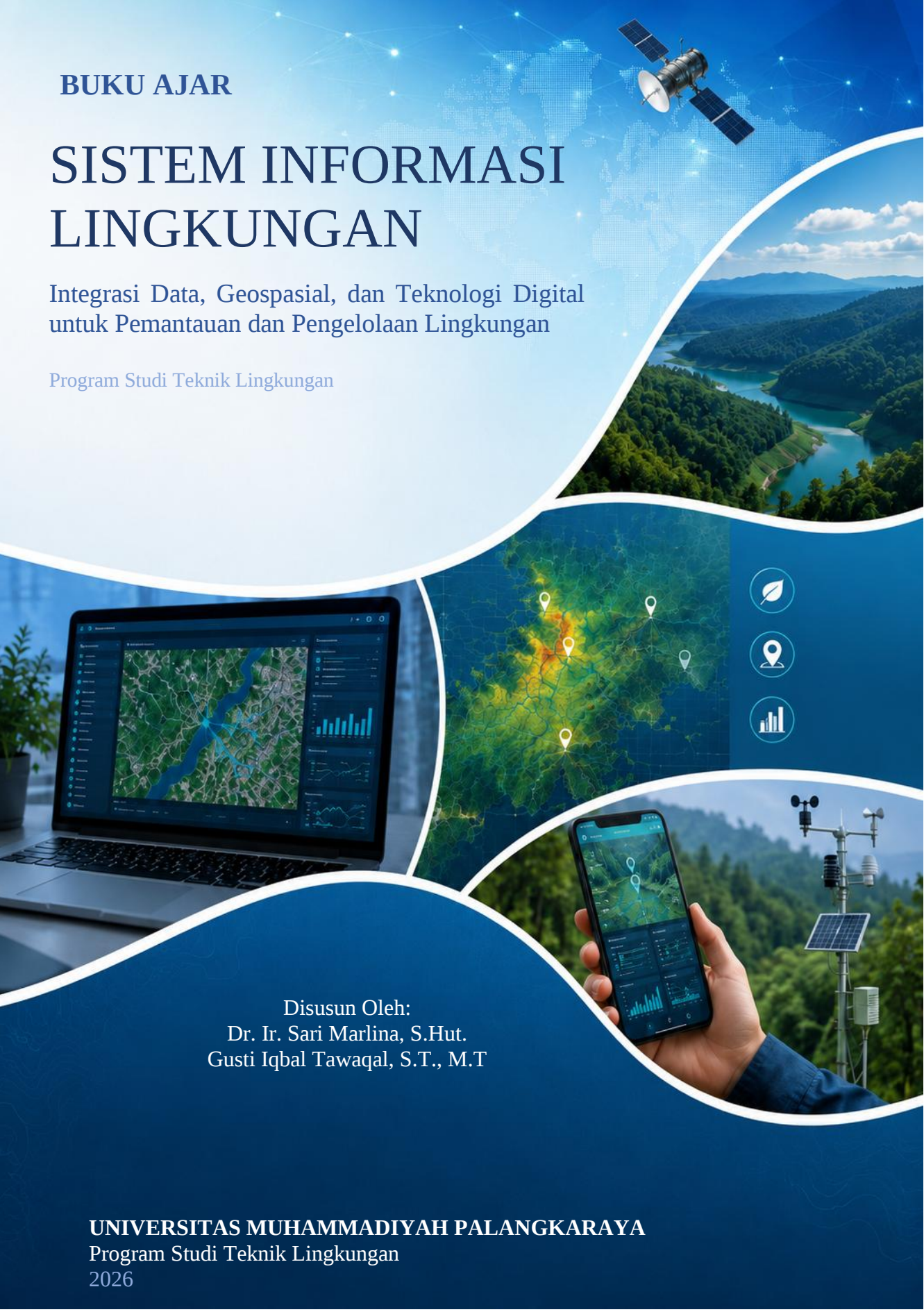


BUKU AJAR

SISTEM INFORMASI LINGKUNGAN

Integrasi Data, Geospasial, dan Teknologi Digital
untuk Pemantauan dan Pengelolaan Lingkungan

Program Studi Teknik Lingkungan



Disusun Oleh:
Dr. Ir. Sari Marlina, S.Hut.
Gusti Iqbal Tawaqal, S.T., M.T

BUKU AJAR SISTEM INFORMASI LINGKUNGAN

Integrasi Data, Geospasial, dan Teknologi Digital untuk Pemantauan dan Pengelolaan Lingkungan

Penulis : Dr. Ir. Sari Marlina, S.Hut. dan Gusti Iqbal Tawaqal, S.T., M.T

Editor : Dr. Ir. Sari Marlina, S.Hut.

Desain Sampul & Tata Letak : Dr. Ir. Sari Marlina, S.Hut.

Diterbitkan oleh:

UMPR

KATA PENGANTAR

Perkembangan teknologi informasi dan geospasial telah mengubah secara mendasar cara kita memantau dan mengelola lingkungan hidup. Buku ajar Sistem Informasi Lingkungan ini hadir untuk menjembatani kompetensi teknis pengelolaan lingkungan yang selama ini menjadi inti kurikulum Teknik Lingkungan dengan kompetensi digital yang semakin dibutuhkan di dunia kerja, mulai dari penguasaan Sistem Informasi Geografis, penginderaan jauh, hingga teknologi sensor dan kecerdasan buatan.

Kami menyambut baik penyusunan buku ajar ini sebagai salah satu upaya memperkuat mutu pembelajaran pada Program Studi Teknik Lingkungan, khususnya dengan penekanan pada konteks Kalimantan Tengah yang menghadapi persoalan lingkungan kompleks, mulai dari kebakaran lahan gambut hingga pemantauan Daerah Aliran Sungai Kahayan, yang keseluruhannya membutuhkan dukungan sistem informasi yang mumpuni.

Semoga buku ajar ini menjadi rujukan yang bermanfaat bagi mahasiswa dan turut mendorong penelitian serta inovasi lebih lanjut di bidang sistem informasi lingkungan, khususnya di Universitas Muhammadiyah Palangkaraya.

Palangka Raya, Juli 2026

Ketua Program Studi

PRAKATA PENULIS

Buku ajar ini disusun sebagai bahan ajar utama mata kuliah Sistem Informasi Lingkungan pada Program Studi Teknik Lingkungan. Gagasan penyusunannya berangkat dari pengamatan bahwa mahasiswa Teknik Lingkungan semakin dituntut menguasai keterampilan digital, tidak hanya kompetensi teknis konvensional, mengingat pengelolaan lingkungan modern sangat bergantung pada data yang terkelola baik, dianalisis dengan tepat, dan disajikan dengan cara yang mudah dipahami pengambil kebijakan.

Materi disusun berjenjang dalam delapan belas bab, dimulai dari konsep dasar data dan informasi lingkungan, dilanjutkan dengan teknologi akuisisi data (SIG, penginderaan jauh, GPS, sensor IoT), teknik pengolahan dan analisis data, hingga aplikasi lanjutan seperti pemodelan, sistem pendukung keputusan, big data, kecerdasan buatan, dan konsep smart environment. Setiap bab dilengkapi tabel, diagram alur kerja, placeholder ilustrasi, studi kasus, serta praktikum yang dirancang agar mahasiswa memperoleh pemahaman konseptual sekaligus keterampilan aplikatif.

Penulis menghaturkan penghargaan kepada seluruh pihak yang telah mendukung penyusunan buku ini, serta menyadari bahwa penyempurnaan akan terus diperlukan seiring perkembangan teknologi yang demikian cepat di bidang ini. Masukan dari sejawat dosen maupun mahasiswa sangat kami harapkan demi perbaikan pada edisi mendatang.

Palangka Raya, Juli 2026

Penulis

CAPAIAN PEMBELAJARAN MATA KULIAH (CPMK)

Setelah menyelesaikan mata kuliah Sistem Informasi Lingkungan, mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan diharapkan memiliki capaian pembelajaran sebagai berikut:

CPMK-1: Mampu menjelaskan konsep data, informasi, dan komponen Sistem Informasi Lingkungan.

CPMK-2: Mampu merancang basis data lingkungan sederhana, baik relasional maupun spasial.

CPMK-3: Mampu mengoperasikan Sistem Informasi Geografis dan penginderaan jauh untuk analisis lingkungan.

CPMK-4: Mampu melakukan survei lapangan menggunakan GPS serta akuisisi data lingkungan yang valid.

CPMK-5: Mampu menjelaskan dan merancang konsep sistem sensor/IoT untuk monitoring lingkungan.

CPMK-6: Mampu menerapkan teknik analisis, visualisasi, dan penyajian dashboard data lingkungan.

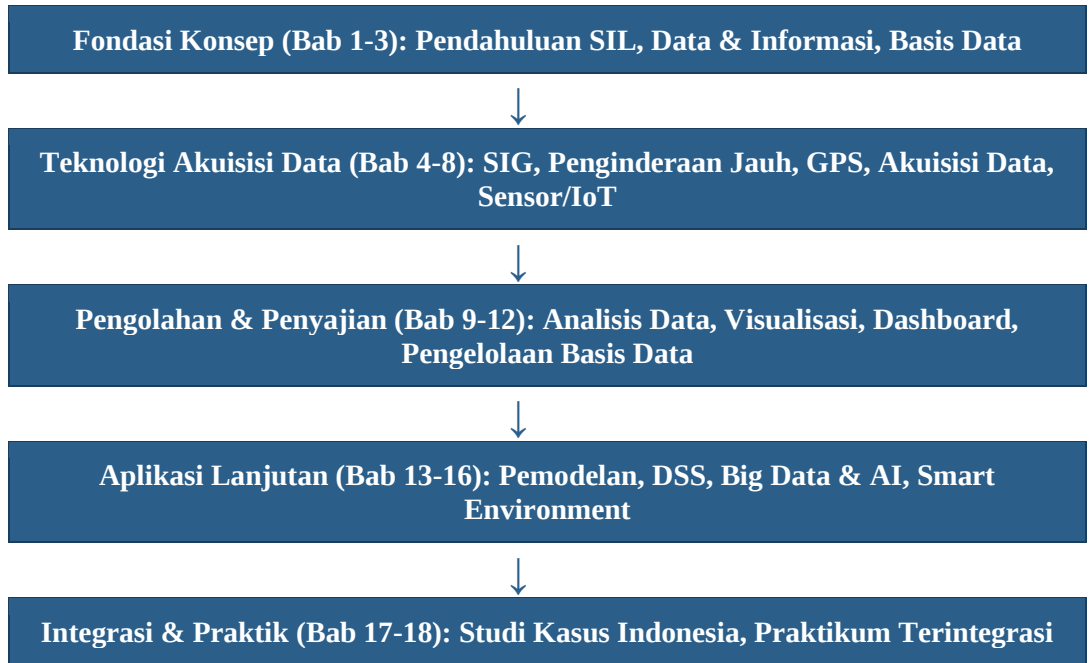
CPMK-7: Mampu menjelaskan konsep pemodelan, sistem pendukung keputusan, big data, AI, dan smart environment untuk pengelolaan lingkungan.

CPMK-8: Mampu menganalisis studi kasus penerapan SIL di Indonesia dan melaksanakan praktikum terintegrasi.

Setiap bab dalam buku ini memuat Sub-CPMK yang lebih spesifik, mengarahkan capaian pembelajaran CPMK di atas ke dalam pokok bahasan masing-masing bab.

PETA KONSEP MATA KULIAH

Mata kuliah ini disusun dalam empat kelompok besar yang saling berkesinambungan, sebagaimana digambarkan pada diagram berikut.



