimen logam secara langsung di lapangan dengan metode kehilangan massa (*weight loss method*) selama periode 12 bulan. Model prediksi dibangun menggunakan algoritma *Random Forest* dan *Support Vector Regression (SVR)*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa parameter kelembapan relatif dan curah hujan memiliki pengaruh paling signifikan terhadap peningkatan laju korosi. Model *Random Forest* menunjukkan performa terbaik dengan nilai R^2 sebesar 0,93 dan *RMSE* yang relatif rendah dibandingkan model lainnya. Evaluasi model menunjukkan bahwa pendekatan *machine learning* mampu memberikan prediksi yang akurat dan dapat digunakan sebagai alat bantu dalam pengendalian korosi di wilayah urban seperti Kota Medan. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam perencanaan strategi mitigasi korosi berbasis data cuaca lokal serta pengembangan sistem monitoring berbasis kecerdasan buatan untuk pemeliharaan infrastruktur logam di wilayah tropis.

Kata kunci: korosi atmosferik, cuaca lokal, *machine learning*.

ABSTRACT

Atmospheric corrosion is a degradation process of metallic materials influenced by environmental factors, particularly weather parameters. In urban areas such as Medan City, variations in local weather conditions significantly affect the corrosion rate. This study aims to analyze the influence of local weather parameters on the atmospheric corrosion rate and to develop a predictive corrosion model using a machine learning approach. The weather parameters analyzed include air temperature, relative humidity, rainfall, wind speed, and solar radiation. Corrosion rate data were obtained through weight loss measurements of metal specimens exposed to the open environment over a 12-month period. Predictive models were developed using two approaches: Linear Regression and Random Forest. The results indicate that relative humidity and rainfall are the most influential factors affecting the corrosion rate. The Random Forest model outperformed the Linear Regression model, achieving a higher coefficient of determination (R^2) of 0.93 and a lower Root Mean Squared Error (RMSE). These findings demonstrate that Random Forest is more capable of capturing complex nonlinear relationships between weather variables and corrosion rates compared to conventional linear methods. This study contributes to the application of machine learning techniques for more accurate prediction of atmospheric corrosion rates and provides a foundation for decision-making in corrosion mitigation strategies in tropical urban environments such as Medan City.

Keywords: *atmospheric corrosion, local weather, machine learning.*

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Morfologi Bentuk Korosi Atmosferik Baja Struktural di Kawasan Kota Medan” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terima kasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Iqbal Tanjung S.T., M.T, selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
2. Bapak Dr. Munawar Alfansury Siregar S.T., M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Chandra A Siregar S.T., M.T, selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin dan Bapak Ahmad Marabdi. S.T., M.T, selaku Sekretaris Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknikmesinan kepada penulis.
5. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Orang tua penulis: Ayah (Darwis Nasution) dan Ibu (Elvinasari Siregar), terima kasih yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai Studi penulis.
7. Nazwa putri lumongga Nasution sebagai adik penulis yang berperan sebagai penyemangat penulis.
8. Dwiki Chandra, S.T , Risto Ramadhan saragih, Muhammad Aulia, dan

rekan rekan seperjuangan sebagai grup riset yang membantu penulis dalam melakukan riset.

9. Zuli Agustina Gultom sebagai kakanda yang mendukung penulis setiap hari
10. Atif Juantoro, Rehan surenra,Reihan Ramadhan selaku grup mesin yang memberi semangat kepada penulis.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis dimasa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi Manufaktur Teknik Mesin.

Medan, 8 September 2025

Raihan Syahputra Nasution

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR NOTASI	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Pengaruh Parameter Cuaca Terhadap Laju Korosi Atmosferik	4
2.1.1 Kelembapan Udara	4
2.1.2 Suhu	5
2.1.3 Kecepatan Angin	5
2.1.4 Lama Pemaparan Matahari	6
2.1.5 Curah Hujan	7
2.2 Korosi Atmosferik	8
2.2.1 Korosi Galvanik	9
2.2.2 Korosi Lubang (<i>Pitting</i>)	10
2.2.3 Korosi Serangan Selektif	11
2.2.4 Korosi Batas Butir (<i>Intergranular</i>)	11
2.2.5 Korosi Celah	12
2.2.6 Korosi Erosi	13
2.2.7 Stress Corrosion Cracking (SCC)	13
2.3 Waktu Basah	15
2.4 <i>Machine Learning</i>	15
2.4.1 <i>Regresi Linear</i>	16
2.4.2 <i>Random Forest</i>	16
2.4.3 <i>Leave-One-Out Cross-Validation</i> (LOOCV)	17
2.4.4 Hasil Evaluasi Model	18
BAB 3 METODE PENELITIAN	21
3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian	21
3.1.1 Tempat Penelitian	21
3.1.2 Waktu Penelitian	21
3.2 Alat Dan Bahan	22
3.2.1 Alat Yang Digunakan	22

3.2.2	Bahan	25
3.3	Diagram Alir	26
3.4	Rancangan Penelitian	26
3.5	Prosedur Penelitian	27
3.5.1	Persiapan Material Uji	27
3.5.2	Pemaparan Material Uji	27
3.5.3	Pengambilan data	28
3.5.4	Pengolahan Data <i>Machine Learning</i>	28
3.6	Variable Penelitian	28
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1	Menghitung Laju Korosi Atmosferik Kota Medan	29
4.2	Pengolahan data <i>machine learning</i>	29
4.2.1	Pada Baja Siku	30
4.2.2	Pada Baja Tulangan	34
4.2.3	Pada Baja Plat	39
4.2.4	Pada Baja Segi Empat	43
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	48
5.1	Kesimpulan	48
5.2	Saran	48
	DAFTAR PUSTAKA	50
	Lampiran 1. Sk Pembimbing	
	Lampiran 2. Lembar Asistensi	
	Lampiran 3. Berita Acara Seminar Hasil Penelitian	
	Lampiran 4. Daftar Riwayat Hidup	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai Konstanta konversi laju korosi	8
Tabel 2.2 Kriteria Tahanan Laju Korosi	14
Tabel 2.3 Formula evaluation Matrix	20
Tabel 2.4 Interpretasi Kualitas Model	21
Tabel 3.1 Jadwal Penelitian	22
Tabel 4.1 Perbandingan Evaluasi Model Pada Baja Siku	31
Tabel 4.2 Perbandingan Evaluasi Model Pada Baja Tulangan	35
Tabel 4.3 Perbandingan Perbandingan Evaluasi Model Pada Baja Plat	40
Tabel 4.4 Perbandingan Evaluasi Model Pada Baja Segi Empat	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 korosi	8
Gambar 2.2 Korosi Galvanik	9
Gambar 2.3 Korosi Lubang (<i>Pitting</i>)	10
Gambar 2.4 Korosi Serangan Selektif	10
Gambar 2.5 Korosi Batas Butir (<i>Intergranular</i>)	11
Gambar 2.6 Korosi Celah	12
Gambar 2.7 Korosi Erosi	12
Gambar 2.8 <i>Stress Corrosion Cracking</i> (SCC)	13
Gambar 3.1 Rak Pengujian	22
Gambar 3.2 Kertas Pasir	23
Gambar 3.3 Sikat Baja	23
Gambar 3.4 Alkohol	24
Gambar 3.5 Timbangan Digital	24
Gambar 3.6 Material Uji	25
Gambar 3.7 Diagram Alir	26
Gambar 3.8 Gambar design rak pengujian (a) pandangan samping (b) pandangan depan (c) pandangan atas	27
Gambar 4.1 Data Laju Korosi Atmosferik Kota Medan	30
Gambar 4.2 Perbandingan Evaluasi Random Forest Pada Baja Siku	31
Gambar 4.3 Scatter Plot Prediksi Vs Aktual (Gabungan) Pada Baja Siku	32
Gambar 4.4 Perbandingan Data Aktual Dengan RF Murni Dan RF LOOCV Baja Siku	33
Gambar 4.5 Heatmap Korelasi Fitur Baja Siku	33
Gambar 4.6 Grafik Feature Importance (Random Forest) Pada Baja Siku	34
Gambar 4.7 Perbandingan Evaluasi Random Forest Pada Baja Tulangan	35
Gambar 4.8 Scatter Plot Prediksi Vs Aktual (Gabungan) Pada Baja Tulangan	36
Gambar 4.9 Perbandingan data aktual dengan RF murni dan RF LOOCV baja Tulangan	36
Gambar 4.10 Heatmap Korelasi Fitur Baja Tulangan	37
Gambar 4.11 Grafik Feature Importance (Random Forest) Pada Baja Tulangan	38
Gambar 4.12 Perbandingan Evaluasi Random Forest Pada Baja Plat	39
Gambar 4.13 Scatter Plot Prediksi Vs Aktual (Gabungan) Pada Baja Plat	39
Gambar 4.14 Perbandingan data aktual dengan RF murni dan RF LOOCV baja Plat	40
Gambar 4.15 Heatmap Korelasi Fitur Baja Plat	40
Gambar 4.16 Grafik Feature Importance (Random Forest) Pada Baja Plat	41
Gambar 4.17 Perbandingan Evaluasi Random Forest Pada Baja Segi Empat	42
Gambar 4.18 Scatter Plot Prediksi Vs Aktual (Gabungan) Pada Baja Segi Empat	43
Gambar 4.19 Perbandingan data aktual dengan RF murni dan RF LOOCV baja Segi Empat	43
Gambar 4.20 Heatmap Korelasi Fitur Segi Empat	44
Gambar 4.21 Grafik Feature Importance (Random Forest) Pada Baja Segi Empat	45

DAFTAR NOTASI

K	=konstanta konversi satuan laju korosi
W	=kehilangan massa dalam gram,
A	=luas permukaan specimen uji dalam cm^2 ,
T	=waktu eksposur dalam jam dan
D	=massa jenis material dalam g/cm^3
B	=jumlah pohon dalam hutan (forest)
Tb(x)	=hasil prediksi dari pohon ke-b untuk input x
Y	=variabel terikat (dependent variable)
X	=variabel bebas (independent variable)
β_0	=intercept (konstanta)
β_1	=koefisien regresi (slope)
ε	=error (residual)
n	=Jumlah total data (observasi)
I	=Indeks observasi ke-i, $i = 1, 2, \dots, n$
x_i	=Variabel bebas (independent variable) untuk observasi ke-i
y_i	=Variabel terikat (dependent variable) untuk observasi ke-i
ε_i	=Error (residual) pada observasi ke-i, $y_i - \hat{y}_i$
$\hat{y}_i$	=Nilai prediksi model untuk data ke-i tanpa menggunakan data ke-i (LOOCV)
e_i	=Residual standar (error) pada data ke-i, $e_i = y_i - \hat{y}_i$
H	=Hat matrix, $H = X(X^T X)^{-1} X^T$
h_{ii}	=Elemen diagonal ke-i dari hat matrix (leverage untuk data ke-i)
$CV_{(n)}$	=Nilai error LOOCV (Leave-One-Out Cross Validation Error)
n	=Jumlah total data (observasi)
i	=Indeks observasi ke-i, $i = 1, 2, \dots, n$
y_i	=Nilai aktual dari observasi ke-i
$\hat{y}_i$	=Nilai prediksi dari model untuk observasi ke-i
$\bar{y}$	=Rata-rata nilai aktual (mean dari y_i)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Korosi merupakan salah satu permasalahan besar dalam dunia teknik material dan konstruksi, karena dapat menurunkan kualitas serta umur pakai suatu komponen logam. Secara umum, korosi didefinisikan sebagai proses degradasi material, khususnya logam, akibat interaksi kimia maupun elektrokimia dengan lingkungannya (Azwar, 2011). Proses ini menyebabkan logam mengalami perubahan kimia sehingga kehilangan sifat aslinya, menjadi lebih rapuh, lemah, atau bahkan hancur. Dampak dari korosi tidak hanya mengurangi estetika, tetapi juga berpengaruh signifikan terhadap kekuatan mekanik dan keamanan struktur.

Dalam dunia industri maupun kehidupan sehari-hari, korosi menjadi masalah serius yang memicu kerugian ekonomi yang sangat besar. Penurunan kualitas logam akibat korosi mengakibatkan logam tidak dapat berfungsi sesuai peruntukannya. Apabila tidak dilakukan pengendalian sejak dini, dampak korosi dapat berakibat fatal, misalnya kebocoran pada pipa saluran minyak dan gas, keruntuhan bangunan, kegagalan jembatan, hingga kecelakaan kerja yang membahayakan keselamatan manusia (Sudarta, 2022). Biaya perbaikan dan penggantian material akibat korosi mencapai miliaran hingga triliunan rupiah setiap tahunnya di berbagai sektor industri, termasuk transportasi, perkapalan, konstruksi, dan manufaktur.

Secara prinsip, terjadinya korosi pada logam melibatkan pembentukan sel elektrokimia yang terdiri atas empat komponen utama, yaitu anoda, katoda, larutan elektrolit, serta jalur konduktor yang menghubungkan anoda dan katoda. Proses ini berlangsung ketika logam mengalami reaksi oksidasi pada daerah anoda dan reduksi pada daerah katoda, dengan bantuan media elektrolit yang memungkinkan perpindahan ion. Oleh karena itu, pengendalian korosi dapat dilakukan dengan cara mengganggu salah satu dari keempat unsur tersebut. Misalnya, dengan memutus jalur konduktor, mengurangi kelembapan (elektrolit), atau memberikan proteksi anodik maupun katodik (Azwar, 2011). Prinsip ini menjadi dasar dalam merancang metode pencegahan korosi yang efektif.

Permasalahan korosi semakin kompleks apabila terjadi di lingkungan dengan tingkat agresivitas tinggi, seperti daerah pesisir dan kawasan industri. Kota Medan, sebagai salah satu kota besar di Indonesia, memiliki karakteristik lingkungan yang mendukung percepatan korosi. Secara geografis, Medan beriklim tropis dengan suhu dan kelembapan yang relatif tinggi sepanjang tahun. Selain itu, salah satu kecamatannya, yaitu Medan Belawan, merupakan daerah pesisir yang berbatasan langsung dengan Selat Malaka. Kondisi ini menjadikan Medan Belawan sebagai wilayah dengan paparan garam laut yang tinggi, yang dapat mempercepat proses korosi pada logam. Garam yang terbawa angin laut mudah menempel pada permukaan logam dan membentuk lapisan elektrolit yang sangat agresif terhadap material logam.

Tidak hanya itu, Medan juga memiliki kawasan industri besar seperti Kawasan Industri Medan (KIM) yang menjadi pusat aktivitas manufaktur dan pengolahan. Aktivitas industri ini berpotensi menghasilkan polutan udara seperti gas sulfur dioksida (SO_2) dan nitrogen oksida (NO_x), yang apabila bereaksi dengan kelembapan dapat membentuk hujan asam. Keberadaan hujan asam di wilayah dengan tingkat kelembapan tinggi akan semakin mempercepat laju korosi pada peralatan, infrastruktur, dan konstruksi logam di kawasan tersebut (Gunungwingko, 2019). Oleh karena itu, Kota Medan dapat dikategorikan sebagai salah satu daerah dengan tingkat korosivitas tinggi di Indonesia.

Dengan latar belakang tersebut, penelitian tentang pengaruh faktor lingkungan terhadap laju korosi di Kota Medan, khususnya di kawasan pesisir dan industri, menjadi hal yang penting. Informasi ini sangat dibutuhkan untuk merancang strategi mitigasi korosi yang efektif, sehingga dapat meminimalkan kerugian ekonomi dan meningkatkan keselamatan struktur.

