

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1	10 Negara yang Kehilangan Hutan Primer Tropis 2022 dan 2023	2
Gambar 1. 2	Data Analisis Global Forest Review	3
Gambar 1. 3	Peta Tutupan Lahan di Wilayah Bandung [21].....	5
Gambar 1. 4	Data Total Karbon Periode 2014-2023 [20]	6
Gambar 1. 5	Luas per Kelas Tutupan Lahan Periode 2014-2023 [20].....	6
Gambar 1. 6	Hasil Analisis Statistik Karbon Organik Tanah [23].....	8
Gambar 1. 7	Soil Organic Carbon (SOC) content for Different Land Uses [23].....	8
Gambar 1. 8	Hasil Analisa Karbon Tanah di Lahan Alang-Alang.....	9
Gambar 1. 9	Hasil Analisa Karbon Tanah di Lahan Terbuka.....	9
Gambar 1.10	Hubungan pH dengan SOC.....	13
Gambar 1. 11	Pengaruh Pemberian Perlakuan terhadap Kadar Air dan C-Organic	14
Gambar 1. 12	Kadar Air dan C-Organik Tanah pada Sampel Tanah.....	14
Gambar 1.13	Data Hasil Perhitungan Kadar Air dan C-Organik.....	14
Gambar 1. 14	Hubungan Suhu terhadap SOC.....	15
Gambar 1.15	Kadar C-Organik, bahan organik dan karakteristik sampel.....	16
Gambar 1.16	Hubungan NPK terhadap SOC.....	16
Gambar 1. 17	Grafik Hubungan Stok Karbon dengan Suhu Permukaan Tanah.....	17
Gambar 1.18	Diagaram Blok Pengamatan Kadar Soil Organic Carbon (SOC)	18
Gambar 2. 1	Cara Kerja Sensor terhadap Parameter	35
Gambar 2. 2	Titik Sumber Arus pada Permukaan dari Medium Homogen.....	36
Gambar 2. 3	Susunan Elektroda Konfigurasi Wenner.....	37
Gambar 2. 4	Jenis Kabel Sensor.....	38
Gambar 2. 5	Cara Kerja Sensor pH	39
Gambar 2. 6	Cara Kerja Sensor Konduktivitas	40
Gambar 2. 7	Cara Kerja Sensor <i>Moisture</i>	40
Gambar 2. 8	Cara Kerja Temperature tanah	41
Gambar 2. 9	Cara Kerja Temperature lingkungan	42
Gambar 2. 10	Cara Kerja Sensor NPK	42
Gambar 2. 11	Pinout ESP32 DevKitC V4	43
Gambar 2. 12	Komponen RS485.....	44
Gambar 2. 13	Cara Kerja LoRa.....	44

Gambar 3. 1 Sketsa Shelter 2D alat ukur kadar SOC	50
Gambar 3. 2 Shelter 3D Alat Ukur Kadar SOC	51
Gambar 3. 3 Shelter 2D Alat Ukur Kadar SOC	51
Gambar 3. 4 (a) Area pengukuran di Universitas Telkom (A-B-C-D-E-F-G-A); (b) Hasil Klasifikasi Citra Landsat 8 pada kawasan Telkom University	52
Gambar 3. 5 Titik Lokasi Pengambilan Sampel Tanah di Universitas Telkom.....	53
Gambar 3. 6 Flowchart Sistem.....	56
Gambar 3. 7 Rencana Desain Sistem.....	56
Gambar 3. 8 <i>Flowchart</i> Kalibrasi Sensor <i>Temperature</i> tanah	59
Gambar 3. 9 Flowchart Kalibrasi Sensor Moisture	59
Gambar 3. 10 Flowchart Kalibrasi Sensor NPK	56
Gambar 3. 11 Flowchart Kalibrasi Sensor pH	56
Gambar 3. 12 Flowchart Kalibrasi Sensor EC	57
Gambar 3. 13 Flowchart Kalibrasi Sensor Temperature lingkungan	57
Gambar 3.14 Validasi Data	61
Gambar 3.15 Flowchart Validasi NPK	62
Gambar 3.16 Flowchart Validasi Konduktivitas.....	62
Gambar 3.17 Flowchart Validasi pH.....	62
Gambar 3. 18 Flowchart Validasi Temp Tanah	62
Gambar 3.19 Flowchart Validasi Moisture.....	63
Gambar 3.20 Flowchart Validasi Temp Lingkungan	63
Gambar 3. 21 Neuron pada Artificial Neural Network	67
Gambar 3.22 Neuron pada CNN	68
Gambar 3.23 Struktur pada RNN	68
Gambar 3.24 Struktur pada LSTM.....	69
Gambar 3.25 Struktur Proses CNN-LSTM.....	70
Gambar 3.26 Alur prediksi CNN-LSTM	72
Gambar 3. 27 Grafik Random Forest	73
Gambar 4. 1 Implementasi Sistem & Pemasangan Komponen	79
Gambar 4. 2 Implementasi Pemasangan Sensor	80
Gambar 4. 3 Layout PCB.....	81
Gambar 4. 8 Grafik Regresi Linear sensor pH.....	89
Gambar 4. 9 Grafik Perubahan Nilai Dua Arah Sensor EC siklus 1	90
Gambar 4. 10 Grafik Perubahan Nilai Dua Arah Sensor EC siklus 2	90