Sumber: diolah oleh penulis sebagai peta konsep pembelajaran mata kuliah.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	3
PRAKATA PENULIS.....	4
CAPAIAN PEMBELAJARAN MATA KULIAH (CPMK)	5
PETA KONSEP MATA KULIAH	6
DAFTAR ISI	7
DAFTAR GAMBAR	12
DAFTAR TABEL	13
DAFTAR SINGKATAN.....	14
PENDAHULUAN.....	15
BAB 1.....	16
PENDAHULUAN SISTEM INFORMASI LINGKUNGAN	16
1.1 Apa Sebenarnya yang Dimaksud dengan Sistem Informasi Lingkungan	16
1.2 Kedudukan SIL dalam Disiplin Teknik Lingkungan.....	17
1.3 Sejarah Singkat Perkembangan SIL	17
1.4 Komponen Utama Sistem Informasi Lingkungan	18
1.5 Manfaat dan Tantangan Penerapan SIL di Indonesia	19
1.6 Peta Konsep dan Sistematika Buku	20
BAB 2.....	23
KONSEP DATA DAN INFORMASI LINGKUNGAN.....	23
2.1 Data, Informasi, dan Pengetahuan: Tiga Hal yang Sering Tertukar	23
2.2 Klasifikasi Data Lingkungan.....	23
2.3 Karakteristik Khas Data Lingkungan	24
2.4 Siklus Informasi Lingkungan	25
2.5 Kualitas Data dan Pentingnya Metadata.....	26
2.6 Studi Kasus: Pengelolaan Data Kualitas Udara Kota Palangka Raya	26
BAB 3.....	29
BASIS DATA LINGKUNGAN	29
3.1 Mengapa Data Lingkungan Perlu Basis Data, Bukan Sekadar Spreadsheet.....	29
3.2 Model Data Relasional	29
3.3 Merancang Diagram Hubungan Entitas (ERD) Sederhana	30
3.4 Basis Data Spasial	31
3.5 Sistem Manajemen Basis Data yang Umum Digunakan	31
3.6 Praktikum: Merancang Tabel Basis Data Kualitas Air Sederhana	32
BAB 4.....	34
SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS (SIG)	34

4.1 Konsep Dasar SIG	34
4.2 Komponen SIG	34
4.3 Model Data Vektor dan Raster	35
4.4 Analisis Spasial Dasar dalam SIG	35
4.5 Perangkat Lunak SIG: Pilihan dan Pertimbangan	36
4.6 Studi Kasus: Pemetaan Kawasan Hidrologis DAS Kahayan.....	37
4.7 Praktikum: Input Data dan Pembuatan Peta Sederhana di QGIS	38
BAB 5.....	40
PENGINDERAAN JAUH	40
5.1 Konsep Dasar Penginderaan Jauh.....	40
5.2 Spektrum Elektromagnetik dan Interaksinya dengan Permukaan Bumi	40
5.3 Jenis-Jenis Citra Satelit yang Umum Digunakan	41
5.4 Resolusi Citra: Spasial, Temporal, Spektral, dan Radiometrik	42
5.5 Interpretasi Citra untuk Pemantauan Lingkungan	42
5.6 Studi Kasus: Deteksi Deforestasi dan Karhutla di Kalimantan Tengah	43
5.7 Praktikum: Eksplorasi Citra Satelit Menggunakan Google Earth Engine	44
BAB 6.....	46
GPS DAN SURVEI LAPANGAN	46
6.1 Konsep Dasar GNSS dan GPS	46
6.2 Jenis-Jenis Receiver GPS	46
6.3 Metode Survei GPS untuk Data Lingkungan	47
6.4 Ketelitian dan Sumber Kesalahan GPS	47
6.5 Integrasi Data GPS dengan SIG	48
6.6 Praktikum: Pengambilan Titik Koordinat Lapangan dan Transfer ke QGIS	48
BAB 7.....	51
AKUISISI DATA LINGKUNGAN.....	51
7.1 Ragam Sumber Data Lingkungan.....	51
7.2 Teknik Pengumpulan Data Lapangan.....	51
7.3 Standar dan Protokol Pengambilan Sampel.....	52
7.4 Memanfaatkan Data dari Instansi Resmi	52
7.5 Praktikum: Menyusun Formulir Akuisisi Data Lapangan	53
BAB 8.....	55
SENSOR DAN INTERNET OF THINGS (IoT).....	55
UNTUK MONITORING LINGKUNGAN	55
8.1 Konsep Dasar Sensor Lingkungan	55
8.2 Jenis Sensor Kualitas Udara dan Air	55

8.3 Arsitektur Sistem IoT untuk Monitoring Lingkungan	56
8.4 Teknologi Komunikasi Data untuk IoT Lingkungan.....	57
8.5 Studi Kasus: Sistem Monitoring Kualitas Udara Berbasis IoT di Kawasan Rawan Kabut Asap.....	58
8.6 Praktikum: Merancang Konsep Sistem Sensor Sederhana	58
BAB 9.....	61
ANALISIS DATA LINGKUNGAN	61
9.1 Statistik Deskriptif sebagai Langkah Awal Analisis	61
9.2 Analisis Tren dan Data Deret Waktu.....	61
9.3 Analisis Spasial Statistik	62
9.4 Perangkat Lunak untuk Analisis Data Lingkungan	62
9.5 Praktikum: Analisis Data Kualitas Air dengan Microsoft Excel	63
BAB 10.....	65
VISUALISASI DATA LINGKUNGAN	65
10.1 Mengapa Visualisasi yang Buruk Bisa Menyesatkan.....	65
10.2 Memilih Jenis Grafik yang Tepat untuk Data Lingkungan	65
10.3 Peta Tematik: Menyampaikan Informasi Spasial Secara Efektif	66
10.4 Storytelling dengan Data Lingkungan.....	66
10.5 Praktikum: Membuat Visualisasi Data Lingkungan Terpadu.....	67
BAB 11.....	69
DASHBOARD LINGKUNGAN.....	69
11.1 Konsep Dashboard sebagai Ringkasan Informasi Real-Time	69
11.2 Jenis dan Fungsi Dashboard Lingkungan	69
11.3 Komponen Dashboard yang Efektif	70
11.4 Platform Pembuatan Dashboard	70
11.5 Studi Kasus: Dashboard Monitoring Kualitas Udara dan Kabut Asap	71
11.6 Praktikum: Merancang Dashboard Sederhana.....	72
BAB 12.....	74
PENGELOLAAN BASIS DATA LINGKUNGAN.....	74
12.1 Tata Kelola Data (Data Governance)	74
12.2 Keamanan dan Privasi Data Lingkungan	74
12.3 Interoperabilitas dan Standar Data	75
12.4 Data Warehouse Lingkungan	75
12.5 Studi Kasus: Sistem Informasi Lingkungan Hidup Daerah	76
BAB 13.....	78
PEMODELAN LINGKUNGAN	78

13.1 Mengapa Kita Memerlukan Model.....	78
13.2 Klasifikasi Model Lingkungan	78
13.3 Model Kualitas Air dan Udara	79
13.4 Kalibrasi dan Validasi Model.....	79
13.5 Praktikum: Model Sederhana Neraca Massa Polutan.....	80
BAB 14.....	82
SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN LINGKUNGAN.....	82
14.1 Konsep Dasar Sistem Pendukung Keputusan (SPK).....	82
14.2 Komponen Sistem Pendukung Keputusan Lingkungan	82
14.3 Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA)	83
14.4 Integrasi DSS dengan SIG.....	84
14.5 Studi Kasus: Analisis Multikriteria Pemilihan Lokasi TPA	84
14.6 Praktikum: Menyusun Matriks Keputusan Sederhana.....	85
BAB 15.....	87
BIG DATA DAN ARTIFICIAL INTELLIGENCE	87
UNTUK LINGKUNGAN.....	87
15.1 Big Data dalam Konteks Lingkungan	87
15.2 Machine Learning untuk Prediksi Lingkungan	87
15.3 Studi Kasus: Kecerdasan Buatan untuk Prediksi Risiko Karhutla.....	88
15.4 Etika dan Tantangan Penerapan AI Lingkungan	89
15.5 Praktikum: Eksplorasi Prediksi Sederhana Menggunakan Regresi	89
BAB 16.....	92
SMART ENVIRONMENT.....	92
16.1 Dari Smart City Menuju Smart Environment.....	92
16.2 Komponen Utama Smart Environment	92
16.3 Integrasi IoT, AI, dan Dashboard dalam Satu Ekosistem.....	93
16.4 Studi Kasus Smart Environment di Indonesia	94
BAB 17.....	96
STUDI KASUS INDONESIA.....	96
17.1 SIL untuk Pemantauan Daerah Aliran Sungai Kahayan.....	96
17.2 SIL untuk Deteksi Dini Karhutla dan Kabut Asap	96
17.3 SIL untuk Mendukung Restorasi Gambut	97
17.4 SIL dalam Penyusunan Dokumen AMDAL	97
17.5 SIL untuk Pengelolaan Persampahan Kota.....	98
BAB 18.....	101
PRAKTIKUM SISTEM INFORMASI LINGKUNGAN.....	101

18.1 Tujuan Praktikum Terintegrasi	101
18.2 Praktikum Terintegrasi 1: Dari Data Lapangan Menuju Peta Tematik	101
18.3 Praktikum Terintegrasi 2: Membangun Dashboard Monitoring Sederhana	101
18.4 Praktikum Terintegrasi 3: Analisis dan Rekomendasi Berbasis Data.....	102
18.5 Format Laporan Praktikum Akhir	102
LAMPIRAN: RUBRIK PENILAIAN TUGAS DAN PRAKTIKUM	104
GLOSARIUM	105
DAFTAR PUSTAKA	107
INDEKS	109
TENTANG PENULIS.....	110

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.6 Dashboard indeks kualitas udara (ISPU) daerah rawan kabut asap

Gambar 4.6 Peta SIG kawasan Daerah Aliran Sungai dengan overlay tutupan lahan

Gambar 5.6 Citra satelit menunjukkan titik panas kebakaran lahan gambut Kalimantan

Gambar 8.5 Sensor kualitas udara IoT berbiaya rendah terpasang di tiang pemantauan

Gambar 11.5 Tampilan dashboard monitoring kualitas udara dengan peta sebaran ISPU

Gambar 15.3 Peta prediksi risiko kebakaran lahan berbasis model machine learning

Catatan: seluruh nomor gambar di atas merujuk pada kotak placeholder foto (lihat masing-masing bab) yang perlu dilengkapi foto asli sesuai kata kunci pencarian yang tercantum.

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Lima Komponen Utama Sistem Informasi Lingkungan

Tabel 2.1 Klasifikasi Data Lingkungan Berdasarkan Berbagai Kriteria

Tabel 3.1 Perbandingan Beberapa Sistem Manajemen Basis Data untuk Data Lingkungan

Tabel 4.1 Jenis Analisis Spasial Dasar dan Contoh Penerapannya di Bidang Lingkungan

Tabel 5.1 Perbandingan Beberapa Program Citra Satelit untuk Pemantauan Lingkungan

Tabel 7.1 Sumber Data Lingkungan Sekunder Resmi di Indonesia

Tabel 8.1 Jenis Sensor Lingkungan yang Umum Digunakan

Tabel 10.1 Pemilihan Jenis Grafik Berdasarkan Tujuan Visualisasi Data Lingkungan

Tabel 14.1 Contoh Kriteria dalam Analisis Pemilihan Lokasi TPA Menggunakan MCDA

DAFTAR SINGKATAN

SIL : Sistem Informasi Lingkungan

SIG (GIS) : Sistem Informasi Geografis (Geographic Information System)

GNSS/GPS : Global Navigation Satellite System / Global Positioning System

IoT : Internet of Things

DBMS : Database Management System

ERD : Entity Relationship Diagram

NDVI : Normalized Difference Vegetation Index

DSS : Decision Support System

MCDA : Multi-Criteria Decision Analysis

AHP : Analytical Hierarchy Process

KLHK : Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

BIG : Badan Informasi Geospasial

BMKG : Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika

ISPU : Indeks Standar Pencemar Udara

DAS : Daerah Aliran Sungai

AMDAL : Analisis Mengenai Dampak Lingkungan

SIPSN : Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional

FIRMS : Fire Information for Resource Management System

PENDAHULUAN

Buku ajar ini disusun untuk menjawab kebutuhan kompetensi digital yang semakin penting bagi lulusan Teknik Lingkungan. Selama lebih dari satu dekade terakhir, pengelolaan lingkungan di Indonesia mengalami transformasi signifikan, dari yang semula mengandalkan laporan manual dan pengamatan lapangan periodik, menjadi sistem yang semakin terintegrasi dengan data satelit, sensor real-time, dan platform digital yang dapat diakses publik.