1.2 Rumusan Masalah

Pada penelitian sebelum nya investigasi korosi atmosferik pada baja karbon rendah di kawasan Industri Medan dengan hasil pengukuran pada Kawasan Industri Medan dengan nilai rata-rata laju korosi 0,153 mpy. Sedangkan hasil analisa korosi atmosferik pada baja karbon rendah di Kecamatan Medan Belawan yang telah

dilakukan, bahwa hasil pengukuran korosivitas atmosferik untuk tiga lokasi laju korosi rata-rata 0,573 mpy(Affandi et al., 2020)

Oleh karna itu diperlukan nya pengembangan yang dapat di gunakan sebagai pencegahan korosi atmosferik di lingkungan kota medan. Berdasarkan latar belakang ini maka penulis ingin melakukan riset “pengaruh parameter cuaca lokal terhadap laju korosi atmosferik di lingkungan Kota Medan dengan pendekatan *machine learning*.

1.3 Ruang Lingkup

Ruang lingkup pada penelitian ini hanya menginvestigasi laju korosi atmosferik selama 12 bulan pada Kecamatan Medan Timur dengan material baja karbon rendah dengan jenis baja plat, baja beton, baja segi empat dan baja siku. Adapun parameter cuaca yang di peroleh hanya: kelembapan udara, curah hujan, lama pamaran matahari, kecepatan angin, dan suhu udara.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah

1. Untuk menghitung laju korossi atmosferik di lingkungan kota medan
2. Untuk menganalisa pengaruh parameter cuaca terhadap laju korosi di lingkungan kota medan
3. Untuk mengevaluasi model machine learning pada data laju korosi atmosferik terhadap parameter cuaca

1.5 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah

1. Tersedianya data data laju korossi atmosferik di lingkungan kota medan
2. Tersedianya analisa pengaruh parameter cuaca terhadap laju korosi di lingkungan kota medan
3. Tersedianya hasil evaluasai model machine learning pada data laju korosi atmosferik terhadap parameter cuaca

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengaruh Parameter Cuaca Terhadap Laju Korosi Atmosferik

Pengaruh parameter cuaca lokal seperti kelembapan udara, suhu, kecepatan angin, lama pemaparan matahari, dan curah hujan terhadap laju korosi sangat signifikan. Hal ini disebabkan oleh peran cuaca dalam memengaruhi kondisi fisik dan kimia di sekitar material yang terpapar. Misalnya, kelembapan udara yang tinggi dapat meningkatkan pembentukan lapisan elektrolit pada permukaan logam, sehingga mempercepat reaksi korosi. Suhu yang tinggi umumnya mempercepat laju reaksi kimia, termasuk reaksi oksidasi pada logam. Kecepatan angin dapat memengaruhi laju pengeringan permukaan, sehingga mempengaruhi durasi kelembapan yang menempel. Lama pemaparan sinar matahari dapat mengurangi kelembapan, tetapi juga dapat meningkatkan suhu, yang mempercepat korosi. Sementara itu, curah hujan berperan besar dalam menyediakan air sebagai media elektrolit, yang memicu terbentuknya sel korosi. Kombinasi faktor-faktor ini membuat pengaruh parameter cuaca terhadap laju korosi bersifat kompleks dan saling terkait. (Kusuma & Pranowo, 2024)

2.1.1 Kelembapan Udara

Kelembapan udara merupakan salah satu parameter lingkungan yang paling berpengaruh terhadap laju korosi atmosferik pada material logam. Kelembapan mengacu pada jumlah uap air yang terdapat di atmosfer, yang biasanya diukur dalam bentuk kelembapan relatif (%RH). Semakin tinggi kelembapan udara, semakin besar peluang terjadinya kondensasi pada permukaan logam. Kondensasi ini membentuk lapisan elektrolit tipis yang memungkinkan terjadinya reaksi elektrokimia antara logam, oksigen, dan air. (Utomo, 2012)

Pada kelembapan yang melebihi kritikal humidity (sekitar 60%–70% RH), lapisan elektrolit terbentuk secara permanen di permukaan logam, sehingga mempercepat korosi. Fenomena ini terjadi karena air berfungsi sebagai medium konduktif yang mempermudah migrasi ion-ion yang terlibat dalam reaksi oksidasi-reduksi. Pada logam seperti besi dan baja, proses ini menghasilkan produk korosi

berupa karat ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) yang terbentuk dari oksidasi besi oleh oksigen terlarut dalam air. (Utomo, 2012)

Lingkungan dengan kelembapan tinggi, seperti daerah tropis, sangat kondusif terhadap proses korosi karena ketersediaan air yang melimpah untuk mendukung reaksi elektrokimia. Selain itu, kelembapan tinggi juga memperburuk pengaruh polutan udara seperti sulfur dioksida (SO_2), nitrogen oksida (NO_x), dan klorida. Gas-gas ini dapat bereaksi dengan air pada permukaan logam dan membentuk asam (misalnya asam sulfat dan asam nitrat), yang meningkatkan keasaman lapisan elektrolit dan mempercepat laju korosi. Kondisi ini sering menjadi penyebab utama terjadinya korosi atmosferik di kota-kota industri atau daerah pesisir. Menurut standar ISO 9223, kelembapan relatif di atas 80% yang disertai dengan adanya polutan akan menempatkan lingkungan pada kategori korosivitas yang tinggi (kategori C4–C5). Dengan demikian, kontrol kelembapan dan polusi menjadi aspek penting dalam upaya pencegahan korosi pada material logam. (Utomo, 2012)

2.1.2 Suhu

Peningkatan suhu berperan signifikan dalam mempercepat reaksi kimia, termasuk proses korosi. Pada suhu yang lebih tinggi, energi kinetik molekul meningkat, sehingga mempercepat laju oksidasi logam. Hal ini menjadikan material logam lebih rentan terhadap korosi. Secara umum, lingkungan dengan suhu tinggi, seperti daerah tropis, cenderung menunjukkan tingkat korosi yang lebih cepat dibandingkan dengan daerah bersuhu rendah. Selain itu, suhu tinggi juga dapat menyebabkan penguapan kelembaban permukaan lebih cepat. Namun, apabila kelembaban udara tetap tinggi, korosi tetap berlangsung dengan intensitas tinggi meskipun suhu meningkat. Interaksi antara suhu dan kelembaban ini sangat penting dalam menentukan tingkat agresivitas lingkungan terhadap material logam. (Nova & Misbah, 2012)

2.1.3 Kecepatan Angin

Angin berperan dalam dua arah terhadap korosi. Di satu sisi, angin mempercepat penguapan kelembaban di permukaan logam, sehingga mengurangi

waktu kontak antara logam dan air. Hal ini cenderung memperlambat proses korosi. Namun, angin juga dapat membawa partikel polutan seperti sulfur dioksida (SO_2) atau butiran garam laut di daerah pesisir. Kontaminan ini dapat menempel pada permukaan logam dan membentuk larutan elektrolit yang agresif ketika bercampur dengan kelembaban, sehingga justru mempercepat korosi. Dengan demikian, pengaruh angin terhadap korosi bergantung pada kondisi lingkungannya—apakah angin bersifat bersih atau sarat dengan polutan dan garam.(Setyahandana & Christianto, 2017)

2.1.4 Lama Pemaparan Matahari

Pemaparan langsung terhadap sinar matahari merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi laju korosi atmosferik pada material logam, khususnya baja. Sinar matahari dapat meningkatkan suhu permukaan material secara signifikan. Ketika suhu permukaan logam meningkat, laju reaksi elektrokimia yang menjadi dasar terjadinya korosi juga meningkat. Hal ini sesuai dengan prinsip kinetika reaksi, di mana peningkatan suhu mempercepat laju reaksi kimia. (Budiyo, 2010)

Selain itu, kenaikan suhu akibat radiasi matahari dapat mengurangi kadar kelembaban relatif di permukaan dalam waktu singkat, tetapi secara bersamaan dapat menyebabkan penguapan air yang menempel pada logam menjadi siklus basah-kering (*wet-dry cycle*). Siklus ini merupakan salah satu kondisi yang sangat mempercepat korosi karena memicu pembentukan elektrolit dalam bentuk lapisan tipis air garam atau polutan pada permukaan logam. Lapisan ini bertindak sebagai medium konduktif yang memfasilitasi terjadinya sel galvanik antara area anoda dan katoda. (Budiyo, 2010)

Di daerah yang terpapar sinar matahari secara terus-menerus, suhu logam dapat meningkat hingga $10\text{--}20^\circ\text{C}$ di atas suhu udara sekitarnya. Peningkatan suhu ini menyebabkan ionisasi lebih cepat pada larutan elektrolit yang terbentuk di permukaan, sehingga mempercepat proses oksidasi pada anoda. Apabila kondisi ini disertai dengan kelembaban udara yang tinggi, risiko korosi semakin besar karena lapisan elektrolit bertahan lebih lama di permukaan logam. Menurut penelitian oleh ISO 9223 (2012) dan studi terbaru dalam *corrosion science*, paparan sinar matahari

yang dikombinasikan dengan kelembaban tinggi akan meningkatkan kecepatan korosi hingga 1,5–2 kali lipat dibandingkan area yang teduh. (Budiyono, 2010)

Selain mempengaruhi laju korosi secara langsung, paparan radiasi matahari juga dapat menyebabkan perbedaan suhu antara bagian logam yang terkena sinar dan yang terlindung, menciptakan gradien suhu. Gradien ini dapat memicu terjadinya korosi celah (*crevice corrosion*) dan tegangan termal yang memperburuk proses degradasi material. Dengan demikian, paparan sinar matahari bukan hanya sekadar faktor lingkungan, tetapi menjadi pemicu utama dalam mempercepat proses korosi atmosferik, khususnya di wilayah tropis seperti Kota Medan yang memiliki intensitas sinar matahari tinggi hampir sepanjang tahun. (Budiyono, 2010)

2.1.5 Curah Hujan

Curah hujan merupakan salah satu parameter cuaca yang sangat berpengaruh terhadap laju korosi atmosferik. Air hujan yang turun ke permukaan logam dapat bertindak sebagai elektrolit, mempercepat terjadinya reaksi elektrokimia antara oksigen, air, dan logam. Secara umum, curah hujan yang tinggi meningkatkan tingkat kelembapan permukaan logam dan memperpanjang waktu basah (*time of wetness/TOW*), yaitu periode di mana permukaan logam tetap berada dalam kondisi basah dan memungkinkan terjadinya reaksi korosi. (Alghifari et al., 2021)

Di sisi lain, intensitas dan frekuensi curah hujan juga berperan dalam menentukan tingkat korosi. Hujan yang sering turun tetapi ringan cenderung menjaga permukaan logam tetap lembab dalam waktu lama tanpa membersihkan polutan yang menempel. Sebaliknya, hujan deras dapat memberikan efek ganda: di satu sisi, meningkatkan kelembapan dan menambah elektrolit, tetapi di sisi lain dapat membantu melarutkan dan menghilangkan sebagian polutan korosif dari permukaan logam. Namun, dalam jangka panjang, hujan deras tetap meningkatkan *time of wetness*, sehingga efek pembersihan tersebut tidak sepenuhnya mengurangi risiko korosi. (Alghifari et al., 2021)

Secara keseluruhan, curah hujan yang tinggi, khususnya jika mengandung polutan atau garam, akan meningkatkan laju korosi atmosferik secara signifikan. Kombinasi antara air sebagai medium elektrolit, polutan asam yang menurunkan

pH, dan ion klorida yang bersifat agresif menjadikan hujan salah satu faktor paling kritis dalam mekanisme korosi atmosferik. Oleh karena itu, pengendalian faktor lingkungan, pemilihan material yang tahan terhadap korosi, dan penerapan pelapisan pelindung menjadi langkah penting untuk meminimalisasi kerusakan akibat korosi di daerah dengan curah hujan tinggi.(Alghifari et al., 2021)

2.2 Korosi Atmosferik

Korosi atmosferik adalah proses alami yang merujuk pada kerusakan atau degradasi material, terutama logam, akibat reaksi kimia dengan lingkungan sekitar. Secara umum, korosi terjadi ketika logam berinteraksi dengan air, udara, atau bahan kimia lain di sekitarnya, yang menyebabkan pembentukan oksida, karbida, atau senyawa lainnya yang mengurangi integritas material tersebut. Korosi yang paling umum terjadi pada besi atau baja, yang dikenal dengan istilah karat.(Zulfri et al., 2020)(Susanto et al., 2020)



Gambar 2.1 korosi (Syahril, 2006)

Untuk menghitung laju korosi dapat menggunakan persamaan 2.1

$$\text{Laju Korosi} = \frac{KW}{D.A.T} \quad (2.1)$$

Table 2.1 Nilai Konstanta konversi laju korosi (Fontana, 1986)

Satuan laju korosi yang diinginkan	Nilai K
Mils per tahun (mpy)	3.45×10^{-6}
Milimeter per tahun (mm/y)	8.76×10^{-4}
Gram per meter kuadrat per jam ($\text{g/m}^2 \cdot \text{h}$)	$100 \times 10^{-4} \times D$

Standar Internasional dan Kategori Korosivitas Lingkungan standar ISO 9223 dan ISO 9226 mengklasifikasikan tingkat korosivitas atmosferik ke dalam lima kategori: C1 (sangat rendah) hingga CX (sangat tinggi). Faktor yang digunakan meliputi konsentrasi polutan, waktu basah, dan kandungan ion klorida. Klasifikasi ini menjadi acuan dalam merancang perlindungan material dan dalam menginterpretasikan hasil penelitian.

Adapun jenis jenis korosi antara lain korosi galvanic, korosi lubang(*pitting*), korosi seragam, dan korosi stress(*stress corrosion cracking*)(Utomo, 2012). berikut adalah Jenis-jenis Korosi:

2.2.1 Korosi Galvanik



Gambar 2.2 Korosi Galvanik(Utomo, 2012)

Korosi galvanic terjadi ketika dua logam yang berbeda (misalnya besi dan tembaga) bersentuhan dalam kondisi lembab, di mana logam yang lebih reaktif akan terkorosi lebih cepat. Korosi ini terjadi karena proses elektro kimiawi dua macam metal yang berbeda potensial dihubungkan langsung di dalam elektrolit sama. Dimana electron mengalir dari metal kurang mulia (Anodik) menuju metal yang lebih mulia (Katodik), akibatnya metal yang kurang mulia berubah menjadi

ion – ion positif karena kehilangan electron. Ion-ion positif metal bereaksi dengan ion negatif yang berada di dalam elektrolit menjadi garam metal. Karena peristiwa tersebut, permukaan anoda kehilangan metal sehingga terbentuklah sumur - sumur karat (Surface Attack) atau serangan karat permukaan. (Utomo, 2012)

2.2.2 Korosi Lubang (*Pitting*)



Gambar 2.3 Korosi Lubang (*Pitting*) (Utomo, 2012)

Korosi lubang merupakan korosi lokal yang berbentuk lobang-lobang kecil (pits) dengan kedalaman dan diameter yang berbeda-beda dan muncul pada posisi yang berdekatan. Lobang korosi ini sering tertutup oleh produk korosi itu sendiri. Bila dihitung. Jika dihitung dengan persentase berat sangat kecil, akan tetapi akibat dari kerusakannya cukup besar. Biasanya terjadi pada logam seperti stainless steel, yang menghasilkan lubang-lubang kecil di permukaannya akibat adanya reaksi kimia lokal. (Utomo, 2012)

2.2.3 Korosi Serangan Selektif



Gambar 2.4 Korosi Serangan Selektif(Utomo, 2012)

Kebanyakan logam yang diproduksi secara massal untuk keperluan rekayasa selalu memiliki cacat volume akibat penyusutan pada saat pembekuan. Bahkan logam murni yang bebas dari semua cacat proses produksi masih dapat mengalami serangan korosi selektif pada batas-batas butir, ketidaksesuaian struktur kristal, atom-atom secara termodinamika kurang mantap posisinya dibandingkan dengan atom-atom pada posisinya didalam kisi sempurna dan mempunyai kecenderungan lebih besar untuk terkorosi. Secara umum kesempatan berkorosi akan terjadi lebih tinggi karena pengaruh kenaikan temperatur. (Utomo, 2012)