Gambar 4. 11	Grafik Perubahan Nilai Dua Arah Sensor EC siklus 3	91
Gambar 4. 12	Grafik Regresi Linear sensor EC.....	92
Gambar 4. 13	Grafik Perubahana Nilai Dua Arah Sensor Moisture siklus 1	93
Gambar 4. 14	Grafik Perubahana Nilai Dua Arah Sensor Moisture siklus 2	93
Gambar 4. 15	Grafik Perubahana Nilai Dua Arah Sensor Moisture siklus 3	93
Gambar 4. 16	Grafik Regresi Linear sensor Moisture.....	94
Gambar 4. 17	Grafik Regresi Linear sensor Temperature tanah.....	95
Gambar 4. 18	Grafik Perubahan Nilai Dua Arah Sensor NPK konsentrasi N siklus 1 ..	96
Gambar 4. 19	Grafik Perubahan Nilai Dua Arah Sensor NPK konsentrasi N siklus 2 ..	96
Gambar 4. 20	Grafik Perubahan Nilai Dua Arah Sensor NPK konsentrasi N siklus 3 ..	96
Gambar 4. 21	Grafik Regresi Linear Sensor NPK konsentrasi N	97
Gambar 4. 22	Grafik Perubahan Nilai Dua Arah Sensor NPK konsentrasi P siklus 1 ...	98
Gambar 4. 23	Grafik Perubahan Nilai Dua Arah Sensor NPK konsentrasi P siklus 2 ...	98
Gambar 4. 24	Grafik Perubahan Nilai Dua Arah Sensor NPK konsentrasi P siklus 3 ...	99
Gambar 4. 25	Grafik Regresi Linear Sensor NPK konsentrasi P.....	100
Gambar 4. 26	Grafik Perbandingan Nilai Dua Arah Sensor NPK konsentrasi K siklus 1	101
Gambar 4. 27	Grafik Perbandingan Nilai Dua Arah Sensor NPK konsentrasi K siklus 2	101
Gambar 4. 28	Grafik Perbandingan Nilai Dua Arah Sensor NPK konsentrasi K siklus 3	101
Gambar 4. 29	Grafik Regresi Linear Sensor NPK konsentrasi K	102
Gambar 4. 30	Grafik Regresi Linear Sensor Temperature lingkungan	103
Gambar 4. 31	Alur Validasi Data 1	106
Gambar 4. 32	Alur Validasi Data 2	107
Gambar 4. 33	Flowchart Validasi Data	108
Gambar 4. 34	Perhitungan Otomatis	111
Gambar 4. 35	Perhitungan Otomatis Range.....	112
Gambar 4. 36	Hasil Perhitungan Otomatis Range.....	112
Gambar 4. 37	Perhitungan Otomatis Checking Outlier N	113
Gambar 4. 38	Perhitungan Otomatis Checking Outlier P.....	114
Gambar 4. 39	Perhitungan Otomatis Checking Outlier K	114
Gambar 4. 40	Hasil Pembacaan Sensor Setiap Dua Menit	116
Gambar 4. 41	Implementasi Model Random Forest Pada Data Rata-rata Harian	117