Perubahan ini menuntut mahasiswa Teknik Lingkungan tidak hanya menguasai prinsip-prinsip teknis pengelolaan pencemaran, tetapi juga memahami bagaimana data dikumpulkan, dikelola, dianalisis, dan disajikan secara efektif untuk mendukung pengambilan keputusan yang tepat waktu dan berbasis bukti. Buku ini disusun dengan penekanan kuat pada studi kasus Indonesia, khususnya Kalimantan Tengah, agar mahasiswa memperoleh gambaran konkret mengenai penerapan konsep-konsep yang dipelajari pada persoalan lingkungan nyata di sekitar mereka.

BAB 1

PENDAHULUAN SISTEM INFORMASI LINGKUNGAN

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menjelaskan konsep dasar, ruang lingkup, dan komponen Sistem Informasi Lingkungan (SIL) serta kedudukannya dalam disiplin Teknik Lingkungan.

1.1 Apa Sebenarnya yang Dimaksud dengan Sistem Informasi Lingkungan

Ketika istilah 'sistem informasi' disandingkan dengan kata 'lingkungan', banyak mahasiswa baru langsung membayangkan sesuatu yang rumit dan berbau komputer semata. Padahal, gagasan dasarnya sederhana: bagaimana data mentah mengenai kondisi udara, air, tanah, dan tutupan lahan diubah menjadi informasi yang dapat dipakai untuk mengambil keputusan. Sistem Informasi Lingkungan, yang selanjutnya disingkat SIL, adalah kerangka kerja terpadu antara data, perangkat keras, perangkat lunak, prosedur, dan manusia yang bekerja sama untuk mengumpulkan, menyimpan, mengolah, menganalisis, hingga menyajikan informasi lingkungan.

Seorang sarjana Teknik Lingkungan yang bekerja di dinas lingkungan hidup, misalnya, tidak cukup hanya memahami parameter baku mutu air sungai. Ia juga perlu tahu bagaimana data pemantauan dari puluhan titik sampling dapat dikelola dalam satu sistem yang konsisten, sehingga tren pencemaran dapat dipantau dari tahun ke tahun, bukan sekadar dilaporkan sebagai angka lepas pada satu waktu tertentu.

Buku ini akan sering kembali pada satu premis: data lingkungan yang berserakan dan tidak terkelola nyaris tidak ada gunanya, betapapun akuratnya

pengukuran di lapangan. Nilai sesungguhnya baru muncul ketika data tersebut disusun dalam sistem yang memungkinkan perbandingan, analisis tren, dan pengambilan keputusan yang tepat waktu.

1.2 Kedudukan SIL dalam Disiplin Teknik Lingkungan

Program Studi Teknik Lingkungan selama ini identik dengan mata kuliah seperti pengolahan air limbah, pengelolaan sampah, atau pencemaran udara, yang semuanya berbasis proses fisik-kimia-biologi. SIL melengkapi rumpun keilmuan tersebut dari sisi yang berbeda: bagaimana seluruh proses pengelolaan lingkungan itu didukung oleh data dan informasi yang benar, terkini, dan mudah diakses oleh pihak yang membutuhkan.

Kompetensi SIL menjadi semakin relevan seiring meningkatnya tuntutan transparansi informasi lingkungan, baik dari regulasi seperti kewajiban pelaporan status lingkungan hidup daerah, maupun dari masyarakat yang kini terbiasa mengakses data secara digital. Lulusan Teknik Lingkungan yang menguasai SIG, penginderaan jauh, dan pengolahan data akan memiliki nilai tambah signifikan dibandingkan yang hanya menguasai aspek teknis pengolahan limbah semata.

Di sisi lain, penting dicatat bahwa SIL bukan pengganti kompetensi teknis lingkungan yang sudah ada, melainkan alat bantu yang memperkuat pengambilan keputusan berbasis bukti. Seorang insinyur lingkungan tetap harus memahami mengapa suatu parameter kualitas air dianggap kritis; SIL hanya membantu mengelola dan menyajikan data tersebut secara lebih sistematis.

1.3 Sejarah Singkat Perkembangan SIL

Cikal bakal sistem informasi lingkungan sesungguhnya sudah muncul sejak pertengahan abad ke-20, ketika lembaga-lembaga pemerintah mulai mengarsipkan data cuaca dan kualitas air secara manual dalam bentuk kartu dan buku register. Lompatan besar terjadi pada dekade 1960-an dan 1970-an dengan lahirnya Sistem Informasi Geografis modern, yang pertama kali dikembangkan oleh Roger Tomlinson di Kanada untuk keperluan inventarisasi sumber daya lahan.

Di Indonesia, penggunaan sistem informasi lingkungan secara formal mulai berkembang sejak era 1990-an, seiring meningkatnya kebutuhan pemetaan sumber daya alam dan pemantauan kerusakan hutan. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), Badan Informasi Geospasial (BIG), serta Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) menjadi tiga pilar utama penyedia data lingkungan resmi yang hingga kini terus dikembangkan sistemnya.

Perkembangan terbaru menunjukkan pergeseran dari sistem informasi lingkungan yang bersifat statis (laporan tahunan berbentuk dokumen cetak) menuju sistem yang dinamis dan real-time, didukung oleh sensor IoT, citra satelit resolusi tinggi, dan dashboard interaktif yang dapat diakses publik kapan saja.

1.4 Komponen Utama Sistem Informasi Lingkungan

Sebagaimana sistem informasi pada umumnya, SIL tersusun dari lima komponen yang saling berkaitan. Pertama, perangkat keras (hardware), meliputi komputer, server, sensor lapangan, hingga perangkat GPS dan drone. Kedua,

perangkat lunak (software), mencakup sistem manajemen basis data, aplikasi SIG, hingga platform dashboard. Ketiga, data itu sendiri, baik data spasial (peta, citra) maupun data nonspasial (tabel pengukuran, laporan).

Keempat, prosedur (procedures), yaitu aturan dan tata cara baku mengenai bagaimana data dikumpulkan, divalidasi, disimpan, dan disebarluaskan, yang seringkali justru menjadi komponen paling sering diabaikan meski sebenarnya krusial bagi konsistensi sistem dalam jangka panjang. Kelima, manusia (people), yaitu seluruh pihak yang terlibat mulai dari petugas lapangan pengambil sampel, analis data, hingga pengambil kebijakan yang menggunakan informasi hasil olahan sistem.

Tabel 1.1 Lima Komponen Utama Sistem Informasi Lingkungan

Komponen	Contoh dalam Praktik SIL
Perangkat Keras	Server basis data, GPS handheld, drone, sensor kualitas udara
Perangkat Lunak	QGIS, ArcGIS, PostgreSQL/PostGIS, Power BI
Data	Citra Landsat, data pemantauan sungai, peta tutupan lahan
Prosedur	SOP pengambilan sampel air, protokol validasi data
Manusia	Petugas lapangan, analis data, pengambil kebijakan

1.5 Manfaat dan Tantangan Penerapan SIL di Indonesia

Manfaat penerapan SIL sangat luas: mempercepat deteksi dini pencemaran, mendukung transparansi informasi lingkungan kepada publik, memperkuat basis data untuk penyusunan dokumen AMDAL, hingga menjadi alat evaluasi efektivitas kebijakan lingkungan dari waktu ke waktu. Pada skala nasional, sistem pemantauan titik panas (hotspot) kebakaran hutan berbasis citra satelit menjadi salah satu contoh nyata bagaimana SIL menyelamatkan waktu respons yang sebelumnya memerlukan pemantauan manual di lapangan.

Namun demikian, penerapan SIL di Indonesia masih menghadapi sejumlah tantangan struktural, mulai dari keterbatasan infrastruktur jaringan di wilayah terpencil, minimnya sumber daya manusia yang menguasai kombinasi keahlian lingkungan dan teknologi informasi, hingga persoalan interoperabilitas data antar-instansi yang masih sering menggunakan format dan standar berbeda-beda. Kabupaten dengan wilayah luas seperti yang banyak dijumpai di Kalimantan Tengah, misalnya, menghadapi tantangan tersendiri dalam memastikan cakupan pemantauan yang merata mengingat keterbatasan aksesibilitas darat ke sejumlah kawasan.

1.6 Peta Konsep dan Sistematika Buku

Buku ajar ini disusun dalam delapan belas bab yang saling berkesinambungan, dimulai dari konsep dasar data dan informasi lingkungan, dilanjutkan dengan teknologi-teknologi pengumpul data (SIG, penginderaan jauh, GPS, sensor IoT), kemudian teknik pengolahan dan analisis data, hingga aplikasi lanjutan seperti pemodelan, sistem pendukung keputusan, big data, dan konsep smart environment. Bab-bab akhir menyajikan studi kasus terintegrasi di Indonesia serta panduan praktikum menyeluruh.

Pendekatan penulisan sengaja dirancang agar mahasiswa tidak hanya memahami konsep secara teoretis, tetapi juga memiliki gambaran konkret melalui studi kasus lokal, terutama yang berkaitan dengan Kalimantan Tengah dan Daerah Aliran Sungai Kahayan, mengingat isu lingkungan di wilayah ini — mulai dari kebakaran lahan gambut hingga pemantauan kualitas sungai — menjadi konteks yang sangat relevan bagi penerapan SIL secara nyata.

KATA KUNCI

Sistem Informasi Lingkungan • Data Lingkungan • Komponen SIL • Teknik Lingkungan

RINGKASAN BAB

Bab ini memperkenalkan konsep dasar Sistem Informasi Lingkungan, kedudukannya dalam disiplin Teknik Lingkungan, sejarah perkembangannya, lima komponen utamanya, serta manfaat dan tantangan penerapannya di Indonesia.

Latihan / Evaluasi

1. Jelaskan lima komponen utama Sistem Informasi Lingkungan beserta contohnya.
2. Mengapa lulusan Teknik Lingkungan perlu menguasai kompetensi SIL selain kompetensi teknis pengolahan limbah?

Soal Diskusi

Diskusikan tantangan utama penerapan SIL di daerah dengan keterbatasan infrastruktur seperti sebagian wilayah Kalimantan Tengah.

Studi Kasus Tambahan (Latihan Analisis)

Amati satu sistem informasi lingkungan yang telah beroperasi (misalnya aplikasi ISPU KLHK), lalu identifikasi lima komponen SIL yang membentuknya.

Refleksi

Refleksikan pengalaman Anda mengakses informasi lingkungan secara digital (misalnya cek kualitas udara via aplikasi). Bagaimana pengalaman tersebut membentuk pemahaman awal Anda tentang SIL?

Tugas Individu

Buat ringkasan satu halaman mengenai satu instansi penyedia data lingkungan resmi di Indonesia beserta jenis data yang disediakan.

Tugas Kelompok

Susun peta konsep yang menghubungkan seluruh topik yang akan dipelajari sepanjang mata kuliah ini berdasarkan sistematika buku.