2.2.4 Korosi Batas Butir (*Intergranular*)



Gambar 2.5 Korosi Batas Butir (*Intergranular*) (Utomo, 2012)

Korosi intergranular terjadi bila daerah batas butir terserang akibat adanya endapan didalamnya. Batas butir sering menjadi tempat proses pengendapan dan pemisahan yang teramati pada banyak paduan beberapa jenis logam jenis serangan ini diawali dari beda potensial dalam komposisi, seperti sampel inti “coring” biasa ditemui dalam paduan casting. Pengendapan pada batas butir, terutama kromium karbida dalam baja tahan karat, merupakan mekanisme yang diakui dan diterima dalam korosi intergranular. (Syahril, 2006)

2.2.5 Korosi Celah



Gambar 2.6 Korosi Celah(Utomo, 2012)

Korosi celah merupakan korosi lokal dan terletak pada tempat-tempat maupun bagian yang tertutup karena deposit. Material yang sering terjadi korosi celah adalah Stainless Steel, sedangkan Aluminium juga cenderung mengalami korosi celah karena pengaruh air laut, sehingga oksidasi lapisan tipis (lapisan film) yang terbentuk mudah rusak karena klorida dimulai oleh perbedaan konsentrasi beberapa kandungan kimia, biasanya oksigen, yang membentuk konsentrasi sel elektrokimia (perbedaan sel aerasi dalam kasus oksigen). Di luar dari celah (katoda), kandungan oksigen dan pH lebih tinggi - tetapi klorida lebih rendah. (Utomo, 2012)

2.2.6 Korosi Erosi



Gambar 2.7 Korosi Erosi

Korosi erosi merupakan percepatan pada laju korosi yang disebabkan oleh gerakan relatif antara cairan korosif dengan permukaan logam. Biasanya gerakan ini sangat cepat, sehingga mempengaruhi abrasi dan mechanical wear juga terlihat didalamnya. Bentuk korosi erosi ini banyak dijumpai pada sistem perpipaan, antara lain bend, blower dan lain-lain. Mekanik aliran atau kecepatan fluida dikombinasikan dengan aksi cairan korosif menyebabkan percepatan hilangnya dari logam. Tahap awal melibatkan penghapusan mekanik film pelindung logam dan kemudian korosi logam telanjang oleh cairan korosif yang mengalir. Proses siklus ini sampai pelubangan komponen terjadi. (Utomo, 2012)

2.2.7 Stress Corrosion Cracking (SCC)



Gambar 2.8 *Stress Corrosion Cracking (SCC)* (Utomo, 2012)

Korosi retak tegangan (SCC) adalah proses retak yang memerlukan aksi secara bersamaan dari bahan perusak (karat) dan berkelanjutan dengan tegangan tarik. Ini tidak termasuk pengurangan bagian yang terkorosi akibat gagal oleh patahan cepat. Hal ini juga termasuk intercrystalline atau transkristalin korosi, yang dapat menghancurkan paduan tanpa tegangan yang diberikan atau tegangan sisa. Retak korosi tegangan dapat terjadi dalam kombinasi dengan penggetasan hydrogen terjadi akibat adanya hubungan dari 3 faktor komponen, yaitu Bahan rentan terhadap korosi, adanya larutan elektrolit (lingkungan) dan adanya tegangan. Sebagai contoh, tembaga dan paduan rentan terhadap senyawa amonia, baja ringan rentan terhadap larutan alkali dan baja tahan karat rentan terhadap klorida. (Utomo, 2012)

Adapun nilai Kriteria ketahanan laju korosi dapat dilihat pada table dibawah ini.

Tabel 2.2 Kriteria Tahanan Laju Korosi (Fontana, 1986)

Relative Corrosion Resistance	mpy	mm/yr	$\mu\text{m/yr}$	nm/hr	pm/sec
Outstanding	<1	<0.02	<25	<2	<1
Excellent	1-5	0.02-0.1	25-100	2-10	1-5
Good	5-20	0.1-0.5	100-500	10-50	5-20
Fair	20-50	0.5-1	500-1000	50-150	20-50
Poor	50-200	1-5	1000-5000	150-500	50-200
Unacceptable	200+	5+	5000+	500+	200+

Pada penelitian sebelumnya hasil investigasi korosi atmosferik pada baja karbon rendah profil segiempat di Kawasan Industri Medan yang telah dilakukan bahwa hasil pengukuran korosivitas atmosferik untuk lima lokasi laju korosi rata-rata 0,153 mpy di KIM 1, KIM 2 : 0,171 mpy, KIM 3 : 0,382 mpy, KIM 4 : 0,271 mpy dan KIM 5 : 0,564 mpy. Untuk laju korosi di lima lokasi masih dalam katagori laju korosi yang sangat lambat untuk spesimen uji. Laju korosi yang paling rentan terhadap korosi adalah spesimen uji yang berada di lokasi KIM 5, hal ini bisa dipengaruhi oleh komposisi dan proses pembuatan material. Kemudian dari hasil pengukuran laju korosi atmosferik disemua lokasi sudah tersedia peta korosi di lokasi penelitian.

2.3 Waktu Basah

Waktu basah dalam korosi atmosferik merujuk pada durasi atau periode waktu di mana suatu material (seperti logam) terpapar pada kondisi lingkungan yang lembap atau basah, yang memungkinkan terjadinya proses korosi. Proses korosi atmosferik seringkali dipengaruhi oleh kelembapan udara, suhu, dan paparan air atau cairan lain, yang memberikan kondisi yang ideal bagi terbentuknya elektrolit di permukaan material. Korosi atmosferik melibatkan reaksi elektrokimia, di mana logam, oksigen, dan air bereaksi membentuk senyawa oksida (karat). Reaksi utama yang terjadi adalah oksidasi logam (misalnya, besi) menjadi besi oksida (karat) di tempat yang terpapar air atau kelembapan, sedangkan bagian yang lebih kering pada logam menjadi tempat reduksi oksigen. Semakin lama waktu basah suatu material, semakin lama pula logam tersebut terpapar pada kondisi yang memungkinkan terjadinya reaksi korosi. Dalam kondisi cuaca dengan kelembapan tinggi atau paparan hujan, waktu basah akan lebih lama, mempercepat laju korosi. Sebaliknya, jika cuaca kering, waktu basah akan lebih singkat, yang berarti proses korosi bisa melambat.

2.4 Machine Learning

Machine Learning (pembelajaran mesin) merupakan salah satu cabang dari kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence/AI*) yang memungkinkan sistem komputer untuk belajar secara otomatis dari data, mengidentifikasi pola, serta membuat prediksi atau keputusan dengan intervensi manusia yang minimal. Berbeda dengan pendekatan pemrograman tradisional yang memerlukan serangkaian instruksi eksplisit, machine learning menggunakan algoritma yang mempelajari hubungan antar variabel dari data yang ada sehingga dapat digunakan untuk memprediksi nilai pada data baru (Alpaydin, 2020)

Konsep dasar machine learning terletak pada kemampuan algoritma untuk menggeneralisasi pengetahuan dari data pelatihan (training data) agar dapat memberikan prediksi yang akurat pada data uji (testing data). Proses ini melibatkan tiga komponen utama, yaitu:

1. Data: Input yang akan digunakan oleh model untuk mempelajari hubungan antar variabel.
2. Model: Struktur matematis atau algoritma yang memproses data untuk menghasilkan pola atau prediksi.
3. Proses Evaluasi: Pengukuran kinerja model untuk memastikan akurasi dan kemampuan generalisasi.

Machine learning dapat dibagi menjadi beberapa kategori, salah satunya adalah supervised learning, di mana model dilatih dengan data yang memiliki label (variabel target). Pada penelitian ini, pendekatan supervised learning digunakan karena variabel target berupa laju korosi sudah diketahui dari pengamatan lapangan, sementara variabel prediktor terdiri dari parameter cuaca seperti suhu, kelembapan, curah hujan, kecepatan angin, dan intensitas cahaya matahari.

2.4.1 Regresi Linear

Regresi Linear merupakan sebuah model learning yang digunakan untuk memprediksi nilai *output* berdasarkan banyak nya nilai *input*. Hal ini merupakan hal mendasar dalam program *machine learning*.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \epsilon \quad (2.2)$$

2.4.2 Random Forest

Random Forest adalah algoritma *machine learning* yang banyak digunakan untuk tugas klasifikasi dan regresi. Algoritma ini menggunakan pendekatan *ensemble learning* dengan menggabungkan sejumlah *decision tree* untuk meningkatkan akurasi dan stabilitas prediksi. Algoritma ini dikenal karena kemudahannya dalam implementasi serta performanya yang konsisten baik, meskipun pengaturan parameternya minimal. Namun, dibandingkan dengan *decision tree* tunggal, *Random Forest* membutuhkan lebih banyak sumber daya komputasi karena kerumitannya yang lebih tinggi. (Zhi et al., 2021)

$$\hat{f}_{RF}(x) = \frac{1}{B} \sum_{b=1}^B T_b(x) \quad (2.3)$$

2.4.3 Leave-One-Out Cross-Validation (LOOCV)

Cross-validation adalah salah satu metode evaluasi yang sangat umum digunakan dalam pembelajaran mesin untuk menilai kemampuan model dalam melakukan generalisasi terhadap data baru. Prinsip utamanya adalah membagi dataset menjadi beberapa subset, sehingga proses pelatihan dan pengujian dapat dilakukan secara bergantian untuk menghindari bias yang terjadi jika hanya menggunakan satu set data uji. Salah satu variasi dari *cross-validation* yang populer ketika jumlah data terbatas adalah *Leave-One-Out Cross-Validation* (LOOCV).

Pada metode LOOCV, setiap observasi dalam dataset akan berperan sebagai data uji satu kali, sementara sisanya digunakan untuk melatih model. Dengan kata lain, jika terdapat n data, maka proses pelatihan dan pengujian akan dilakukan sebanyak n kali. Setiap iterasi mengeluarkan satu data untuk pengujian dan menggunakan $n-1$ data lainnya untuk pelatihan. Proses ini memastikan bahwa model dievaluasi pada seluruh data, sehingga memaksimalkan pemanfaatan dataset yang tersedia.

Kelebihan LOOCV adalah mampu memberikan estimasi kinerja model yang mendekati performa aktual pada data baru karena hampir semua data digunakan untuk pelatihan dalam setiap iterasi. Hal ini sangat berguna ketika dataset yang digunakan relatif kecil dan tidak memungkinkan untuk dibagi menjadi set pelatihan dan pengujian yang besar. Namun, metode ini juga memiliki kekurangan, yaitu memerlukan waktu komputasi yang tinggi karena model harus dilatih ulang sebanyak jumlah data yang ada.

Setelah semua iterasi selesai, hasil prediksi dari setiap data uji dikumpulkan dan digunakan untuk menghitung metrik evaluasi kinerja model, seperti R^2 (*coefficient of determination*) untuk mengukur seberapa baik model menjelaskan variasi data, RMSE (*Root Mean Square Error*) untuk mengukur tingkat kesalahan prediksi, atau AUC (*Area Under the Curve*) jika masalahnya adalah klasifikasi. Dengan pendekatan ini, kita dapat memperoleh gambaran yang lebih akurat mengenai kemampuan model dalam melakukan prediksi terhadap data yang belum pernah dilihat sebelumnya. (Rahayu et al., 2024)

$$CV_{(n)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i - \hat{y}_i}{1 - h_{ii}} \right)^2 \quad (2.4)$$

2.4.4 Hasil Evaluasi Model

Model *Random Forest* digunakan untuk memprediksi laju korosi atmosferik pada material baja di Kota Medan. Evaluasi dilakukan menggunakan beberapa matrix regresi, yaitu:

1. R^2 (*Coefficient of Determination*)

Koefisien determinasi atau R^2 (*R-squared*) merupakan salah satu metrik yang digunakan untuk menilai kualitas suatu model regresi. Metrik ini mengukur sejauh mana variasi pada variabel dependen (target) dapat dijelaskan oleh variabel independen melalui model yang digunakan. Secara matematis, R^2 membandingkan variasi yang dapat dijelaskan model dengan variasi total dalam data. Nilai R^2 berada pada rentang 0 hingga 1, di mana nilai yang semakin mendekati 1 menunjukkan bahwa model mampu menjelaskan sebagian besar variasi data target, sehingga memiliki kemampuan prediksi yang baik. Sebaliknya, nilai R^2 yang mendekati 0 mengindikasikan bahwa model tidak mampu menjelaskan variasi data dengan baik, sehingga performanya rendah. Dalam beberapa kasus, R^2 juga dapat bernilai negatif jika model memiliki kinerja lebih buruk dibandingkan model baseline sederhana, misalnya model yang hanya menggunakan rata-rata target sebagai prediksi. Oleh karena itu, interpretasi nilai R^2 perlu dilakukan dengan hati-hati, terutama ketika diterapkan pada model non-linear atau data yang memiliki pola kompleks. (Soedyafa et al., 2020)

2. RMSE (*Root Mean Squared Error*)

RMSE (*Root Mean Square Error*) adalah salah satu metrik evaluasi dalam analisis regresi yang mengukur seberapa besar rata-rata kesalahan prediksi model terhadap nilai aktual, dengan memberikan bobot lebih besar pada kesalahan yang besar karena menggunakan kuadrat selisih. Rumusnya adalah akar dari rata-rata kuadrat perbedaan antara nilai aktual dan nilai prediksi. Semakin kecil nilai RMSE, semakin baik kinerja model karena menunjukkan bahwa perbedaan antara hasil prediksi dan data aktual relatif kecil. RMSE sering digunakan karena memberikan gambaran yang jelas tentang seberapa jauh nilai prediksi dari nilai sebenarnya

dalam satuan yang sama dengan variabel target, sehingga mudah diinterpretasikan.(Hodson, 2022)

3. MAE (*Mean Absolute Error*)

Mean Absolute Error (MAE) adalah salah satu metrik evaluasi yang digunakan untuk mengukur kinerja model regresi. MAE dihitung sebagai rata-rata dari selisih absolut antara nilai aktual dan nilai prediksi yang dihasilkan oleh model. Keunggulan MAE adalah memberikan gambaran umum tentang besar kesalahan prediksi tanpa memberikan bobot berlebih pada nilai yang menyimpang jauh (*outlier*), sehingga lebih stabil dibandingkan metrik yang memperhitungkan kuadrat error seperti RMSE. Semakin kecil nilai MAE, semakin baik kualitas prediksi model karena menunjukkan bahwa rata-rata kesalahan yang terjadi relatif rendah.(Willmott & Matsuura, 2005)

4. MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*)

MAPE atau *Mean Absolute Percentage Error* adalah metrik evaluasi yang menunjukkan rata-rata kesalahan prediksi dalam bentuk persentase terhadap nilai aktual. Metrik ini dihitung dengan membagi selisih absolut antara nilai aktual dan nilai prediksi dengan nilai aktual, kemudian dirata-ratakan dan dikalikan 100%. Dengan format persentase, MAPE memudahkan interpretasi karena menunjukkan seberapa besar kesalahan relatif model terhadap nilai sebenarnya. Semakin kecil nilai MAPE, semakin baik kinerja model karena prediksi yang dihasilkan semakin mendekati nilai aktual. Namun, MAPE dapat menjadi tidak stabil jika terdapat nilai aktual yang mendekati nol.(de Myttenaere et al., 2016)

Berikut ialah formula evaluation matrix untuk R^2 , RMSE, MAE dan MAPE

Tabel 2.3 Formula evaluation Matrix(Ut et al., 2014)

Evaluation Matric	Formula
R^2	$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2}$
RMSE	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$
MAE	$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i - \hat{y}_i ^2$
MAPE	$MAPE = \frac{100\%}{n} \sum_{i=1}^n y_i - \hat{y}_i ^2$

Nilai koefisien determinasi (R^2) yang semakin mendekati 1 menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan yang baik dalam menjelaskan variasi data aktual. Untuk metrik MAPE, semakin kecil nilai persentasenya maka semakin akurat prediksi yang dihasilkan oleh model. Sementara itu, nilai RMSE dan MAE bersifat relatif terhadap skala data; semakin kecil nilai kedua metrik ini, semakin baik kinerja model dalam meminimalkan kesalahan prediksi.