Gambar 4. 42	Implementasi Model Random Forest Pada Data Rata-rata Bulanan	118
Gambar 4. 43	Implementasi Model ANN Pada Data Rata-rata Harian.....	119
Gambar 4. 44	Validasi dan Training Model ANN Pada Data Rata-rata Harian	120
Gambar 4. 45	Implementasi Model ANN Pada Data Rata-rata Bulanan	121
Gambar 4. 46	Validasi dan Training Model ANN Pada Data Rata-rata Bulanan.....	121
Gambar 4. 47	Nilai N Imputasi Bulan Januari - April Pada Data Bulanan	123
Gambar 4. 48	N Imputasi Januari – April Data Perhari.....	124
Gambar 4. 49	Hyperparameter dan 3Fold Cross Validation Januari - April Data Bulanan	125
Gambar 4. 50	Hyperparameter dan 3Fold Cross Validation Jan- April Data Perhari..	125
Gambar 4. 51	Cross Validation K-Fold Bulan Jan-Apr Data Perhari	126
Gambar 4. 52	LOOCV Dengan Linear Regression Perhari.....	127
Gambar 4. 53	Random Forest Training dan Testing Seluruh Data Perhari	128
Gambar 4. 54	Random Forest Training dan Testing Seluruh Data Bulanan	129
Gambar 4. 55	Korelasi Model Random Forest Pada Data Rata-rata Harian	131
Gambar 4. 56	Korelasi Model Random Forest Pada Data Rata-rata Bulanan	132
Gambar 4. 57	Korelasi Model ANN Pada Data Rata-rata Harian.....	133
Gambar 4. 58	Ilustrasi Proses Random Forest	135
Gambar 4. 59	Evaluasi Kinerja Model Random Forest Dengan LOOCV	137
Gambar 4. 60	Evaluasi Kinerja Model ANN Dengan Earlystopping System	138
Gambar 4. 61	Visualisasi Stasiun Ukur Pada Website	141
Gambar 4. 62	Visualisasi Data Stasiun Ukur SOCMS Pada Website.....	142
Gambar 4. 63	Visualisasi Data Forecasting SOCMS Pada Website	143
Gambar 4. 64	Visualisasi Dashboard SOCMS Pada Website.....	143
Gambar 4. 65	Hasil Data Pra-pengujianWebsite 30 Mei 2025	146
Gambar 4. 66	Alat Ukur Sistem Kadar Soil Organic Carbon (SOC).....	148
Gambar 4. 67	Alat Ukur Sistem Kadar SOC	149
Gambar 4. 68	Tampilan Main Website Biru-Langit SOC	149
Gambar 4. 69	Tampilan Main Forecasting	149
Gambar 4. 70	Tampilan Monitoring System.....	150
Gambar 5. 1	Perbandingan Data Raw vs Valid (N) Mei	156
Gambar 5. 2	Perbandingan Data Raw vs Valid (P) Maret - Mei.....	156
Gambar 5. 3	Perbandingan Data Raw vs Valid (K) Maret - Mei.....	156
Gambar 5. 4	Perbandingan Data Raw vs Valid (EC) Maret - Mei.....	157

Gambar 5. 5 Perbandingan Data Raw vs Valid (pH) Maret - Mei.....	157
Gambar 5. 6 Perbandingan Data Raw vs Valid (Moisture) Maret - Mei.....	157
Gambar 5. 7 Perbandingan Data Raw vs Valid (Temperature Tanah) Maret - Mei	158
Gambar 5. 8 Perbandingan Data Raw vs Valid (Temperature Lingkungan) Maret - Mei	158
Gambar 5. 9 API Model Random Forest Bulan Mei.....	164
Gambar 5. 10 Prediksi Random Forest Awal Bulan Juni	164
Gambar 5. 11 Data Raw vs Valid Maret - Mei	166
Gambar 5.12 12 Kerusakan Alat	167
Gambar 5.13 13 Hasil Uji Performa Website 14 Juni 2025.....	172