BAB 2

KONSEP DATA DAN INFORMASI LINGKUNGAN

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu membedakan data dan informasi, mengklasifikasikan jenis data lingkungan, serta menjelaskan siklus informasi dan aspek kualitas data.

2.1 Data, Informasi, dan Pengetahuan: Tiga Hal yang Sering Tertukar

Angka 7,2 tidak bermakna apa-apa sampai kita tahu itu adalah nilai pH air Sungai Kahayan pada titik tertentu, di bulan tertentu. Begitu konteks ditambahkan, angka tersebut berubah menjadi data. Ketika data itu diolah, dibandingkan dengan baku mutu, dan disajikan sebagai 'kualitas air Sungai Kahayan pada segmen hilir Kota Palangka Raya masih memenuhi baku mutu kelas II', barulah kita bisa menyebutnya informasi. Pengetahuan muncul setingkat lebih tinggi lagi, yaitu ketika seseorang mampu menyimpulkan pola dari serangkaian informasi, misalnya 'kualitas air cenderung menurun setiap musim kemarau akibat penurunan debit dan konsentrasi limbah domestik yang meningkat relatif'.

Perbedaan ketiga tingkatan ini penting dipahami sejak awal, karena banyak proyek sistem informasi lingkungan yang gagal bukan karena kekurangan data, melainkan karena tidak pernah benar-benar mengubah data mentah menjadi informasi yang dapat dipahami dan dipakai pengambil kebijakan.

2.2 Klasifikasi Data Lingkungan

Data lingkungan dapat diklasifikasikan dari berbagai sudut pandang. Berdasarkan keterkaitannya dengan lokasi, data dibedakan menjadi data spasial, yang memiliki referensi keruangan seperti koordinat atau batas wilayah (contohnya peta tutupan lahan), dan data nonspasial (atribut), yang berisi

karakteristik tanpa referensi lokasi eksplisit, meski keduanya lazimnya saling terhubung dalam praktik SIG.

Berdasarkan sumbernya, data dibedakan menjadi data primer, yang diperoleh langsung dari pengukuran atau survei lapangan oleh peneliti/instansi yang bersangkutan, dan data sekunder, yang diperoleh dari pihak lain seperti basis data instansi pemerintah, jurnal ilmiah, atau laporan penelitian sebelumnya. Berdasarkan sifatnya, data juga dibedakan menjadi data kuantitatif (angka terukur seperti konsentrasi TSS dalam mg/L) dan data kualitatif (deskripsi seperti kondisi bau atau warna air).

Tabel 2.1 Klasifikasi Data Lingkungan Berdasarkan Berbagai Kriteria

Kriteria	Jenis Data	Contoh
Keterkaitan lokasi	Spasial	Peta sebaran titik panas kebakaran
Keterkaitan lokasi	Nonspasial	Nilai konsentrasi PM2.5 tanpa koordinat
Sumber	Primer	Hasil pengukuran langsung debit Sungai Kahayan
Sumber	Sekunder	Data curah hujan tahunan dari BMKG
Sifat	Kuantitatif	Kadar oksigen terlarut (mg/L)
Sifat	Kualitatif	Deskripsi warna dan bau limbah cair

2.3 Karakteristik Khas Data Lingkungan

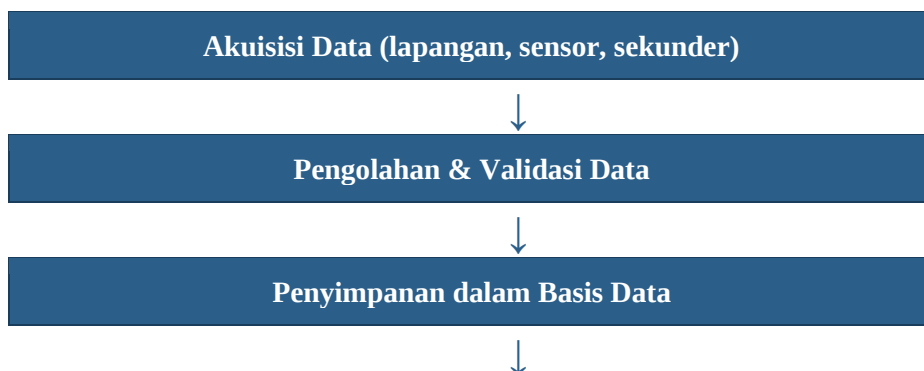
Data lingkungan memiliki sejumlah karakteristik yang membedakannya dari data pada domain lain. Pertama, data lingkungan sangat bergantung pada dimensi ruang dan waktu; konsentrasi suatu polutan pada satu titik sungai bisa sangat berbeda hanya beberapa ratus meter ke hilir, atau berubah drastis dalam hitungan jam akibat hujan. Kedua, data lingkungan sering mengandung ketidakpastian yang cukup besar, baik akibat keterbatasan alat ukur, variabilitas alami, maupun kesalahan manusia saat pengambilan sampel.

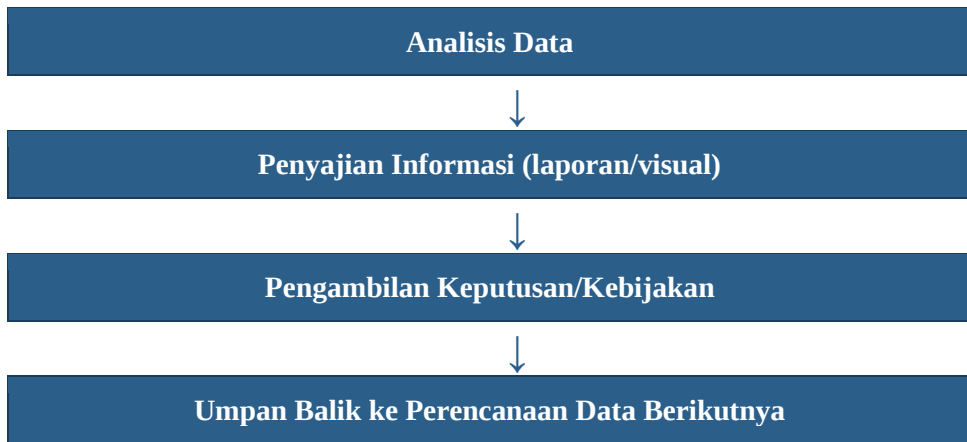
Ketiga, volume data lingkungan modern berkembang sangat pesat seiring masifnya penggunaan sensor otomatis dan citra satelit, sehingga menuntut kapasitas penyimpanan dan pengolahan yang jauh lebih besar dibandingkan satu dekade lalu. Mahasiswa yang kelak bekerja mengelola data lingkungan perlu terbiasa dengan kondisi data yang tidak pernah benar-benar 'bersih' dan lengkap, serta perlu memiliki kemampuan menilai kualitas data sebelum menariknya kesimpulan.

2.4 Siklus Informasi Lingkungan

Secara umum, siklus informasi lingkungan dapat digambarkan sebagai rangkaian tahapan berkesinambungan: akuisisi data (pengumpulan dari lapangan, sensor, atau sumber sekunder), pengolahan dan validasi data, penyimpanan dalam basis data terstruktur, analisis untuk menghasilkan informasi bermakna, penyajian dalam bentuk visual atau laporan, hingga akhirnya digunakan untuk pengambilan keputusan atau kebijakan. Umpan balik dari tahap pengambilan keputusan idealnya kembali memengaruhi desain pengumpulan data periode berikutnya, sehingga siklus ini bersifat berkelanjutan, bukan linear satu arah.

Diagram 2.1 Siklus Informasi Lingkungan





Sumber: diolah oleh penulis sebagai kerangka umum siklus informasi lingkungan.

2.5 Kualitas Data dan Pentingnya Metadata

Kualitas data lingkungan umumnya dinilai dari beberapa dimensi: akurasi (seberapa dekat nilai terukur dengan nilai sebenarnya), presisi (konsistensi hasil pengukuran berulang), kelengkapan (tidak banyak data yang hilang), ketepatan waktu (data cukup terkini untuk keperluan analisis), serta konsistensi format antar-periode pengumpulan. Data yang tidak memenuhi dimensi-dimensi ini berpotensi menyesatkan pengambil keputusan, betapapun canggihnya sistem pengolahan yang digunakan.

Metadata, yaitu 'data tentang data', menjadi elemen yang sering diabaikan namun sangat krusial. Metadata mencatat informasi seperti kapan data diambil, oleh siapa, menggunakan metode dan alat apa, serta tingkat ketelitian yang dapat diharapkan. Tanpa metadata yang memadai, data lingkungan yang diwariskan dari satu periode pengelolaan ke periode berikutnya sering kali menjadi sulit ditafsirkan ulang, bahkan oleh institusi yang sama.

2.6 Studi Kasus: Pengelolaan Data Kualitas Udara Kota Palangka Raya

Sebagai ilustrasi penerapan konsep di atas, mari kita tinjau pengelolaan data kualitas udara di Kota Palangka Raya, yang setiap tahun menghadapi risiko peningkatan konsentrasi partikulat (PM10 dan PM2.5) akibat kebakaran lahan gambut di sekitarnya. Data konsentrasi partikulat dikumpulkan dari Stasiun Pemantau Kualitas Udara Ambien (SPKUA) yang dioperasikan pemerintah daerah bekerja sama dengan KLHK, menghasilkan data primer berupa pembacaan sensor otomatis setiap jam.

Data mentah tersebut kemudian divalidasi (misalnya menghapus pembacaan yang jelas tidak wajar akibat gangguan sensor), disimpan dalam basis data, lalu diolah menjadi Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) harian yang dipublikasikan kepada masyarakat. Ketika ISPU menunjukkan kategori tidak sehat, informasi ini menjadi dasar bagi pemerintah daerah untuk mengeluarkan imbauan pembatasan aktivitas luar ruangan, terutama bagi kelompok rentan seperti anak-anak dan lansia. Contoh ini menggambarkan bagaimana siklus data-informasi-keputusan bekerja secara nyata dan berdampak langsung pada kehidupan masyarakat.

[Gambar 2.6 Dashboard indeks kualitas udara (ISPU) daerah rawan kabut asap]

Foto belum disisipkan — lengkapi dengan foto asli berlisensi bebas/berizin (mis. NASA/USGS/BIG bersifat domain publik).

Kata kunci Google Images: "air quality index dashboard Indonesia haze monitoring"

Sumber acuan: portal resmi terkait (mis. earthexplorer.usgs.gov, tanahair.indonesia.go.id, sipsn.menlhk.go.id)

KATA KUNCI

Data • Informasi • Metadata • Kualitas Data • Siklus Informasi

RINGKASAN BAB

Bab ini menjelaskan perbedaan data, informasi, dan pengetahuan, klasifikasi data lingkungan, karakteristik khasnya, siklus informasi lingkungan, serta pentingnya kualitas data dan metadata.

Latihan / Evaluasi

1. Jelaskan perbedaan data spasial dan nonspasial beserta contohnya.
2. Sebutkan lima dimensi kualitas data dan jelaskan mengapa metadata penting.

Soal Diskusi

Diskusikan mengapa data yang akurat sekalipun bisa menjadi tidak berguna tanpa metadata yang memadai.

Studi Kasus Tambahan (Latihan Analisis)

Analisis studi kasus pengelolaan data kualitas udara Palangka Raya pada bab ini dan identifikasi tahapan siklus informasi yang berlaku.

Refleksi

Refleksikan satu contoh ketika Anda menemukan data yang membingungkan karena tidak memiliki keterangan sumber atau metode pengumpulannya.

Tugas Individu

Kumpulkan satu set data lingkungan sekunder dari instansi resmi, lalu evaluasi kelengkapan metadatanya.

Tugas Kelompok

Diskusikan dan klasifikasikan lima jenis data lingkungan yang relevan dengan wilayah tempat tinggal kelompok Anda.