Tabel 2.3 Interpretasi Kualitas Model (Hyndman & Koehler, 2005)(Lin & Li, 2023)(Jin et al., 2020)(Soto-Rivas et al., 2019)

Metrik	Sangat Baik	Baik	Cukup / Kurang Baik	Buruk
R^2	$\geq 0,90$	0,75 – 0,89	0,50 – 0,74	$< 0,50$
MAPE	$< 10\%$	10% – 20%	20% – 50%	$> 50\%$
RMSE	$< 0,10$	0,10 – 0,30	0,30 – 0,50	$> 0,50$
MAE	$< 0,05$	0,05 – 0,15	0,15 – 0,30	$> 0,30$

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian

3.1.1 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Kota Medan yaitu di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara untuk proses pemaparan material uji.

3.1.2 Waktu Penelitian

Waktu Penerapan tugas akhir ini direncanakan selama 6 bulan dari disetujuinya penulisan proposal, pembersihan material, proses pemaparan, proses Pengambilan data, seminar proposal, seminar hasil sampai sidang akhir.

Table 3.1 Jadwal Penelitian

No	Kegiatan	Waktu (Bulan)					
		1	2	3	4	5	6
1	Studi Literatur dan Pengumpulan Data						
2	Persiapan Material Uji						
3	Pengujian Komposisi Material Uji						
4	Proses Pembersihan Material Uji						
5	Proses Pemaparan Sinar Matahari						
6	Proses pengambilan data						
7	Proses pengolahan data						
8	Penulisan Laporan Akhir						
9	Sidang Sarjana						

3.2 Alat Dan Bahan

3.2.1 Alat Yang Digunakan

Adapun alat yang di gunakan pada penelitian ini ialah:

1. Rak Pengujian

Rak pengujian yang digunakan pada penyelidikan ini merujuk kepada ASTM G-50. Rak pengujian dilengkapi dengan isolator yang bertujuan agar material uji tidak berkontak langsung terhadap material uji. Rak pengujian yang digunakan dalam penyelidikan ini ditunjukkan pada Gambar



Gambar 3.1 Rak Pengujian

2. Kertas Pasir

Kertas pasir yang digunakan ialah AA120 , kegunaan kertas pasir ialah untuk membersihkan karat pada material uji sehingga pada proses pemaparan berikut nya tidak ada karat pada spesimen agar hasil data kehilangan berat pada bulan selanjut nya mendapat kan hasil terbaik. Kertas pasir AA120 merupakan salah satu jenis abrasive yang memiliki tingkat kekasaran atau grit sebesar 120, termasuk dalam kategori grit halus. Angka 120 menunjukkan bahwa kertas ini memiliki 120 partikel abrasif per inci persegi, sehingga menghasilkan permukaan yang cukup halus setelah pengamplasan. Bahan abrasif yang digunakan biasanya adalah aluminium oxide, yang dikenal memiliki daya tahan tinggi dan mampu mengikis permukaan logam, kayu, maupun material lainnya dengan efektif.



Gambar 3.2 Kertas Pasir AA120

3. Sikat Baja

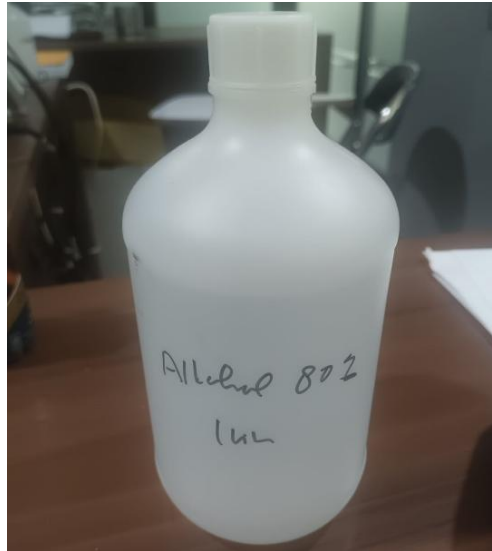
Sikat baja berguna untuk membersihkan sisa sisa karat pada material uji sehingga tiada sisa karat ataupun benda lain yang menempel pada material uji.



Gambar 3.3 Sikat Baja

4. Alkohol

Bahan pembersih sisa karat yang digunakan ialah alkohol 80% sehingga material benar benar bersih dari debu dan sisa karat yang tersisa pada material.



Gambar 3.4 Alkohol

5. Timbangan HZY-A200

Timbangan berfungsi sebagai alat ukur berat material uji setelah dibersihkan menggunakan kertas pasir dan sikat baja dan telah di rendam dengan alkohol. Timbangan digital yang digunakan ialah timbangan dengan spesifikasi kapasitas 1mg- 200g dengan volume 36,4cm x 28,6 cm x 33,4cm.



Gambar 3.5 Timbangan Digital HZY-A200

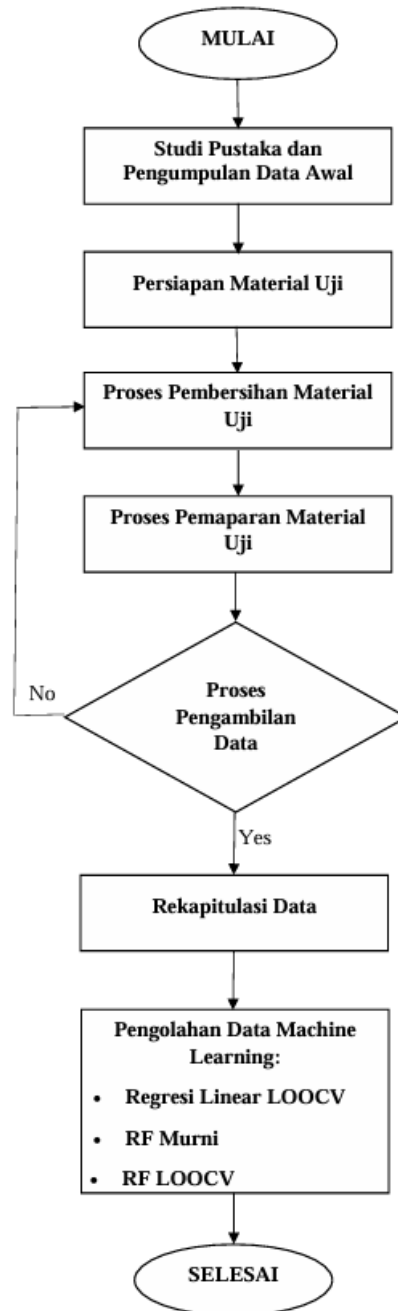
3.2.2 Bahan

Baja konstruksi yang digunakan pada elemen seperti tulangan beton, baja siku, plat, dan profil segi empat umumnya termasuk kategori baja karbon rendah (*low carbon steel*). Baja karbon rendah memiliki kandungan karbon berkisar antara 0,15–0,30%, sehingga bersifat ulet, mudah dibentuk, dan memiliki kekuatan tarik yang cukup untuk aplikasi struktural. Komposisi kimia baja ini terdiri dari unsur-unsur utama seperti karbon (C), mangan (Mn), silikon (Si), fosfor (P), sulfur (S), dan besi (Fe) sebagai unsur dominan. Secara umum, kandungan karbon berkisar 0,15–0,30%, mangan 0,30–0,90%, silikon 0,15–0,30%, fosfor $\leq 0,04\%$, sulfur $\leq 0,05\%$, dan besi mendominasi sekitar 98% dari total komposisi (Rahmawan, 2024)



Gambar 3.6 Material Uji

3.3 Diagram Alir

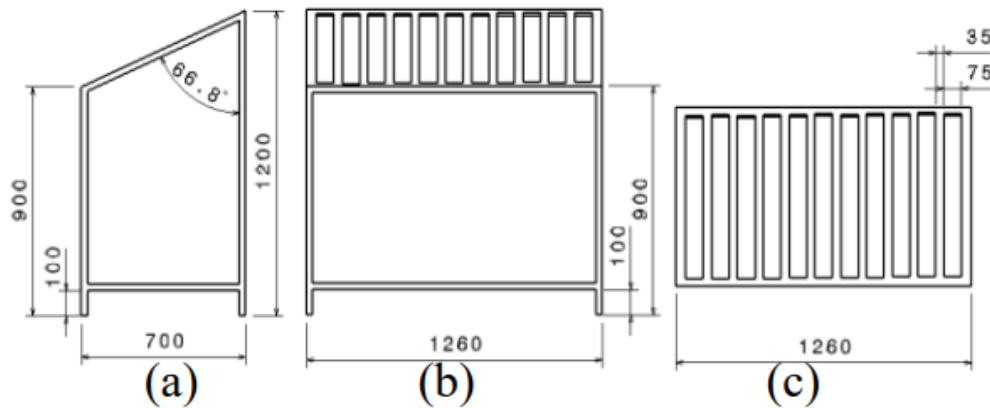


Gambar 3.7 Diagram Alir

3.4 Rancangan Penelitian

Penelitian dimulai dengan studi literatur mengenai laju korosi atmosferik, faktor-faktor yang mempengaruhi korosi atmosferik, bahaya dan kerugian yang dapat ditimbulkannya. Kemudian pemilihan material uji berdasarkan persentase penggunaan material yang paling banyak digunakan pada infrastruktur saat ini.

Penggunaan rak uji berdasarkan standar yang diakui secara internasional (ASTM G – 50). Pemilihan lokasi riset (Kota Medan) didasari oleh pembangunan infrastruktur yang masif saat ini. Sebelum dilakukan proses pemaparan, terlebih dahulu material uji dibersihkan untuk memastikan material uji bebas dari karat dan material lain yang masih menempel pada material uji.



Gambar 3.8 Gambar design rak pengujian (a) pandangan samping (b) pandangan depan (c) pandangan atas.(Rudi et al., 2019)

Proses pemaparan dilakukan selama 1 bulan di area terbuka menggunakan rak pengujian yang sesuai dengan (ASTM G-50) sehingga terpapar sinar matahari langsung. Setelah proses pemaparan, dilakukan pengambilan data dengan menghitung kehilangan berat pada material. Lalu data di olah menggunakan machine learning untuk memprediksi laju korosi.

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Persiapan Material Uji

Proses persiapan material uji dilakukan dengan cara memotong material dengan ukuran panjang 150mm lalu permukaan material uji di bersihkan untuk memastikan material uji bebas dari karat atau material lain yang masih menempel pada material uji proses ini dapat menggunakan kertas pasir dan sikat baja.

3.5.2 Pemaparan Material Uji

Proses pemaparan dilakukan di Kecamatan Medan Timur, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara. Penelitian dilakukan pada lokasi

terbuka yang terpapar langsung dengan atmosfer. sehingga dapat terpengaruh suhu, kelembapan, arah angin, curah hujan, dan lama pemaparan matahari yang dapat mempercepat proses korosi pada baja karbon rendah. Lama proses pemaparan material uji ialah 30 hari atau satu bulan.

3.5.3 Pengambilan data

Proses pengambilan data dilakukan setiap sebulan sekali dengan membersihkan material menggunakan cairan aseton dan sikat baja yang berguna untuk membersihkan permukaan spesimen, sesuai dengan standar ASTM G-1. Setelah itu berat spesimen ditimbang menggunakan timbangan digital untuk menjamin keakurasian data. Tahap selanjutnya melakukan perhitungan dan analisa setiap selesai penimbangan spesimen. Tahap akhir melakukan analisis laju korosi dengan menggunakan persamaan.

3.5.4 Pengolahan Data *Machine Learning*

Pada studi berbasis ML ini, menggunakan bahasa pemrograman Python yang menggunakan software Jupyter Notebook. Untuk mencari model optimum sebagai predictor CIE senyawa turunan benzimidazol, kami menyelidiki berbagai algoritma ensemble dalam penelitian ini., *random forest*(RF) dan Regresi Linear, adalah beberapa algoritma ensemble yang diuji untuk melihat nilai R^2 ,RMSE ,MAE , MAPE.

3.6 Variable Penelitian

Adapun Variabel bebas pada Penelitian ini adalah waktu pemaparan yang dilaksanakan dan lingkungan atmosfer Kota Medan seperti kontaminan udara, curah hujan, kelembapan udara, dan temperatur udara. Untuk variabel kontrol pada penelitian ini adalah korosi atmosferik Kota Medan.

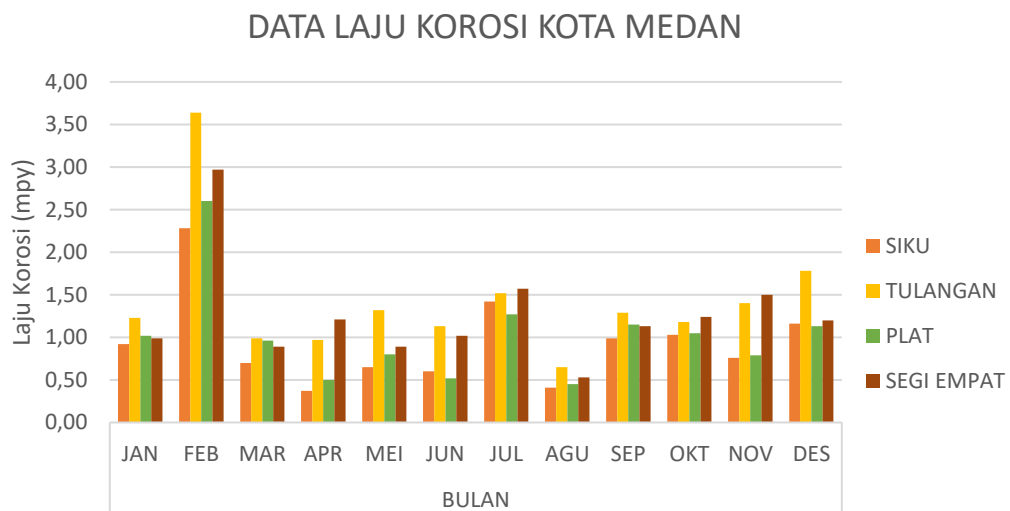
BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Menghitung Laju Korosi Atmosferik Kota Medan

Untuk menghitung laju korosi terlebih dahulu mengukur kehilangan berat tiap bulan nya dengan menggosok permukaan specimen lalu di cuci menggunakan alkohol lalu ditimbang sehingga didapat data kehilangan berat tiap bulan nya.

Sehingga di dapat data laju korosi atmosferik di lingkungan kota medan selama 12 bulan pada material yang di gunakan yaitu baja siku, baja tulangan, baja segi empat, dan baja plat seperti pada gambar 4.1 yang menunjukkan pada bulan ke 2 laju korosi sangat tinggi. Dengan nilai rata rata 2,87 Mpy, yang menunjukkan laju korosi atmosferik kota medan dalam keadaan axcellent.