BAB 3

BASIS DATA LINGKUNGAN

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menjelaskan konsep basis data, merancang model data relasional dan spasial sederhana untuk keperluan pengelolaan data lingkungan.

3.1 Mengapa Data Lingkungan Perlu Basis Data, Bukan Sekadar Spreadsheet

Banyak instansi lingkungan di daerah masih mengandalkan file Excel sebagai 'basis data' utama mereka. Untuk skala kecil dengan sedikit variabel, pendekatan ini mungkin masih dapat berjalan. Namun begitu jumlah titik pemantauan bertambah, periode waktu semakin panjang, dan jumlah parameter yang dipantau semakin beragam, spreadsheet mulai menunjukkan keterbatasannya: rawan duplikasi, sulit menjaga konsistensi antar-sheet, serta rentan rusak akibat kesalahan pengeditan manual oleh banyak orang.

Basis data (database) menawarkan solusi yang lebih terstruktur, dengan aturan integritas data yang dapat ditegakkan secara otomatis oleh sistem, kemampuan menangani volume data jauh lebih besar, serta memungkinkan banyak pengguna mengakses data secara bersamaan tanpa risiko konflik penyimpanan. Bagi organisasi yang mengelola data lingkungan dalam jangka panjang, investasi membangun basis data yang baik di awal akan jauh lebih hemat biaya dan waktu dibandingkan terus-menerus memperbaiki kekacauan spreadsheet di kemudian hari.

3.2 Model Data Relasional

Model data relasional mengorganisasikan data ke dalam tabel-tabel yang saling berhubungan melalui kunci (key). Setiap tabel merepresentasikan satu entitas, misalnya tabel 'Titik Pemantauan' yang menyimpan informasi lokasi,

tabel 'Parameter' yang menyimpan daftar parameter yang diukur (pH, TSS, BOD, dan seterusnya), serta tabel 'Hasil Pengukuran' yang menghubungkan titik pemantauan, parameter, dan waktu pengukuran dengan nilai hasil ukurnya.

Pemisahan data ke dalam tabel-tabel terpisah semacam ini, yang dalam ilmu basis data disebut normalisasi, bertujuan mengurangi redundansi data dan menjaga konsistensi. Sebagai ilustrasi, alih-alih menuliskan nama dan koordinat setiap titik pemantauan berulang kali pada setiap baris hasil pengukuran, cukup disimpan satu kali pada tabel Titik Pemantauan, kemudian dirujuk melalui kode identifikasi (ID) pada tabel Hasil Pengukuran.

3.3 Merancang Diagram Hubungan Entitas (ERD) Sederhana

Entity Relationship Diagram (ERD) adalah alat bantu visual untuk merancang struktur basis data sebelum diimplementasikan. Sebagai contoh sederhana, basis data pemantauan kualitas air sungai dapat dirancang dengan tiga entitas utama: Stasiun Pemantauan (dengan atribut kode stasiun, nama, koordinat, sungai), Parameter (dengan atribut kode parameter, nama parameter, satuan, baku mutu), dan Hasil Pengukuran (dengan atribut kode stasiun, kode parameter, tanggal, nilai hasil ukur).

Hubungan antar-entitas tersebut umumnya bersifat satu-ke-banyak: satu stasiun dapat memiliki banyak hasil pengukuran, begitu pula satu parameter dapat diukur pada banyak stasiun dan banyak waktu. Latihan merancang ERD sederhana semacam ini sangat bermanfaat bagi mahasiswa sebelum masuk ke tahap implementasi teknis menggunakan perangkat lunak basis data yang sesungguhnya.

3.4 Basis Data Spasial

Basis data spasial adalah perluasan dari basis data relasional konvensional dengan kemampuan tambahan menyimpan dan mengolah data bereferensi keruangan, seperti titik, garis, dan poligon, beserta operasi geometris seperti perhitungan jarak, luas area, atau irisan antar-poligon. Perangkat lunak seperti PostgreSQL dengan ekstensi PostGIS menjadi salah satu contoh sistem manajemen basis data spasial open-source yang populer digunakan dalam pengelolaan data lingkungan maupun SIG secara umum.

Kemampuan basis data spasial menjadi krusial ketika mengelola data seperti batas Daerah Aliran Sungai, sebaran titik panas kebakaran, atau jaringan pipa distribusi air bersih, di mana hubungan keruangan antar-objek data menjadi informasi yang sama pentingnya dengan atribut non-spasialnya.

3.5 Sistem Manajemen Basis Data yang Umum Digunakan

Terdapat berbagai pilihan Database Management System (DBMS) yang dapat digunakan untuk mengelola data lingkungan, masing-masing dengan karakteristik dan kegunaan berbeda. MySQL dan PostgreSQL merupakan DBMS relasional open-source yang banyak dipakai instansi maupun peneliti karena gratis dan didukung komunitas luas. Microsoft Access lebih cocok untuk skala kecil dan pengguna yang belum terbiasa dengan bahasa query SQL, meski keterbatasannya muncul ketika volume data membesar.

Tabel 3.1 Perbandingan Beberapa Sistem Manajemen Basis Data untuk Data Lingkungan

DBMS	Jenis Lisensi	Kelebihan Utama
PostgreSQL/PostGIS	Open-source	Dukungan data spasial kuat, skalabel
MySQL	Open-source	Mudah dipelajari, komunitas luas

DBMS	Jenis Lisensi	Kelebihan Utama
Microsoft Access	Berbayar/lisensi Office	Antarmuka sederhana, cocok skala kecil
Oracle Spatial	Berbayar (enterprise)	Skalabilitas sangat tinggi untuk instansi besar

3.6 Praktikum: Merancang Tabel Basis Data Kualitas Air Sederhana

Pada praktikum ini, mahasiswa diminta merancang struktur tabel basis data kualitas air sederhana menggunakan Microsoft Excel atau Microsoft Access sebagai langkah awal sebelum mempelajari DBMS yang lebih kompleks. Langkah kerja meliputi: (1) menentukan entitas yang diperlukan (stasiun, parameter, hasil pengukuran); (2) menentukan atribut setiap entitas beserta tipe datanya; (3) menentukan kunci utama (primary key) dan kunci tamu (foreign key) yang menghubungkan antar-tabel; (4) mengisi data uji coba sebanyak minimal tiga stasiun, lima parameter, dan hasil pengukuran selama tiga periode waktu; serta (5) melakukan query sederhana untuk menampilkan tren satu parameter pada satu stasiun sepanjang waktu.

KATA KUNCI

Basis Data • Model Relasional • ERD • Basis Data Spasial • DBMS

RINGKASAN BAB

Bab ini membahas keunggulan basis data dibandingkan spreadsheet, model data relasional, perancangan ERD sederhana, basis data spasial, serta perbandingan sistem manajemen basis data untuk data lingkungan.

Latihan / Evaluasi

1. Jelaskan mengapa normalisasi data penting dalam perancangan basis data lingkungan.
2. Gambarkan ERD sederhana untuk basis data pemantauan kualitas udara.

Soal Diskusi

Diskusikan kapan sebaiknya suatu organisasi beralih dari spreadsheet menuju basis data terstruktur.

Studi Kasus Tambahan (Latihan Analisis)

Kaji satu basis data lingkungan yang pernah Anda temui (tugas kuliah, magang, atau instansi), lalu identifikasi entitas dan hubungan antar-tabelnya.

Refleksi

Refleksikan pengalaman Anda mengelola data menggunakan Excel yang menjadi rumit seiring bertambahnya data. Apa yang bisa diperbaiki dengan pendekatan basis data?

Tugas Individu

Rancang ERD sederhana untuk basis data pemantauan sampah dengan minimal tiga entitas.

Tugas Kelompok

Bandingkan dan presentasikan tiga DBMS berbeda dari segi kemudahan penggunaan dan biaya.

BAB 4

SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS (SIG)

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menjelaskan konsep, komponen, model data, serta menerapkan analisis spasial dasar SIG untuk data lingkungan.

4.1 Konsep Dasar SIG

Sistem Informasi Geografis, atau lebih dikenal dengan singkatan SIG (Geographic Information System/GIS), adalah sistem yang dirancang khusus untuk menangkap, menyimpan, memanipulasi, menganalisis, mengelola, dan menyajikan seluruh jenis data yang memiliki referensi keruangan atau geografis. Perbedaan mendasar SIG dengan sistem informasi pada umumnya terletak pada kemampuannya menjawab pertanyaan yang melibatkan lokasi: 'di mana', 'seberapa dekat', 'wilayah mana yang tumpang tindih', dan pertanyaan spasial lainnya yang sulit dijawab hanya dengan tabel data biasa.

Bagi bidang Teknik Lingkungan, SIG bukan sekadar alat pembuat peta yang indah dipandang, melainkan instrumen analitis yang memungkinkan identifikasi pola spasial pencemaran, penentuan lokasi optimal fasilitas pengolahan limbah, hingga pemantauan perubahan tutupan lahan dari waktu ke waktu secara sistematis.

4.2 Komponen SIG

SIG tersusun dari komponen yang saling melengkapi: perangkat keras (komputer dengan spesifikasi memadai untuk mengolah data spasial berukuran besar), perangkat lunak (seperti QGIS atau ArcGIS), data spasial dan atribut, metode analisis yang diterapkan, serta sumber daya manusia yang memiliki kompetensi mengoperasikan seluruh komponen tersebut secara terintegrasi.

Kelima komponen ini perlu hadir secara bersamaan agar SIG dapat berfungsi optimal. Perangkat lunak terancangh sekalipun tidak akan banyak membantu apabila data yang tersedia tidak akurat, atau apabila operator tidak memahami metode analisis spasial yang tepat untuk menjawab persoalan yang dihadapi.

4.3 Model Data Vektor dan Raster

Data spasial dalam SIG direpresentasikan melalui dua model utama: vektor dan raster. Model vektor merepresentasikan objek geografis sebagai titik (misalnya lokasi stasiun pemantauan), garis (misalnya jaringan sungai atau jalan), dan poligon (misalnya batas administrasi atau batas DAS), masing-masing dengan koordinat geometris yang presisi. Model raster, di sisi lain, merepresentasikan permukaan bumi sebagai kumpulan sel/piksel berukuran seragam yang masing-masing menyimpan satu nilai, cocok untuk data yang bersifat kontinu seperti elevasi, suhu permukaan, atau tutupan lahan hasil klasifikasi citra satelit.

Pemilihan model data yang tepat bergantung pada karakteristik fenomena yang dipetakan serta jenis analisis yang akan dilakukan. Batas administrasi kabupaten misalnya, jauh lebih tepat direpresentasikan sebagai poligon vektor dengan batas yang presisi, sementara data curah hujan hasil interpolasi spasial lebih tepat direpresentasikan sebagai raster yang menunjukkan variasi nilai secara kontinu di seluruh wilayah.

4.4 Analisis Spasial Dasar dalam SIG

Kekuatan sesungguhnya SIG terletak pada kemampuan analisis spasialnya, bukan sekadar pada tampilan peta. Analisis overlay memungkinkan

penggabungan beberapa lapisan data untuk mengidentifikasi area yang memenuhi beberapa kriteria sekaligus, misalnya menemukan area yang berada dalam radius tertentu dari sungai sekaligus memiliki kemiringan lereng curam, yang berguna untuk identifikasi area rawan pencemaran akibat limpasan permukaan.

Analisis buffer menciptakan zona penyangga berjarak tertentu di sekeliling suatu objek, misalnya zona 100 meter di sepanjang sempadan sungai sebagaimana diatur dalam regulasi tata ruang. Analisis jaringan (network analysis) berguna untuk menghitung rute optimal, misalnya untuk perencanaan rute pengangkutan sampah yang paling efisien dari titik pengumpulan menuju tempat pemrosesan akhir.