Gambar 4.1 Data Laju Korosi Atmosferik Kota Medan

4.2 Pengolahan data *machine learning*

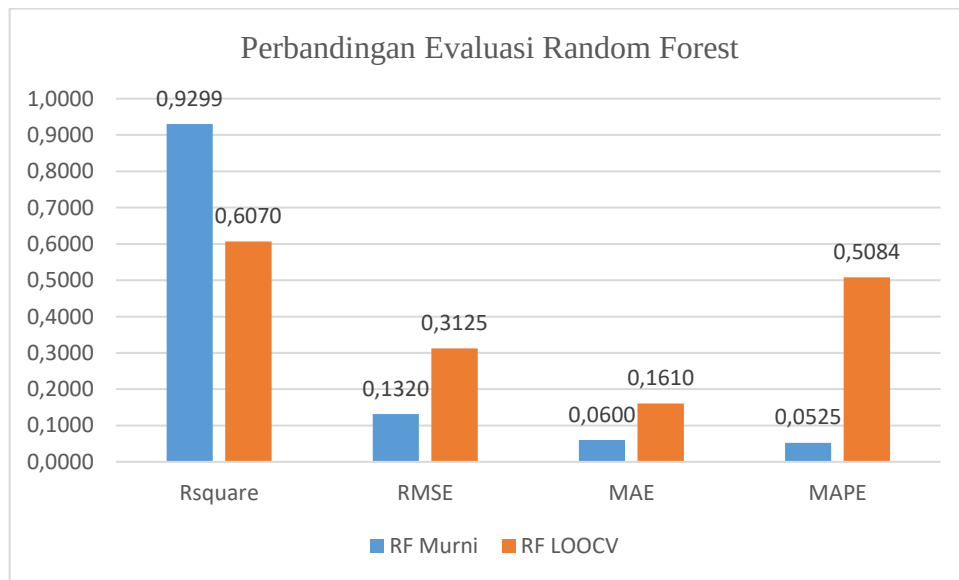
Setelah dilakukan perhitungan laju korosi selanjut nya dilakukan pengolahan data menggunakan *machine learning* dengan model yang digunakan ialah *Regresi linear* dan *Random Forest*.

4.2.1 Pada Baja Siku

Model RF tanpa validasi silang memberikan kinerja yang sangat baik, dengan R^2 sebesar 0,9299, yang menunjukkan bahwa 92,99% variasi data dapat dijelaskan oleh model. Nilai error juga sangat kecil RMSE dengan nilai 0,1320 dan MAE 0,0600 sedangkan nilai MAPE adalah 5,25% yang termasuk dalam kategori sangat baik yaitu kurang dari 10%. Hal ini menandakan model mampu memberikan prediksi yang akurat pada data latih. Namun, keakuratan yang terlalu tinggi ini mengindikasikan potensi overfitting, karena model mungkin terlalu menyesuaikan diri terhadap data pelatihan.

Tabel. 4.1 Perbandingan Evaluasi Model Pada Baja Siku

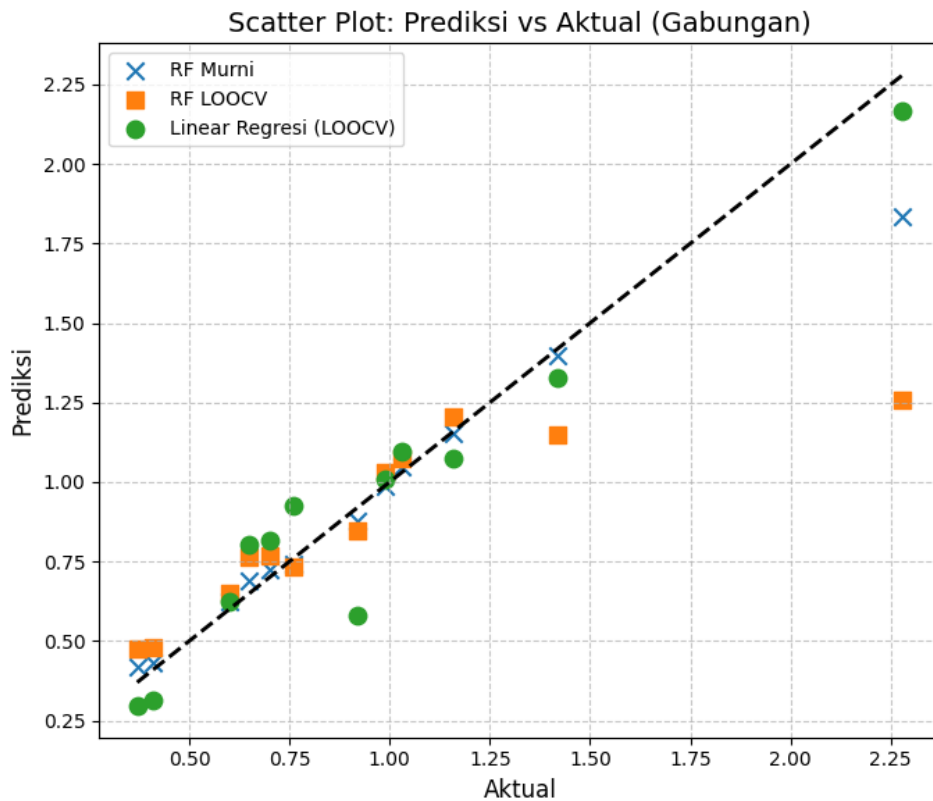
	SIKU	
	RF Murni	RF LOOCV
Rsquare	0.9299	0.6070
RMSE	0.1320	0.3125
MAE	0.0600	0.1610
MAPE	0.0525	0.5084



Gambar 4.2 Perbandingan Evaluasi Random Forest Pada Baja Siku

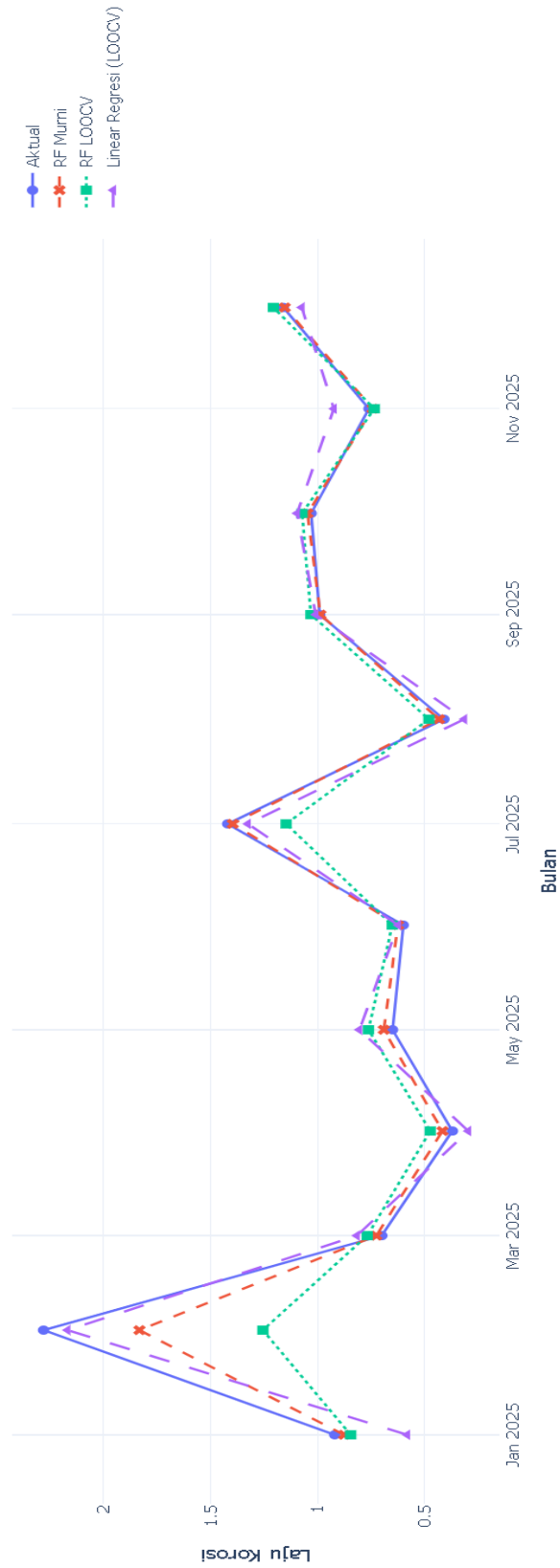
Pada gambar 4.3 terlihat plot Linear Regresi LOOCV yang paling mendekati artinya model tersebut sangat baik dalam mempelajari data walau

dengan data kecil sedangkan RF Murni pada beberapa titik sangat dekat ke garis actual yang menandakan model overfitting.



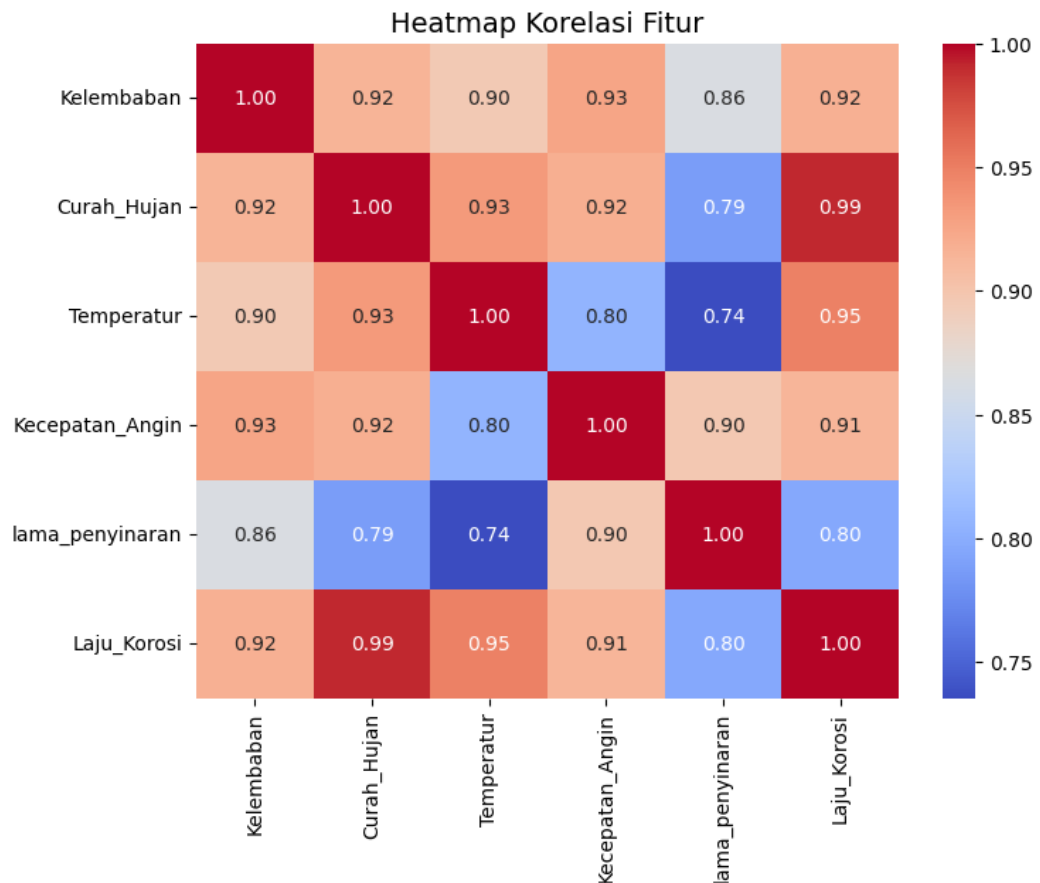
Gambar 4.3 Scatter Plot Prediksi Vs Aktual (Gabungan) Pada Baja Siku

Terlihat pada gambar 4.4 nilai Linear Regresi LOOCV pada beberapa titik jauh dari data aktual hal ini menunjukkan model mulai mengkomparasi data berulang kali sedangkan model yang paling dekat dengan data aktual ialah RF murni hal ini bias terjadi karna model hanya mengkomparasi data sekali saja dengan data yang ada yang menyebabkan model terlalu percaya dengan hasil komparasi data.



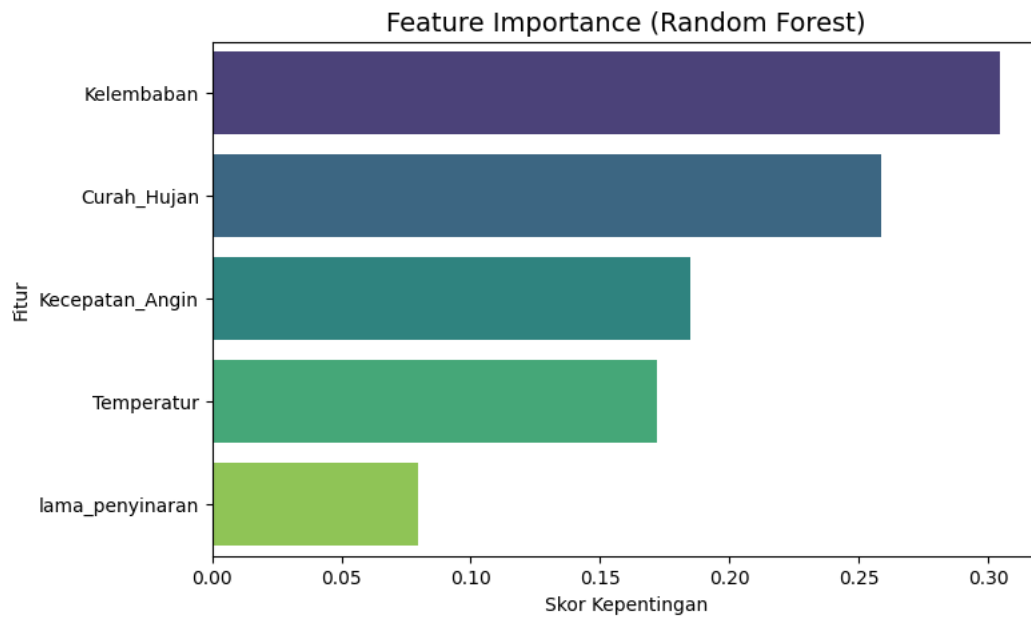
Gambar 4.4 Perbandingan Data Aktual Dengan RF Murni Dan RF LOOCV Baja Siku

Nilai *Heatmap* menunjukkan hubungan antar variabel menunjukkan variable yang memiliki hibungan paling dekat ialah curah hujan dengan laju korosi dengan nilai 0,99 dan yang paling tidak dekat ialah temperatur dengan lama penyinaran matahari.



Gambar 4.5 Heatmap Korelasi Fitur Baja Siku

Grafik Featur Importance menunjukkan yang paling mempengaruhi laju korosi ialah kelembapan dengan curah hujan dengan rentang nilai 25-30 % karena proses terjadi nya korosi dimulai dengan baja yang bersentuhan dengan air, sedangkan kecepatan angin dan temperature berada pada rentang 15-20 % karena angina membawa air dan temperature mempengaruhi kelembapan sedang kan lama penyinaran matahari tetap berpengaruh meski hanya sedikit yaitu 5-10 % karena semakin lama matahari mennyinari material makan akan menurun kan kelembapan material.