Tabel 4.1 Jenis Analisis Spasial Dasar dan Contoh Penerapannya di Bidang Lingkungan

Jenis Analisis	Contoh Penerapan Lingkungan
Overlay	Identifikasi area tumpang tindih izin tambang dengan kawasan hutan lindung
Buffer	Penentuan zona sempadan sungai dan sempadan mata air
Network Analysis	Optimasi rute pengangkutan sampah kota
Interpolasi Spasial	Estimasi sebaran curah hujan antar-stasiun pengamatan

4.5 Perangkat Lunak SIG: Pilihan dan Pertimbangan

QGIS merupakan perangkat lunak SIG open-source yang paling populer digunakan di lingkungan akademik dan pemerintahan daerah karena tidak berbayar, didukung komunitas pengembang global yang aktif, serta memiliki kemampuan yang setara dengan perangkat lunak berbayar untuk sebagian besar kebutuhan analisis spasial dasar hingga menengah. ArcGIS, produk dari perusahaan ESRI, menawarkan ekosistem yang sangat lengkap dan sering

menjadi standar di banyak instansi pemerintah dan perusahaan besar, namun memerlukan biaya lisensi yang tidak sedikit.

Bagi mahasiswa yang baru belajar SIG, penulis menyarankan memulai dengan QGIS, mengingat aksesibilitasnya yang tidak terbatas oleh biaya lisensi, sehingga mahasiswa dapat terus berlatih secara mandiri di luar jam kuliah maupun setelah lulus, tanpa bergantung pada ketersediaan lisensi institusi.

4.6 Studi Kasus: Pemetaan Kawasan Hidrologis DAS Kahayan

Sebagai ilustrasi penerapan SIG pada konteks lokal, Daerah Aliran Sungai (DAS) Kahayan yang membentang dari kawasan hulu di pegunungan hingga bermuara di dekat Palangka Raya menjadi objek pemetaan yang kompleks, melibatkan berbagai lapisan data: batas DAS, jaringan sungai dan anak sungai, tutupan lahan, titik-titik pemantauan kualitas air, hingga sebaran permukiman dan aktivitas pertambangan di sepanjang alirannya.

Analisis overlay antara peta tutupan lahan dari waktu ke waktu dengan batas DAS memungkinkan identifikasi laju deforestasi di kawasan hulu, yang secara langsung berkorelasi dengan perubahan pola debit dan tingkat sedimentasi di bagian hilir sungai. Informasi semacam ini menjadi dasar penting bagi perencanaan pengelolaan DAS terpadu yang melibatkan berbagai pemangku kepentingan lintas kabupaten.

[Gambar 4.6 Peta SIG kawasan Daerah Aliran Sungai dengan overlay tutupan lahan]

Foto belum disisipkan — lengkapi dengan foto asli berlisensi bebas/berizin (mis. NASA/USGS/BIG bersifat domain publik).

Kata kunci Google Images: "GIS watershed map land cover overlay QGIS"

Sumber acuan: portal resmi terkait (mis. earthexplorer.usgs.gov, tanahair.indonesia.go.id, sipsn.menlhk.go.id)

4.7 Praktikum: Input Data dan Pembuatan Peta Sederhana di QGIS

Praktikum ini melatih mahasiswa melakukan langkah dasar penggunaan QGIS, meliputi: (1) instalasi dan pengenalan antarmuka QGIS; (2) menambahkan data vektor (shapefile batas administrasi) dan data raster (citra dasar/basemap); (3) menambahkan titik lokasi pemantauan menggunakan koordinat dari data tabular (misalnya file CSV berisi kolom lintang dan bujur); (4) melakukan simbolisasi peta sesuai kategori data; serta (5) menyusun layout peta yang lengkap dengan judul, legenda, skala, dan arah utara, kemudian mengeksportnya dalam format PDF atau gambar.

KATA KUNCI

SIG • Data Vektor • Data Raster • Analisis Spasial • QGIS

RINGKASAN BAB

Bab ini menjelaskan konsep dasar SIG, komponen-komponennya, model data vektor dan raster, jenis analisis spasial dasar, perangkat lunak SIG, serta studi kasus pemetaan DAS Kahayan.

Latihan / Evaluasi

1. Jelaskan perbedaan model data vektor dan raster beserta contoh penerapannya.
2. Sebutkan tiga jenis analisis spasial dan contoh penerapannya di bidang lingkungan.

Soal Diskusi

Diskusikan kelebihan dan keterbatasan QGIS dibandingkan ArcGIS untuk konteks institusi pendidikan di Indonesia.

Studi Kasus Tambahan (Latihan Analisis)

Analisis studi kasus pemetaan DAS Kahayan pada bab ini, identifikasi data spasial apa saja yang diperlukan untuk analisis serupa di DAS lain.

Refleksi

Refleksikan bagaimana kemampuan SIG dapat meningkatkan daya saing Anda sebagai calon sarjana Teknik Lingkungan.

Tugas Individu

Instal QGIS dan eksplorasi antarmuka dasarnya, lalu buat laporan singkat pengenalan fitur-fitur utamanya.

Tugas Kelompok

Lakukan praktikum 4.7 secara berkelompok dan presentasikan peta yang dihasilkan.

BAB 5

PENGINDERAAN JAUH

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menjelaskan prinsip penginderaan jauh, jenis dan resolusi citra satelit, serta menerapkannya untuk interpretasi kondisi lingkungan.

5.1 Konsep Dasar Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh (remote sensing) adalah ilmu dan teknik memperoleh informasi mengenai suatu objek, area, atau fenomena melalui analisis data yang diperoleh dari alat perekam tanpa kontak langsung dengan objek yang diamati. Sensor pada satelit atau pesawat merekam energi elektromagnetik yang dipantulkan atau dipancarkan permukaan bumi, yang kemudian diolah menjadi citra yang dapat diinterpretasikan.

Keunggulan utama penginderaan jauh dibandingkan survei lapangan konvensional adalah kemampuannya mencakup area yang sangat luas dalam waktu singkat, termasuk wilayah yang sulit dijangkau secara fisik seperti kawasan rawa gambut yang luas di Kalimantan Tengah, sekaligus memungkinkan pemantauan perubahan dari waktu ke waktu menggunakan arsip citra historis yang terus bertambah setiap tahun.

5.2 Spektrum Elektromagnetik dan Interaksinya dengan Permukaan Bumi

Setiap objek di permukaan bumi memantulkan, menyerap, dan memancarkan energi elektromagnetik dengan pola yang khas tergantung jenis materialnya, yang dikenal sebagai signature spektral. Vegetasi yang sehat, misalnya, memantulkan radiasi inframerah dekat (near-infrared) jauh lebih kuat dibandingkan cahaya tampak, sementara badan air cenderung menyerap hampir

seluruh radiasi inframerah dan hanya memantulkan sedikit cahaya tampak pada panjang gelombang biru-hijau.

Pemahaman terhadap signature spektral inilah yang menjadi dasar berbagai indeks vegetasi seperti Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), yang memanfaatkan perbedaan pantulan pada kanal merah dan inframerah dekat untuk mengukur tingkat kehijauan/kepadatan vegetasi, sangat berguna untuk memantau kesehatan hutan maupun mendeteksi area yang mengalami deforestasi atau kekeringan vegetasi.

5.3 Jenis-Jenis Citra Satelit yang Umum Digunakan

Satelit Landsat, yang dioperasikan oleh NASA dan United States Geological Survey (USGS) sejak 1972, merupakan salah satu program penginderaan jauh dengan arsip data terpanjang di dunia, menjadikannya sangat berharga untuk analisis perubahan tutupan lahan jangka panjang. Data Landsat tersedia secara gratis dan dapat diunduh melalui portal resmi USGS EarthExplorer.

Satelit Sentinel, yang dikembangkan Badan Antariksa Eropa (ESA) di bawah program Copernicus, menawarkan resolusi spasial dan temporal yang lebih baik dibandingkan Landsat generasi awal, dengan Sentinel-2 yang sering dimanfaatkan untuk pemantauan vegetasi dan Sentinel-1 yang menggunakan radar sehingga mampu menembus tutupan awan, sangat bermanfaat untuk wilayah tropis seperti Kalimantan yang sering tertutup awan sepanjang tahun.

Tabel 5.1 Perbandingan Beberapa Program Citra Satelit untuk Pemantauan Lingkungan

Program Satelit	Pengelola	Resolusi Spasial	Kegunaan Umum
Landsat 8/9	NASA/USGS	30 m (multispektral)	Analisis tutupan lahan jangka panjang
Sentinel-2	ESA/Copernicus	10-20 m	Pemantauan vegetasi dan pertanian
Sentinel-1	ESA/Copernicus	~10 m (radar)	Pemantauan tembus awan, deteksi banjir
MODIS	NASA	250 m - 1 km	Pemantauan hotspot kebakaran harian

5.4 Resolusi Citra: Spasial, Temporal, Spektral, dan Radiometrik

Kualitas dan kegunaan suatu citra satelit ditentukan oleh empat jenis resolusi yang saling melengkapi. Resolusi spasial menunjukkan ukuran objek terkecil yang masih dapat dibedakan pada citra, dinyatakan dalam satuan meter per piksel. Resolusi temporal menunjukkan seberapa sering satelit yang sama merekam ulang lokasi yang sama, misalnya Landsat merekam ulang lokasi yang sama setiap 16 hari.

Resolusi spektral menunjukkan jumlah dan lebar kanal panjang gelombang yang direkam sensor, dengan citra hiperspektral memiliki ratusan kanal sempit dibandingkan citra multispektral biasa yang hanya memiliki belasan kanal. Resolusi radiometrik menunjukkan kepekaan sensor dalam membedakan tingkat kecerahan/intensitas, dinyatakan dalam bit, dengan 8-bit menghasilkan 256 tingkat kecerahan sementara 12-bit menghasilkan 4096 tingkat kecerahan yang jauh lebih halus.

5.5 Interpretasi Citra untuk Pemantauan Lingkungan

Interpretasi citra dapat dilakukan secara visual (mengandalkan kemampuan mata dan pengalaman interpreter mengenali pola, warna, tekstur, dan bentuk objek) maupun secara digital menggunakan algoritma klasifikasi otomatis. Klasifikasi terbimbing (supervised classification) memerlukan operator untuk

menentukan contoh area yang mewakili setiap kelas tutupan lahan terlebih dahulu, sementara klasifikasi tidak terbimbing (*unsupervised classification*) membiarkan algoritma mengelompokkan piksel berdasarkan kemiripan nilai spektral tanpa arahan awal dari operator.

Hasil klasifikasi citra kemudian perlu diverifikasi melalui uji akurasi menggunakan data referensi lapangan (*ground truth*), untuk memastikan bahwa peta tutupan lahan yang dihasilkan benar-benar mencerminkan kondisi sesungguhnya di lapangan, bukan sekadar hasil perhitungan matematis yang terlihat meyakinkan di layar komputer namun menyimpang jauh dari kondisi nyata.

5.6 Studi Kasus: Deteksi Deforestasi dan Karhutla di Kalimantan Tengah

Pemantauan deforestasi dan kebakaran hutan/lahan di Kalimantan Tengah menjadi salah satu penerapan penginderaan jauh yang paling signifikan dampaknya. Platform Global Forest Watch, yang memanfaatkan data Landsat dan sumber citra lainnya, menyediakan peringatan dini kehilangan tutupan hutan hampir secara *real-time*, memungkinkan otoritas dan organisasi lingkungan merespons deforestasi ilegal jauh lebih cepat dibandingkan mengandalkan patroli lapangan semata.