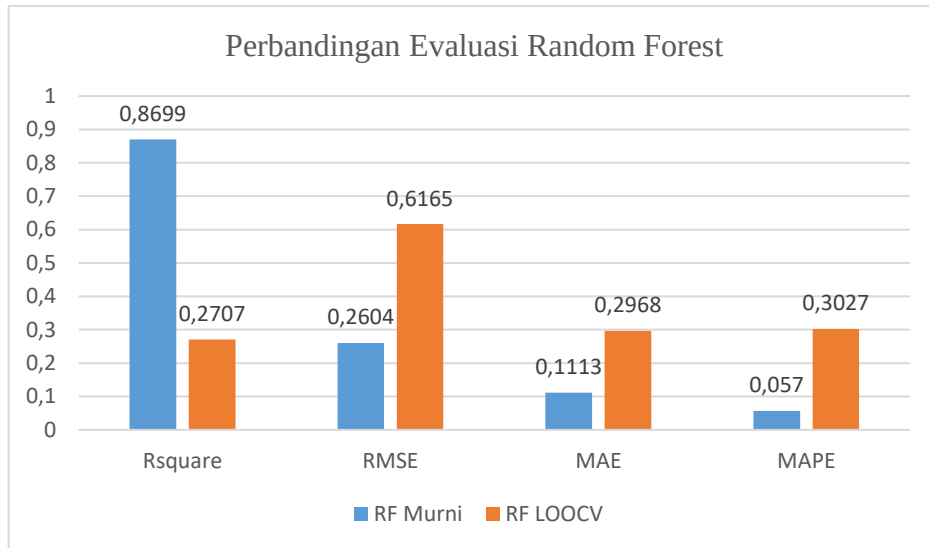
Gambar 4.6 Grafik Feature Importance (Random Forest) Pada Baja Siku

4.2.2 Pada Baja Tulangan

Model RF tanpa validasi silang memberikan kinerja yang sangat baik, dengan R^2 sebesar 0,8699, yang menunjukkan bahwa 86,99% variasi data dapat dijelaskan oleh model. Nilai error juga sangat kecil RMSE dengan nilai 0,2604 dan MAE 0,1113 sedangkan nilai MAPE adalah 5,70% yang termasuk dalam kategori sangat baik yaitu kurang dari 10%. Hal ini menandakan model mampu memberikan prediksi yang akurat pada data latih. Namun, keakuratan yang terlalu tinggi ini mengindikasikan potensi overfitting, karena model mungkin terlalu menyesuaikan diri terhadap data pelatihan.

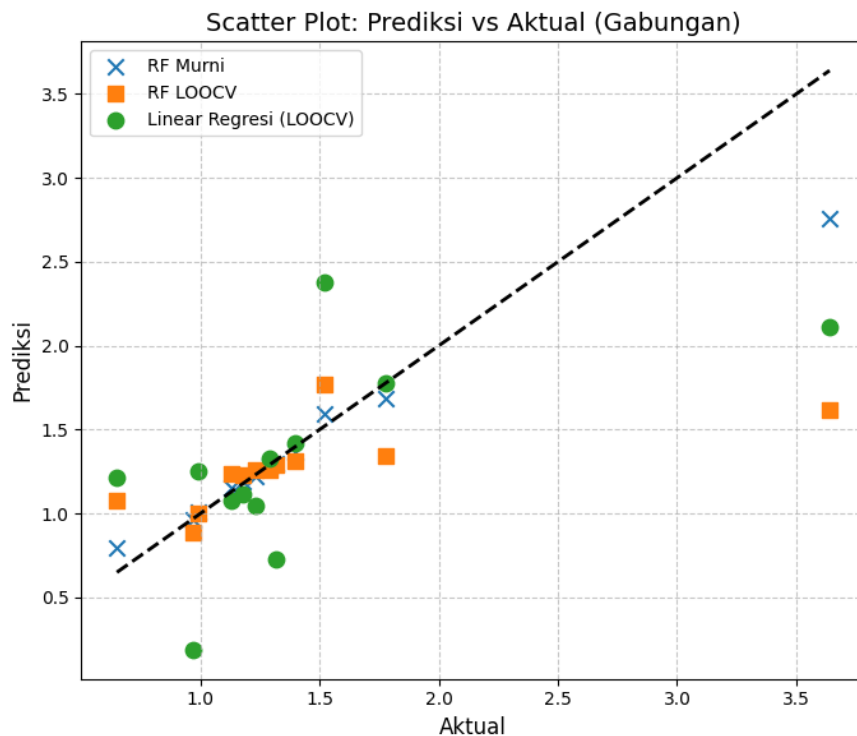
Tabel. 4.2 Perbandingan Evaluasi Model Pada Baja Tulangan

	TULANGAN	
	RF Murni	RF LOOCV
Rsquare	0.8699	0.2707
RMSE	0.2604	0.6165
MAE	0.1113	0.2968
MAPE	0.0570	0.3027



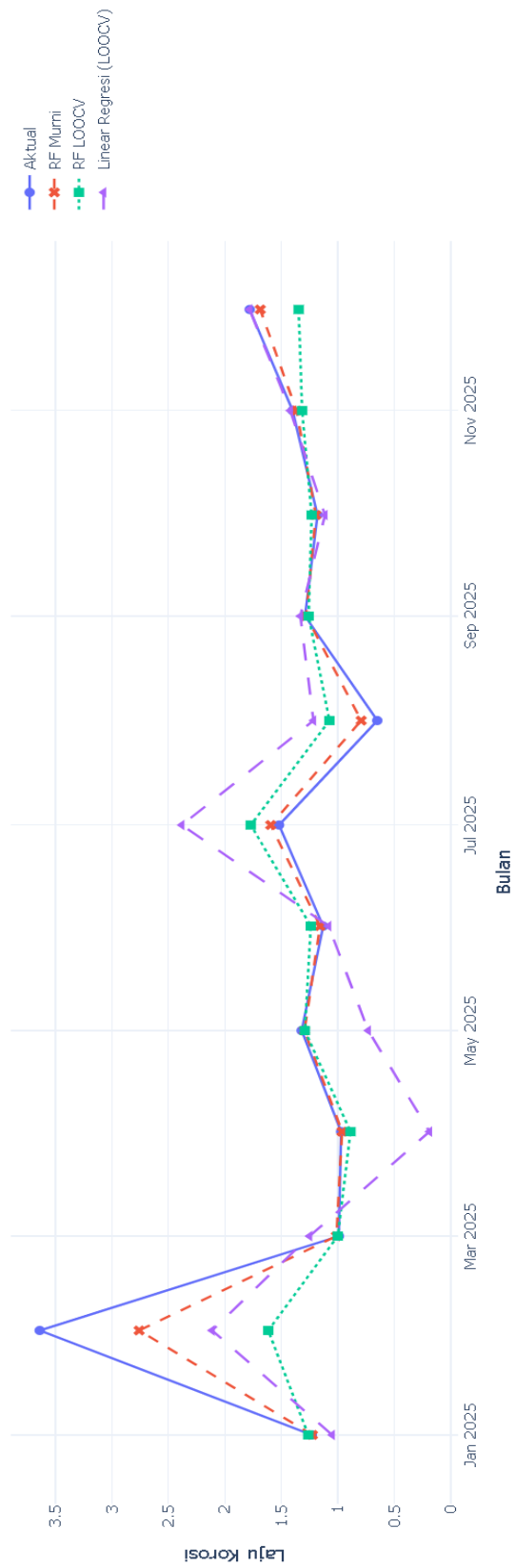
Gambar 4.7 Perbandingan Evaluasi Random Forest Pada Baja Tulangan

Pada gambar 4.8 terlihat plot Linear Regresi LOOCV yang paling mendekati artinya model tersebut sangat baik dalam mempelajari data walau dengan data kecil sedangkan RF Murni pada beberapa titik sangat dekat ke garis aktual yang menandakan model *overfitting*.



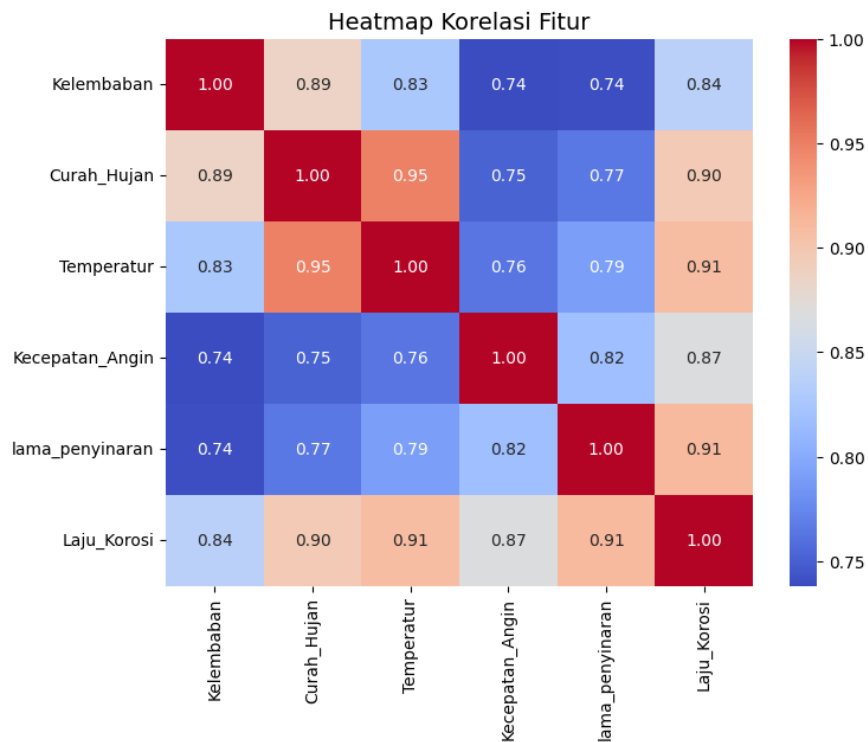
Gambar 4.8 Scatter Plot Prediksi Vs Aktual (Gabungan) Pada Baja Tulangan

Terlihat pada gambar 4.9 nilai Linear Regresi LOOCV pada beberapa titik jauh dari data aktual hal ini menunjukkan model mulai mengkomparasi data berulang kali sedangkan model yang paling dekat dengan data aktual ialah RF murni hal ini bias terjadi karna model hanya mengkomparasi data sekali saja dengan data yang ada yang menyebabkan model terlalu percaya dengan hasil komparasi data.



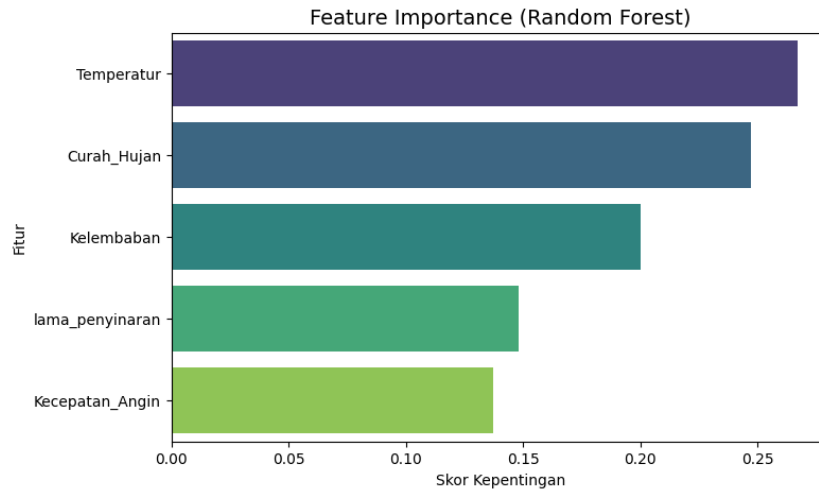
Gambar 4.9 Perbandingan data aktual dengan RF murni dan RF LOOCV baja Tulangan

Nilai *Heatmap* menunjukkan hubungan antar variabel menunjukkan variable yang memiliki hibungan paling dekat ialah curah hujan dan temperatur dengan nilai 0,91 dan yang paling tidak dekat ialah Kecepatan angin dengan lama penyinaran matahari.



Gambar 4.10 Heatmap Korelasi Fitur Baja Tulangan

Grafik Featur Importance menunjukkan yang paling mempengaruhi laju korosi ialah kelembapan dengan curah hujan dengan rentang nilai 20-30 % karena proses terjadi nya korosi dimulai dengan baja yang bersentuhan dengan air, sedangkan kecepatan angin dan temperature berada pada rentang 15-20 % karena angin membawa air dan temperature mempengaruhi kelembapan sedang kan lama penyinaran matahari tetap berpengaruh meski hanya sedikit yaitu 10-15 % karena semakin lama matahari mennyinari material makan akan menurun kan kelembapan material.



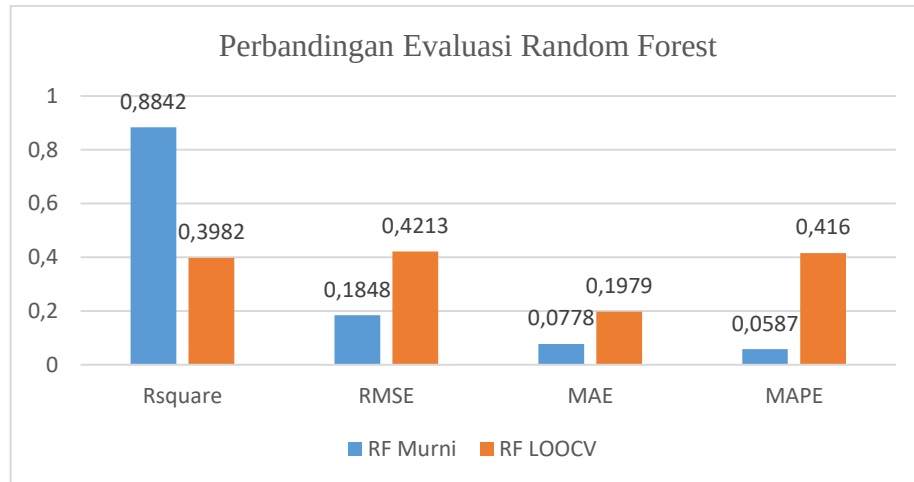
Gambar 4.11 Grafik Feature Importance (Random Forest) Pada Baja Tulangan

4.2.3 Pada Baja Plat

Model RF tanpa validasi silang memberikan kinerja yang sangat baik, dengan R^2 sebesar 0,8842, yang menunjukkan bahwa 88,42% variasi data dapat dijelaskan oleh model. Nilai error juga sangat kecil RMSE dengan nilai 0,1848 dan MAE 0,0778 sedangkan nilai MAPE adalah 5,87% yang termasuk dalam kategori sangat baik yaitu kurang dari 10%. Hal ini menandakan model mampu memberikan prediksi yang akurat pada data latih. Namun, keakuratan yang terlalu tinggi ini mengindikasikan potensi overfitting, karena model mungkin terlalu menyesuaikan diri terhadap data pelatihan.

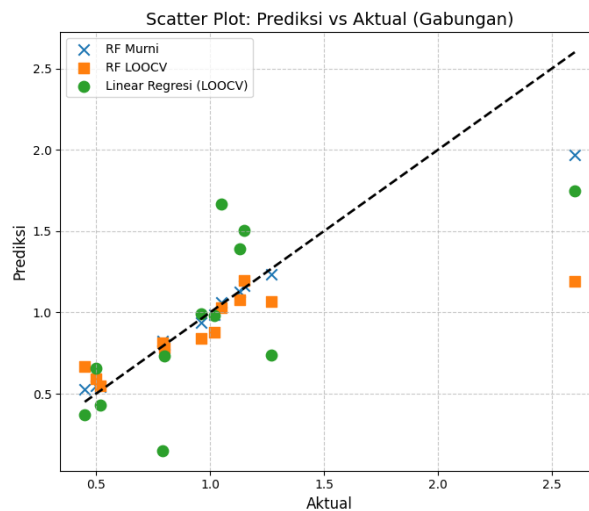
Tabel 4.3 Perbandingan Perbandingan Evaluasi Model Pada Baja Plat

	PLAT	
	RF Murni	RF LOOCV
Rsquare	0.8842	0.3982
RMSE	0.1848	0.4213
MAE	0.0778	0.1979
MAPE	0.0587	0.4160



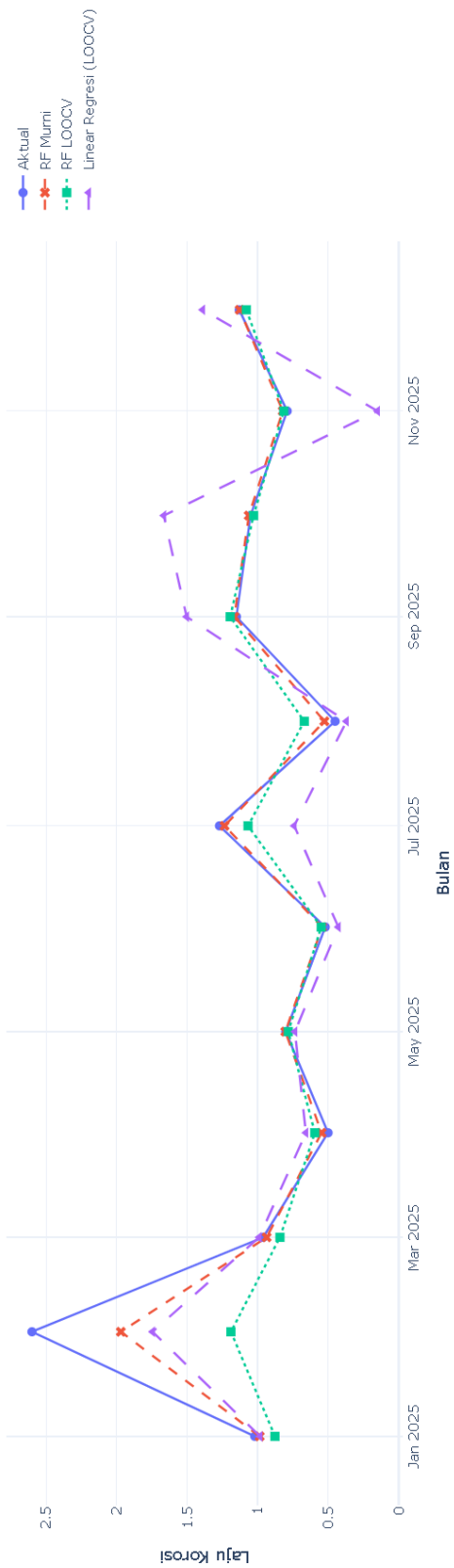
Gambar 4.12 Perbandingan Evaluasi Random Forest Pada Baja Plat

Pada gambar 4.13 terlihat plot Linear Regresi LOOCV yang paling mendekati garis actual artinya model tersebut sangat baik dalam mempelajari data walau dengan data kecil sedangkan RF Murni pada beberapa titik sangat dekat ke garis aktual yang menandakan model overfitting.