Untuk pemantauan kebakaran, data titik panas (*hotspot*) dari sensor MODIS dan VIIRS yang diproses oleh Fire Information for Resource Management System (FIRMS) milik NASA menjadi rujukan standar yang digunakan BMKG dan KLHK dalam memantau perkembangan karhutla harian di seluruh wilayah

Indonesia, termasuk kawasan eks-PLG di Kalimantan Tengah yang menjadi salah satu titik rawan kebakaran musiman.

[Gambar 5.6 Citra satelit menunjukkan titik panas kebakaran lahan gambut Kalimantan]

Foto belum disisipkan — lengkapi dengan foto asli berlisensi bebas/berizin (mis. NASA/USGS/BIG bersifat domain publik).

Kata kunci Google Images: "satellite hotspot fire detection Kalimantan peatland"

Sumber acuan: portal resmi terkait (mis. earthexplorer.usgs.gov, tanahair.indonesia.go.id, sipsn.menlhk.go.id)

5.7 Praktikum: Eksplorasi Citra Satelit Menggunakan Google Earth Engine

Praktikum ini mengenalkan mahasiswa pada Google Earth Engine (GEE), platform berbasis cloud yang memungkinkan pengolahan citra satelit dalam skala besar tanpa memerlukan komputer berspesifikasi tinggi maupun instalasi perangkat lunak khusus. Langkah kerja meliputi: (1) pembuatan akun dan pengenalan antarmuka GEE Code Editor; (2) memuat koleksi citra Sentinel-2 untuk area studi (misalnya sekitar Kota Palangka Raya); (3) menghitung indeks vegetasi NDVI sederhana; (4) membandingkan kondisi tutupan vegetasi pada dua periode waktu berbeda; serta (5) mengekspor hasil analisis sebagai citra maupun grafik untuk dianalisis lebih lanjut.

KATA KUNCI

Penginderaan Jauh • Citra Satelit • Landsat • Sentinel • NDVI

RINGKASAN BAB

Bab ini menjelaskan prinsip penginderaan jauh, spektrum elektromagnetik, jenis citra satelit, empat jenis resolusi citra, teknik interpretasi, serta studi kasus deteksi deforestasi dan karhutla Kalimantan Tengah.

Latihan / Evaluasi

1. Jelaskan perbedaan resolusi spasial, temporal, spektral, dan radiometrik.
2. Mengapa Sentinel-1 sangat bermanfaat untuk wilayah tropis berawan seperti Kalimantan?

Soal Diskusi

Diskusikan keunggulan dan keterbatasan citra satelit gratis (Landsat/Sentinel) dibandingkan citra resolusi sangat tinggi berbayar.

Studi Kasus Tambahan (Latihan Analisis)

Kaji studi kasus deteksi karhutla pada bab ini, identifikasi peran FIRMS NASA dalam sistem peringatan dini kebakaran Indonesia.

Refleksi

Refleksikan bagaimana teknologi penginderaan jauh mengubah cara kita memantau deforestasi dibandingkan metode survei lapangan konvensional.

Tugas Individu

Unduh satu citra Landsat/Sentinel gratis dari USGS EarthExplorer atau Copernicus untuk area studi pilihan Anda.

Tugas Kelompok

Lakukan praktikum 5.7 di Google Earth Engine secara berkelompok dan bandingkan hasil NDVI dua periode waktu berbeda.

BAB 6

GPS DAN SURVEI LAPANGAN

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menjelaskan prinsip kerja GNSS/GPS, melakukan survei lapangan, dan mengintegrasikan data GPS dengan SIG.

6.1 Konsep Dasar GNSS dan GPS

Global Navigation Satellite System (GNSS) adalah istilah payung yang mencakup seluruh sistem satelit navigasi global, termasuk GPS milik Amerika Serikat, GLONASS milik Rusia, Galileo milik Uni Eropa, dan BeiDou milik Tiongkok. Meski GPS menjadi istilah yang paling populer di masyarakat, penerima modern umumnya sudah mampu menangkap sinyal dari beberapa sistem GNSS sekaligus untuk meningkatkan akurasi dan keandalan penentuan posisi.

Prinsip kerja GNSS didasarkan pada triangulasi jarak dari minimal empat satelit yang posisinya diketahui secara presisi, dihitung berdasarkan waktu tempuh sinyal radio dari satelit ke penerima di permukaan bumi. Semakin banyak satelit yang dapat ditangkap sinyalnya, semakin baik pula geometri perhitungan posisi yang dihasilkan, itulah sebabnya penerimaan sinyal GPS sering terganggu di bawah tajuk hutan lebat atau di antara gedung tinggi yang menghalangi pandangan langsung ke satelit.

6.2 Jenis-Jenis Receiver GPS

Receiver GPS navigasi (handheld/genggam) yang umum dijumpai pada telepon pintar atau perangkat GPS outdoor memiliki tingkat akurasi berkisar tiga hingga sepuluh meter, cukup memadai untuk keperluan navigasi umum dan pemetaan skala menengah seperti penandaan lokasi titik pemantauan lingkungan. Receiver GPS geodetik/survei, di sisi lain, mampu mencapai akurasi

hingga level sentimeter atau bahkan milimeter melalui teknik pengukuran diferensial, namun memerlukan perangkat yang jauh lebih mahal dan prosedur pengambilan data yang lebih rumit.

Untuk sebagian besar kebutuhan survei lingkungan di lapangan, seperti penandaan titik sampling kualitas air atau lokasi kejadian pencemaran, receiver GPS handheld sudah lebih dari cukup. Penggunaan GPS geodetik biasanya baru diperlukan untuk keperluan yang menuntut ketelitian tinggi, seperti pengukuran batas kawasan hutan lindung atau penentuan elevasi presisi untuk perencanaan drainase.

6.3 Metode Survei GPS untuk Data Lingkungan

Metode survei yang paling sederhana adalah point positioning, yaitu mencatat koordinat satu titik menggunakan satu receiver secara independen, cocok untuk keperluan pemetaan titik sampling atau lokasi kejadian. Metode static/rapid static digunakan untuk pemetaan yang menuntut akurasi lebih tinggi, dengan receiver diletakkan diam pada satu titik selama periode tertentu untuk merekam data yang kemudian diolah pascasurvei (post-processing) menggunakan data koreksi dari stasiun referensi.

Untuk pemetaan area atau jalur yang lebih luas, seperti batas kawasan konservasi atau jalur transek pemantauan, metode tracking (perekaman jalur bergerak) sering digunakan, di mana receiver merekam posisi secara kontinu sepanjang perjalanan surveyor, menghasilkan jejak garis yang kemudian dapat diimpor langsung ke perangkat lunak SIG.

6.4 Ketelitian dan Sumber Kesalahan GPS

Akurasi pengukuran GPS dipengaruhi berbagai sumber kesalahan, mulai dari kesalahan jam satelit dan receiver, kondisi atmosfer (ionosfer dan troposfer) yang membelokkan sinyal, multipath (pantulan sinyal dari bangunan atau kanopi pohon sebelum mencapai receiver), hingga geometri sebaran satelit yang sedang tertangkap (dikenal sebagai Dilution of Precision/DOP). Semakin rendah nilai DOP, semakin baik geometri satelit dan semakin akurat posisi yang dihasilkan.

Di kawasan hutan hujan tropis dengan tajuk rapat seperti banyak dijumpai di Kalimantan Tengah, sinyal GPS sering mengalami gangguan signifikan akibat penghalang kanopi, sehingga surveyor lapangan perlu memperhitungkan margin kesalahan yang lebih besar dan idealnya melakukan pengukuran berulang atau menggunakan titik terbuka terdekat sebagai referensi tambahan.

6.5 Integrasi Data GPS dengan SIG

Data koordinat hasil survei GPS umumnya disimpan dalam format sederhana seperti GPX atau CSV yang berisi kolom lintang, bujur, dan atribut tambahan (nama titik, waktu, elevasi), yang kemudian dapat diimpor langsung ke perangkat lunak SIG seperti QGIS untuk divisualisasikan dan dianalisis lebih lanjut bersama lapisan data spasial lainnya. Konsistensi sistem referensi koordinat (datum) antara data GPS dan data spasial lain yang sudah ada menjadi hal krusial yang perlu diperhatikan, karena kesalahan datum dapat menyebabkan pergeseran posisi titik hingga ratusan meter meski koordinat yang tercatat tampak benar.

6.6 Praktikum: Pengambilan Titik Koordinat Lapangan dan Transfer ke QGIS

Praktikum ini melatih mahasiswa melakukan survei GPS sederhana menggunakan aplikasi GPS pada telepon pintar (misalnya aplikasi perekam jejak GPS gratis), meliputi langkah: (1) menentukan minimal lima titik lokasi yang relevan dengan kajian lingkungan di sekitar kampus (misalnya titik pembuangan air limbah, titik vegetasi, atau titik akses sungai); (2) mencatat koordinat setiap titik beserta keterangan/atribut tambahan; (3) mengeksport data dalam format CSV atau GPX; (4) mengimpor data tersebut ke QGIS dan menampilkannya sebagai lapisan titik; serta (5) menyusun peta sederhana yang menampilkan seluruh titik hasil survei lengkap dengan label dan legenda.

KATA KUNCI

GNSS • GPS • Survei Lapangan • Ketelitian GPS • Datum

RINGKASAN BAB

Bab ini menjelaskan konsep GNSS/GPS, jenis receiver, metode survei GPS, sumber kesalahan pengukuran, serta cara mengintegrasikan data GPS dengan SIG.

Latihan / Evaluasi

1. Jelaskan mengapa akurasi GPS handheld cukup untuk sebagian besar survei lingkungan.
2. Sebutkan tiga sumber kesalahan pengukuran GPS di lapangan.

Soal Diskusi

Diskusikan tantangan penggunaan GPS di kawasan hutan hujan tropis bertajuk rapat dan cara mengatasinya.

Studi Kasus Tambahan (Latihan Analisis)

Identifikasi satu kegiatan survei lapangan lingkungan yang memerlukan integrasi data GPS dengan SIG di wilayah Anda.

Refleksi

Refleksikan pengalaman Anda menggunakan aplikasi peta/GPS pada telepon pintar. Seberapa akurat menurut pengamatan Anda?

Tugas Individu

Catat koordinat lima lokasi menggunakan aplikasi GPS telepon pintar dan evaluasi konsistensi pembacaannya.

Tugas Kelompok

Lakukan praktikum 6.6 secara berkelompok dan susun peta hasil survei GPS.

BAB 7

AKUISISI DATA LINGKUNGAN

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menjelaskan berbagai sumber dan teknik akuisisi data lingkungan serta menyusun protokol pengambilan data yang baku.

7.1 Ragam Sumber Data Lingkungan

Data lingkungan dapat diperoleh dari berbagai sumber dengan karakteristik yang berbeda-beda. Sumber primer berasal dari pengukuran langsung yang dilakukan sendiri oleh peneliti atau instansi, misalnya pengambilan sampel air sungai secara berkala. Sumber sekunder berasal dari data yang sudah dikumpulkan pihak lain, seperti basis data resmi instansi pemerintah, laporan penelitian terdahulu, maupun data dari organisasi internasional.

Di Indonesia, tiga instansi utama yang menjadi rujukan data lingkungan sekunder adalah Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) untuk data kehutanan, kualitas lingkungan, dan perizinan; Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) untuk data cuaca dan iklim; serta Badan Informasi Geospasial (BIG) untuk data peta dasar dan batas wilayah administrasi resmi.

7.2 Teknik Pengumpulan Data Lapangan

Pengumpulan data lapangan memerlukan perencanaan yang matang agar data yang dihasilkan representatif dan dapat dipertanggungjawabkan. Penentuan titik sampling perlu mempertimbangkan tujuan kajian, karakteristik area studi, serta keterbatasan sumber daya (waktu, tenaga, biaya). Untuk pemantauan kualitas sungai misalnya, titik sampling idealnya ditempatkan pada segmen hulu (sebagai kondisi rona awal/latar belakang), segmen yang diduga menerima

beban pencemar (misalnya dekat outlet limbah), dan segmen hilir untuk melihat efek akumulasi.