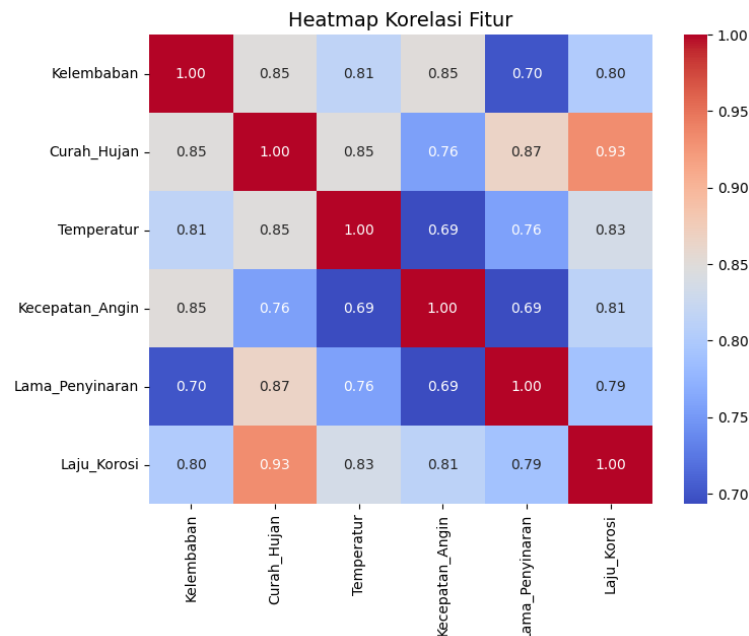
Gambar 4.13 Scatter Plot Prediksi Vs Aktual (Gabungan) Pada Baja Plat

Terlihat pada gambar 4.14 nilai Linear Regresi LOOCV pada beberapa titik jauh dari data aktual hal ini menunjukkan model mulai mengkomparasi data berulang kali sedangkan model yang paling dekat dengan data aktual ialah RF murni hal ini bias terjadi karna model hanya mengkomparasi data sekali saja dengan data yang ada yang menyebabkan model terlalu percaya dengan hasil komparasi data.



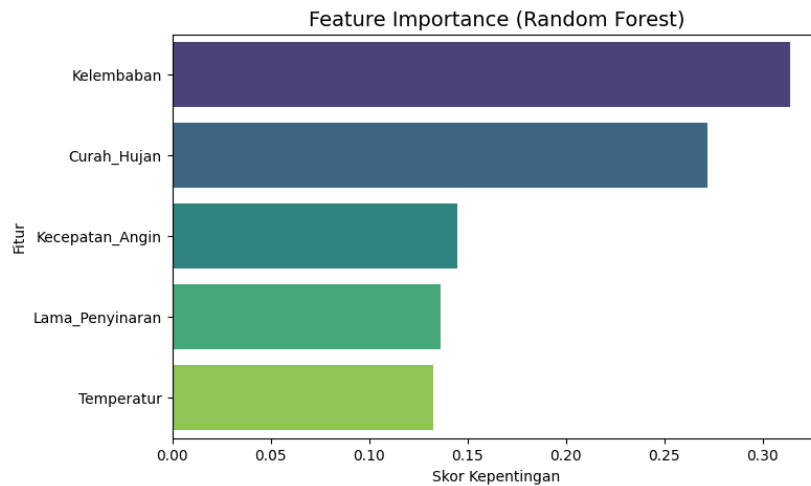
Gambar 4.14 Perbandingan data aktual dengan RF murni dan RF LOOCV baja Plat

Nilai *Heatmap* menunjukkan hubungan antar variabel menunjukkan variable yang memiliki hibungan paling dekat ialah curah hujan dan Laju korosi dengan nilai 0,93 dan yang paling tidak dekat ialah Kecepatan angin dengan lama penyinaran matahari.



Gambar 4.15 Heatmap Korelasi Fitur Baja Plat

Grafik Featur Importance menunjukkan yang paling mempengaruhi laju korosi ialah kelembapan dengan curah hujan dengan rentang nilai 25-30 % karena proses terjadi nya korosi dimulai dengan baja yang bersentuhan dengan air, karena angin membawa air dan temperature mempengaruhi kelembapan sedang kan lama penyinaran matahari tetap berpengaruh karena semakin lama matahari mennyinari material makan akan menurun kan kelembapan material meski hanya sedikit yaitu 10-15 %.



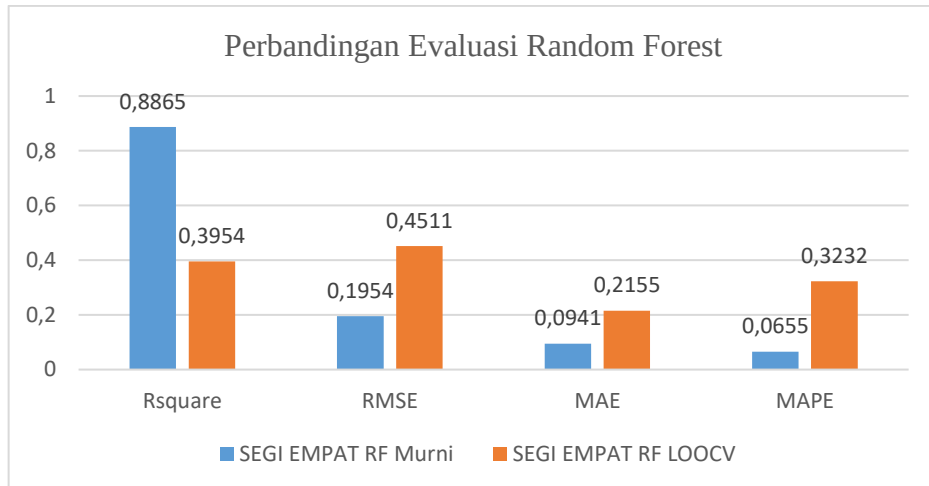
Gambar 4.16 Grafik Feature Importance (Random Forest) Pada Baja Plat

4.2.4 Pada Baja Segi Empat

Model RF tanpa validasi silang memberikan kinerja yang sangat baik, dengan R^2 sebesar 0,8865, yang menunjukkan bahwa 88,65% variasi data dapat dijelaskan oleh model. Nilai error juga sangat kecil RMSE dengan nilai 0,0941 dan MAE 0,0941 sedangkan nilai MAPE adalah 6,55% yang termasuk dalam kategori sangat baik yaitu kurang dari 10%. Hal ini menandakan model mampu memberikan prediksi yang akurat pada data latih. Namun, keakuratan yang terlalu tinggi ini mengindikasikan potensi overfitting, karena model mungkin terlalu menyesuaikan diri terhadap data pelatihan.

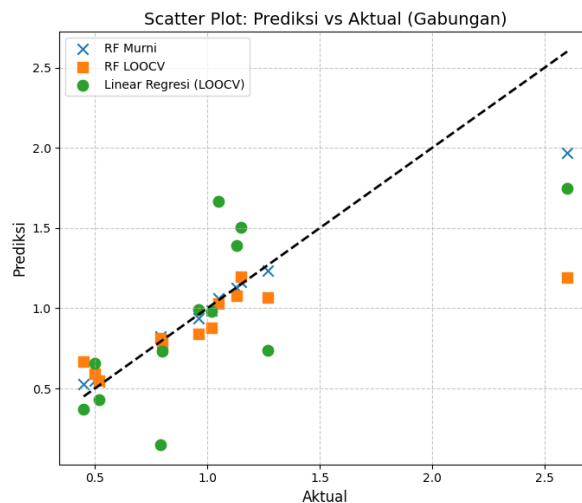
Table 4.4 Perbandingan Evaluasi Model Pada Baja Segi Empat

	SEGI EMPAT	
	RF Murni	RF LOOCV
Rsquare	0.8865	0.3954
RMSE	0.1954	0.4511
MAE	0.0941	0.2155
MAPE	0.0655	0.3232



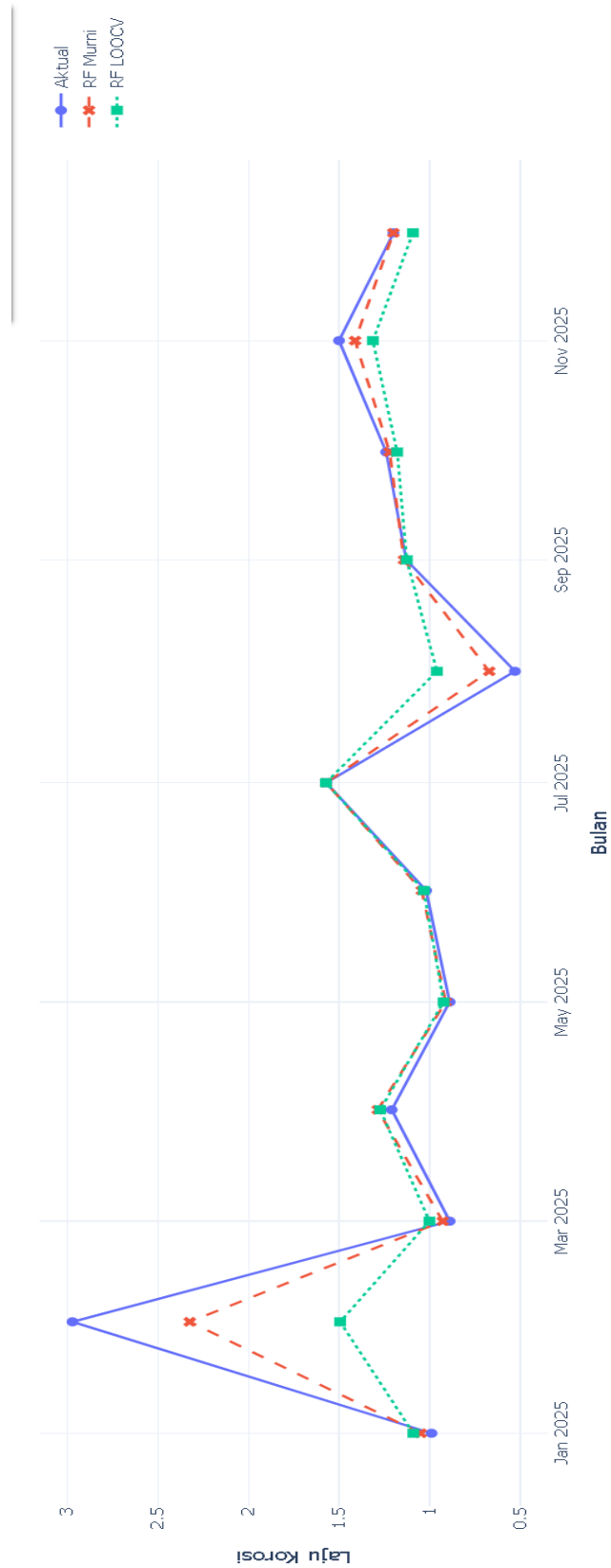
Gambar 4.17 Perbandingan Evaluasi Random Forest Pada Baja Segi Empat

Pada gambar 4.18 terlihat plot Linear Regresi LOOCV yang paling mendekati garis actual artinya model tersebut sangat baik dalam mempelajari data walau dengan data kecil sedangkan RF Murni pada beberapa titik sangat dekat ke garis aktual yang menandakan model overpitting.



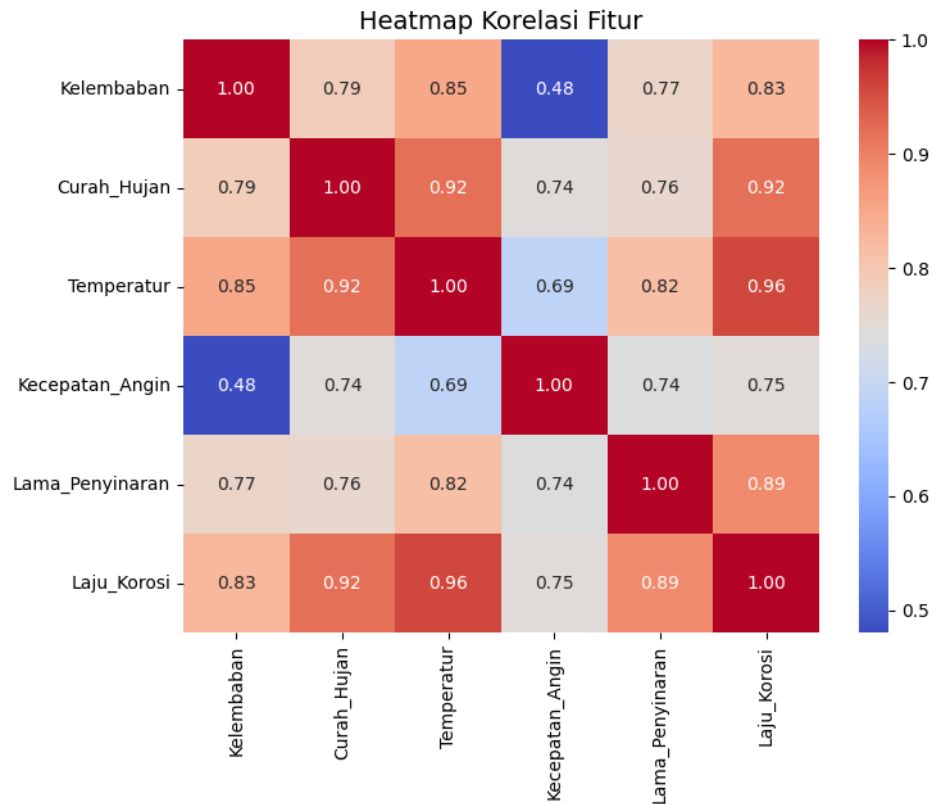
Gambar 4.18 Scatter Plot Prediksi Vs Aktual (Gabungan) Pada Baja Segi Empat

Terlihat pada gambar 4.19 nilai Linear Regresi LOOCV pada beberapa titik jauh dari data aktual hal ini menunjukkan model mulai mengkomparasi data berulang kali sedangkan model yang paling dekat dengan data aktual ialah RF murni hal ini bias terjadi karna model hanya mengkomparasi data sekali saja dengan data yang ada yang menyebabkan model terlalu percaya dengan hasil komparasi data.



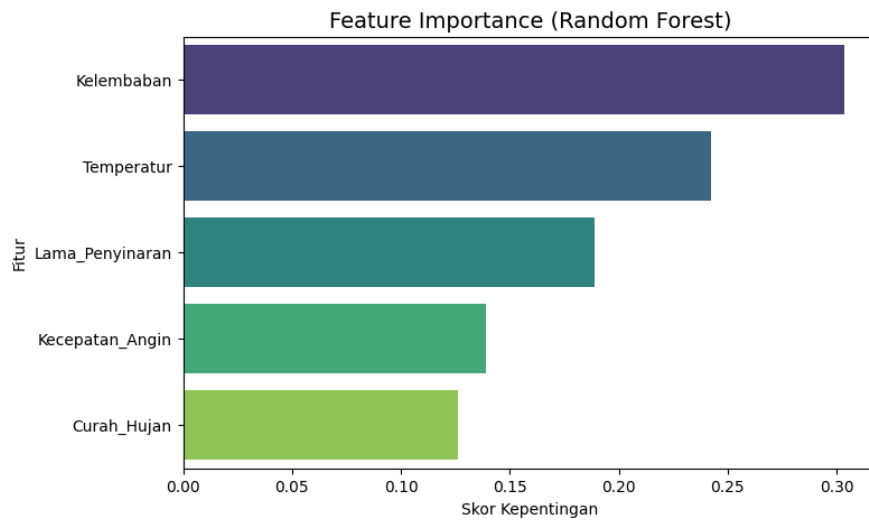
Gambar 4.19 Perbandingan data aktual dengan RF murni dan RF LOOCV baja Segi Empat

Nilai *Heatmap* menunjukkan hubungan antar variabel menunjukkan variable yang memiliki hibungan paling dekat ialah laju korosi dan temperatur dengan nilai 0,96 dan yang paling tidak dekat ialah Kecepatan angin dengan Kelembapan matahari.



Gambar 4.20 Heatmap Korelasi Fitur Segi Empat

Grafik Featur Importance menunjukkan parameter yang paling mempengaruhi laju korosi ialah kelembapan dengan curah hujan dengan rentang nilai 25-30 % karena proses terjadi nya korosi dimulai dengan baja yang bersentuhan dengan air, sedangkan kecepatan angin dan temperature berada pada rentang 15-20 % karena angina membawa air dan temperature mempengaruhi kelembapan sedang kan lama penyinaran matahari tetap berpengaruh meski hanya sedikit yaitu 10-15 % karena semakin lama matahari mennyinari material makan akan menurun kan kelembapan material.



Gambar 4.21 Grafik Feature Importance (Random Forest) Pada Baja Segi Empat

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Laju korosi atmosferik di Kota Medan mengalami variasi selama 12 bulan pengamatan. Peningkatan tertinggi laju korosi terjadi pada bulan kedua, yang dipengaruhi oleh fluktuasi parameter cuaca seperti curah hujan dan kelembapan dengan nilai rata rata 1,16 Mpy yang menunjukkan laju korosi atmosferik kota medan dalam keadaan excellent.
2. Berdasarkan hasil analisis hubungan linier dan *feature importance*, diperoleh bahwa kelembapan udara, curah hujan, dan suhu merupakan parameter cuaca yang paling dominan memengaruhi laju korosi. Sementara itu, kecepatan angin dan lama penyinaran matahari juga berkontribusi, namun dalam skala yang lebih rendah.
3. Model *Machine Learning* yang digunakan dalam penelitian ini mampu memprediksi laju korosi dengan tingkat akurasi yang baik untuk keempat jenis material baja (tulangan, siku, segi empat, dan plat). Meskipun terdapat perbedaan kecil antara nilai aktual dan hasil prediksi, pola laju korosi dapat direpresentasikan dengan optimal oleh model. Penerapan pendekatan *machine learning* dalam studi ini memberikan kontribusi penting dalam memahami perilaku korosi berdasarkan data cuaca aktual. Hal ini mendukung pengambilan keputusan teknis yang lebih adaptif terhadap kondisi lingkungan setempat.

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian ini adalah:

1. Disarankan untuk memperluas variabel input dengan menambahkan faktor lingkungan lain seperti tingkat polusi udara, konsentrasi garam (chloride), dan pH curah hujan, guna meningkatkan akurasi model prediksi laju korosi.

2. Meskipun Regresi linear sudah memberikan hasil yang optimal, disarankan untuk membandingkan model ini dengan algoritma machine learning lain seperti Gradient Boosting, SVR, atau XGBoost guna menemukan model yang paling optimal.
3. Perlu adanya sistem pemantauan jangka panjang terhadap laju korosi di berbagai wilayah di Indonesia agar dapat dibuat peta risiko korosi nasional yang berbasis data cuaca lokal dan prediksi cerdas.

DAFTAR PUSTAKA

- Affandi, A., Huzni, S., Siregar, A. M., Siregar, C. A., Nasution, A. R., Tanjung, I., & Fonna, S. (2020). Analisa Korosi Atmosferik Baja Karbon Rendah Di Kecamatan Medan Belawan. *Multitek Indonesia*, 14(2), 80–88. <https://doi.org/10.24269/mtkind.v14i2.2841>
- Alghifari, M. R., Elfida Moralista, & Isniarno, N. F. (2021). Kajian Korosi Struktur Conveyor C Pada Tambang Batubara PT XYZ Di Kabupaten Bungo, Provinsi Jambi. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 1(1), 47–53. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v1i1.142>
- Alpaydin, E. (2020). Introduction to Machine Learning, Fourth Edition. *The MIT Press*, 4, 1–4. https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=uZnSDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&ots=xOuVtwKntU&sig=3BWSHbEyRmi77S3Zuk4SLXh1MeM&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Budiyono, A. (2010). Pencemaran Udara : Dampak Pencemaran Udara Pada Lingkungan. *Dirgantara*, 2(1), 21–27.
- de Myttenaere, A., Golden, B., Le Grand, B., & Rossi, F. (2016). Mean Absolute Percentage Error for regression models. *Neurocomputing*, 192, 38–48. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2015.12.114>
- Hodson, T. O. (2022). Root-mean-square error (RMSE) or mean absolute error (MAE): when to use them or not. *Geoscientific Model Development*, 15(14), 5481–5487. <https://doi.org/10.5194/gmd-15-5481-2022>
- Hyndman, R. J., & Koehler, A. B. (2005). and Business Statistics Another Look at Measures of Forecast Accuracy Another look at measures of forecast accuracy. *International Journal of Forecasting*, 22(November), 679–688. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169207006000239%5Cnhttp://core.ac.uk/download/pdf/6340761.pdf>
- Jin, Z., Shang, J., Zhu, Q., Ling, C., Xie, W., & Qiang, B. (2020). RFRSF: Employee Turnover Prediction Based on Random Forests and Survival Analysis. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 12343 LNCS, 503–515. https://doi.org/10.1007/978-3-030-62008-0_35

- Kusuma, B. H., & Pranowo, W. S. (2024). *Pengaruh kondisi oseanografi terhadap laju korosi plat baja ki-a di perairan teluk banten pada musim peralihan ii*. 10(2), 91–104.
- Lin, H., & Li, M. (2023). Deep Learning. *Practitioner's Guide to Data Science*, 259–336. <https://doi.org/10.1201/9781351132916-12>
- Nova, S., & Misbah, N. (2012). Analisis Pengaruh Salinitas dan Suhu Air Laut Terhadap Laju Korosi Baja A36 pada Pengelasan SMAW. *Jurnal Teknik Its*, 1, 2301–9271.
- Rahayu, M., Luthfiarta, A., Cahyaningrum, L., & Azzahra, A. N. (2024). Pengaruh Oversampling dan Cross Validation Pada Model Machine Learning Untuk Sentimen Analisis Kebijakan Luaran Kelulusan Mahasiswa. *Jurnal Media Informatika Budidarma*, 8(1), 163. <https://doi.org/10.30865/mib.v8i1.7012>
- Rahmawan, N. A. (2024). *Evaluation of Reinforcing Steel Microstructure on Mechanical Properties*.
- Rudi, A., Fonna, S., & Huzni, dan S. (2019). *Atmospheric Corrosion Analysis On Carbon Steel Low Profile Strip and Reinforcing steel in Industrial Area*. 9(February), 17.
- Setyahandana, B., & Christianto, Y. E. (2017). Pengaruh Hard Chrome Plating pada Peningkatan Kekerasan Baja Komponen Kincir. *Media Teknika Jurnal Teknologi*, 12(1), 26–35.
- Soedyafa, D. A., Rochmawati, L., & Sonhaji, I. (2020). Koefisien Korelasi (R) Dan Koefisien Determinasi (R²). *Jurnal Penelitian Politeknik Penerbangan Surabaya Edisi XXX*, 5(4), 289–296.
- Soto-Rivas, K., Richter, D., & Escauriaza, C. (2019). A formulation of the thrust coefficient for representing finite-sized farms of tidal energy converters. *Energies*, 12(20). <https://doi.org/10.3390/en12203861>
- Susanto, H., Supardi, J., & Ali, S. (2020). Tingkat Laju Korosi Atmosferik Baja Konstruksi di Lingkungan Pabrik Kelapa Sawit. *Jurnal Mekanova: Mekanikal, Inovasi Dan Teknologi*, 6(2), 106. <https://doi.org/10.35308/jmkn.v6i2.2756>
- Syahril, M. (2006). Patah Nose Landing Gear Pesawat Terbang. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 71–77.
- Ut, T. D. J., Tasiopoulou, E., & Ucy, Z. Z. (2014). *Go-Lab Global Online Science*

Labs for Inquiry Learning at Validation and evaluation plan and evaluation matrix Editors. 317601.

- Utomo, B. (2012). Jenis Korosi Dan Penanggulangannya. *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Kelautan*, 6(2), 138–141. <https://doi.org/10.14710/kpl.v6i2.2731>
- Willmott, C. J., & Matsuura, K. (2005). Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Climate Research*, 30(1), 79–82. <https://doi.org/10.3354/cr030079>
- Zhi, Y., Jin, Z., Lu, L., Yang, T., Zhou, D., Pei, Z., Wu, D., Fu, D., Zhang, D., & Li, X. (2021). Improving atmospheric corrosion prediction through key environmental factor identification by random forest-based model. *Corrosion Science*, 178. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2020.109084>
- Zulfri, M., Ali, N., Fhonna, S., Cut, B., Huzni, S., Mulyati, S., Artikel, R., & Kunci, K. (2020). PEMETAAN LAJU KOROSI ATMOSFERIK BAJA KONSTRUKSI DI INDUSTRI PABRIK KELAPA SAWIT; (Studi Kasus di PT Ensem Sawita). *Universitas Samudra, Meurandeh-Langsa*, 5(1), 15–21. www.teknik.unsam.ac.id



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

Unggul | Cerdas | Terpercaya
Berkas yang telah diproses dan
dikirim ke email Anda

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK

UMSU Terakreditasi Unggul Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 174/SK/BN-PT/Ak-Pg/PT/III/2024
Pusat Administrasi: Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - 66224567 Fax. (061) 6625474 - 6631003
<https://fatek.umsu.ac.id> fatek@umsu.ac.id [umsuamedan](#) [umsuamedan](#) [umsuamedan](#) [umsuamedan](#)

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHJUKAN
DOSEN PEMBIMBING**

Nomor : 2113/IL3AU/UMSU-07/E/2024

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Mesin Pada Tanggal 13 November 2024 dengan ini Menetapkan :

Nama : RAIHAN SYAHPUTRA NST
Npm : 2107230122
Program Studi : TEKNIK MESIN
Semester : 7 (Tujuh)
Judul Tugas Akhir : PENGARUH PARAMETER CUACA LOKAL TERHADAP LAJU KOROSI ATMOSFERIK DI LINGKUNGAN KOTA MEDAN DENGAN PENDEKATAN MACHINE LEARNING .

Pembimbing : IQBAL TANJUNG ST.MT

Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

3. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen Pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik Mesin
4. Menulis Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dan tanggal yang telah ditetapkan.

Demikian surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya

Medan, 11 Jumadil Awal 1446 H
13 November 2024 M



Muhammad Afriansury Siregar, ST.,MT
NIDN: 0101017202



LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Judul : Pengaruh Parameter Cuaca Lokal Terhadap Laju Korosi Atmosferik Dilingkungan Kota Medan Dengan Pendekatan *Machine Learning*
 Nama : Raihan Syahputra Nst
 NPM : 2107230122
 Dosen Pembimbing : Iqbal Tanjung, S.T., M.T.

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1	Senin 11/08 2025	Perbaiki Penulisan BAB 4	f
2	Kamis 14/08 2025	Perbaiki hasil pengolahan data	f
3	Jumat 29/08 2025	Perbaiki kesimpulan & Saran	f
4	Rabu 03/09 2025	Tambahkan daftar Pustaka	f

ACC sempu

ACC Fendhal

ACC Sidiq

Iqbal

Dosen Pembimbing

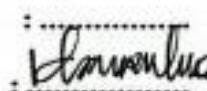
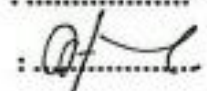
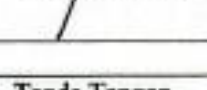
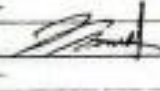
Iqbal

Iqbal Tanjung, S.T., M.T.

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

Peserta seminar

Nama : Raihan Syahputra Nst
NPM : 2107230122
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Parameter Cuaca Lokal Terhadap Laju Korosi Atmosferik Di Lingkungan Kota Medan Dengan Pendekatan Maching Learning

DAFTAR HADIR			TANDA TANGAN
Pembimbing – I	: Iqbal Tanjung ST.MT	:	
Pemanding – I	: Dr .Khairul Umurani ST.MT	:	
Pemanding – II	: Affandi ST.MT	:	
No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1			
2	2007230104	Dimas Surya Prakasa	
3	1007230072	Dicky Farhan	
4	2107230116	Muhammad Aulian	
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Medan 28 Safar 1447 H
22 Agustus 2025 M

Ketua Prodi. T. Mesin



Chandra A Siregar ST.MT

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

Nama : Raihan Syahputra Nst
NPM : 2107230122
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Parameter Cuaca Lokal Terhadap Laju Korosi
Atmosferik Di Lingkungan Kota Medan Dengan Pendekatan
Maching Learning

Dosen Pembanding – I : Dr .Khairul Umurani ST.MT
Dosen Pembanding – II : Affandi ST.MT
Dosen Pembimbing – I : Iqbal Tanjung ST.MT

KEPUTUSAN

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

.....
.....
.....*Ubah Catatan di buku Skripsi*.....
.....

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

.....
.....
.....
.....

Medan 28 Safar 1447 H
22 Agustus 2025 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Mesin


Chandra A Siregar ST.MT

Dosen Pembanding- II


Affandi ST.MT

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



A. DATA PRIBADI

Nama : Raihan Syahputra Nasution
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 25 Juni 2003
Alamat : Jl.Hassym Tahir No.9 Desa Batang Kuis
Agama : Islam
E-mail : sraihan131@gmail.com
No. Handphone : 089516556362

B. RIWAYAT PENDIDIKAN

- | | |
|--|-----------------|
| 1. SD NEGERI 101865 | Tahun 2009-2015 |
| 2. SMP NEGERI 01 | Tahun 2015-2018 |
| 3. SMK SWASTA TELADAN MEDAN | Tahun 2018-2021 |
| 4. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara | Tahun 2021-2025 |