Selain lokasi, frekuensi pengambilan sampel juga perlu direncanakan sesuai tujuan kajian, apakah memerlukan pemantauan musiman (mewakili musim hujan dan kemarau) atau pemantauan intensif jangka pendek untuk mendeteksi kejadian pencemaran tertentu.

7.3 Standar dan Protokol Pengambilan Sampel

Konsistensi metode pengambilan sampel menjadi kunci keandalan data lingkungan, terutama ketika data akan dibandingkan antar-waktu atau antar-lokasi. Standar Nasional Indonesia (SNI) menetapkan berbagai protokol baku untuk pengambilan sampel lingkungan, misalnya SNI 6989 untuk berbagai metode pengujian air dan air limbah, yang mengatur mulai dari cara pengambilan sampel, jenis wadah yang digunakan, hingga waktu maksimal penyimpanan sebelum sampel harus dianalisis di laboratorium.

Pengabaian terhadap standar semacam ini, meski tampak sepele, dapat menghasilkan data yang menyesatkan. Sampel air yang tidak segera didinginkan setelah pengambilan misalnya, dapat mengalami perubahan konsentrasi oksigen terlarut dan parameter biologis lainnya sebelum sempat dianalisis, sehingga hasil yang diperoleh tidak lagi mencerminkan kondisi sesungguhnya di lapangan pada saat pengambilan.

7.4 Memanfaatkan Data dari Instansi Resmi

Selain mengumpulkan data primer sendiri, mahasiswa dan praktisi lingkungan perlu terampil memanfaatkan data sekunder yang telah tersedia dari

instansi resmi, karena seringkali data tersebut sudah mencakup periode waktu dan cakupan wilayah yang jauh lebih luas dibandingkan yang dapat dikumpulkan secara mandiri dalam waktu terbatas. Portal Satu Data Indonesia, Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN), serta portal data terbuka BIG (tanahair.indonesia.go.id) menjadi beberapa contoh sumber data sekunder resmi yang dapat diakses publik secara gratis.

Meski demikian, penggunaan data sekunder tetap memerlukan kehati-hatian, terutama terkait metadata (metode pengumpulan, tahun data, tingkat kedetailan) untuk memastikan data tersebut sesuai dengan kebutuhan analisis yang akan dilakukan, serta tidak digunakan di luar konteks yang semestinya.

Tabel 7.1 Sumber Data Lingkungan Sekunder Resmi di Indonesia

Instansi	Jenis Data Utama	Aksesibilitas
KLHK	Kualitas lingkungan, kehutanan, perizinan	Portal SIPSN, MENLHK, semi-terbuka
BMKG	Cuaca, iklim, kualitas udara	Data online BMKG, sebagian terbuka
BIG	Peta dasar, batas wilayah, DEM	tanahair.indonesia.go.id , terbuka
BPS	Statistik lingkungan hidup	Portal BPS, terbuka

7.5 Praktikum: Menyusun Formulir Akuisisi Data Lapangan

Praktikum ini melatih mahasiswa merancang formulir baku pengambilan data lapangan yang lengkap dan konsisten, mencakup: identitas pengambil data, tanggal dan waktu pengambilan, koordinat lokasi, kondisi cuaca saat pengambilan, metode dan alat yang digunakan, hasil pengukuran parameter yang relevan, serta catatan tambahan mengenai kondisi khusus di lokasi. Mahasiswa kemudian menguji coba formulir tersebut pada simulasi pengambilan data di lingkungan kampus, dan mengevaluasi kelengkapan serta kepraktisan formulir yang telah dirancang.

KATA KUNCI

Akuisisi Data • Data Primer • Data Sekunder • SNI • Protokol Sampling

RINGKASAN BAB

Bab ini membahas ragam sumber data lingkungan, teknik pengumpulan data lapangan, standar protokol pengambilan sampel, serta pemanfaatan data dari instansi resmi seperti KLHK, BMKG, dan BIG.

Latihan / Evaluasi

1. Jelaskan mengapa konsistensi protokol pengambilan sampel penting bagi keandalan data lingkungan.
2. Sebutkan tiga sumber data sekunder resmi di Indonesia beserta jenis data utamanya.

Soal Diskusi

Diskusikan risiko yang muncul apabila data sekunder digunakan tanpa memperhatikan metadatanya.

Studi Kasus Tambahan (Latihan Analisis)

Identifikasi satu standar SNI terkait pengambilan sampel lingkungan dan jelaskan poin-poin utamanya.

Refleksi

Refleksikan pentingnya perencanaan sebelum survei lapangan berdasarkan pengalaman praktikum yang pernah Anda ikuti.

Tugas Individu

Akses portal data terbuka BIG atau KLHK dan unduh satu dataset yang relevan dengan wilayah Anda.

Tugas Kelompok

Lakukan praktikum 7.5 secara berkelompok dan uji coba formulir akuisisi data yang telah dirancang.

BAB 8

SENSOR DAN INTERNET OF THINGS (IoT) UNTUK MONITORING LINGKUNGAN

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menjelaskan jenis sensor lingkungan, arsitektur sistem IoT, serta merancang konsep sistem monitoring berbasis IoT sederhana.

8.1 Konsep Dasar Sensor Lingkungan

Sensor lingkungan adalah perangkat yang mengubah besaran fisik, kimia, atau biologis di lingkungan menjadi sinyal listrik yang dapat diukur dan direkam. Prinsip kerja sensor sangat beragam tergantung parameter yang diukur: sensor optik memanfaatkan interaksi cahaya dengan partikel (digunakan pada sensor partikulat udara), sensor elektrokimia memanfaatkan reaksi kimia yang menghasilkan arus listrik proporsional dengan konsentrasi gas target, sementara sensor ultrasonik memanfaatkan pantulan gelombang suara untuk mengukur jarak atau ketinggian muka air.

Perkembangan teknologi sensor dalam satu dekade terakhir telah menurunkan biaya sensor kualitas udara dan air secara drastis, memungkinkan pemantauan lingkungan yang sebelumnya hanya terjangkau oleh instansi besar kini dapat dilakukan oleh individu, komunitas, maupun institusi pendidikan dengan anggaran terbatas.

8.2 Jenis Sensor Kualitas Udara dan Air

Untuk pemantauan kualitas udara, sensor partikulat (PM2.5/PM10) berbasis prinsip hamburan cahaya (light scattering) menjadi jenis yang paling populer karena harganya relatif terjangkau, meski akurasinya umumnya lebih rendah dibandingkan alat referensi gravimetrik yang digunakan stasiun

pemantauan resmi. Sensor gas seperti karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO₂), dan nitrogen dioksida (NO₂) umumnya berbasis prinsip elektrokimia.

Untuk pemantauan kualitas air, sensor pH mengukur tingkat keasaman/kebasaan berdasarkan potensial listrik elektroda, sensor konduktivitas mengukur kemampuan air menghantarkan listrik yang berkorelasi dengan kandungan ion terlarut (total dissolved solids), sedangkan sensor oksigen terlarut (dissolved oxygen) umumnya berbasis prinsip optik fluoresensi yang lebih stabil dibandingkan generasi sebelumnya yang berbasis membran elektrokimia.

Tabel 8.1 Jenis Sensor Lingkungan yang Umum Digunakan

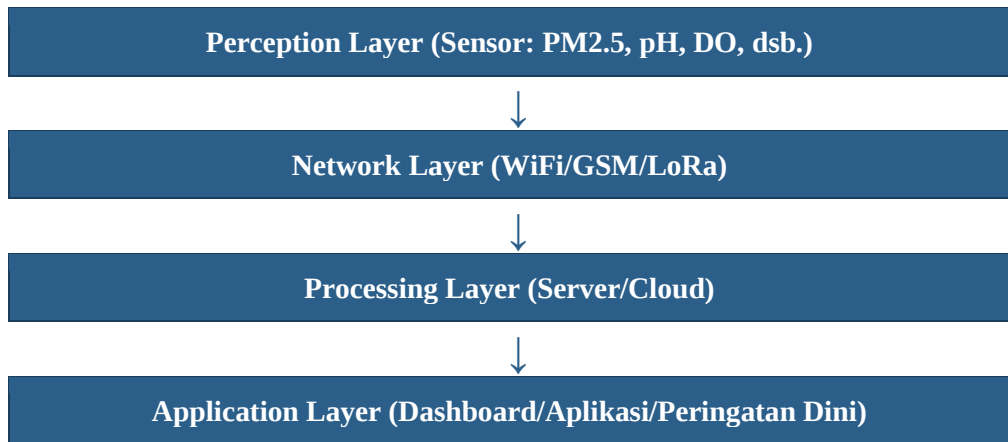
Parameter	Prinsip Sensor	Contoh Penggunaan
PM2.5/PM10	Hamburan cahaya (optik)	Monitoring kabut asap karhutla
pH air	Potensial elektroda	Monitoring kualitas sungai
Oksigen terlarut (DO)	Optik fluoresensi	Monitoring kesehatan ekosistem perairan
Suhu & kelembapan	Termistor/kapasitif	Monitoring iklim mikro & stasiun cuaca
Tinggi muka air	Ultrasonik	Monitoring debit sungai & peringatan banjir

8.3 Arsitektur Sistem IoT untuk Monitoring Lingkungan

Sistem Internet of Things (IoT) untuk pemantauan lingkungan umumnya tersusun dari empat lapisan utama. Lapisan sensor (perception layer) bertugas mengumpulkan data mentah dari lingkungan fisik. Lapisan komunikasi (network layer) bertugas mengirimkan data dari lokasi sensor menuju pusat pengolahan, dapat menggunakan berbagai teknologi seperti WiFi, seluler (GSM/4G), maupun protokol jarak jauh berdaya rendah seperti LoRa. Lapisan pengolahan (processing layer) menyimpan dan mengolah data yang masuk, biasanya pada server cloud. Lapisan aplikasi (application layer) menyajikan hasil olahan

kepada pengguna akhir melalui dashboard, aplikasi mobile, atau sistem peringatan dini otomatis.

Diagram 8.1 Arsitektur Empat Lapisan Sistem IoT Monitoring Lingkungan



Sumber: diolah oleh penulis, mengacu pada arsitektur umum sistem IoT berlapis.

8.4 Teknologi Komunikasi Data untuk IoT Lingkungan

Pemilihan teknologi komunikasi data bergantung pada kebutuhan jarak jangkauan, konsumsi daya, dan volume data yang dikirimkan. LoRa (Long Range) menjadi pilihan populer untuk sensor lingkungan di lokasi terpencil karena mampu menjangkau jarak beberapa kilometer dengan konsumsi daya sangat rendah, meski dengan kecepatan transfer data yang terbatas, sehingga cocok untuk data sensor sederhana yang tidak memerlukan pengiriman volume besar secara sering.

Jaringan seluler (GSM/4G) menawarkan cakupan yang luas mengikuti jangkauan operator telekomunikasi dan mampu mengirimkan volume data lebih besar, namun mengonsumsi daya lebih besar dan bergantung pada ketersediaan sinyal operator, yang di sejumlah kawasan terpencil Kalimantan Tengah masih menjadi tantangan tersendiri. WiFi cocok untuk instalasi sensor pada lokasi

dengan infrastruktur jaringan yang sudah tersedia, seperti di area perkantoran atau kampus.

8.5 Studi Kasus: Sistem Monitoring Kualitas Udara Berbasis IoT di Kawasan Rawan Kabut Asap

Sejumlah inisiatif pemantauan kualitas udara berbasis IoT skala komunitas telah dikembangkan di berbagai kota Indonesia yang rawan kabut asap, termasuk di wilayah Kalimantan, memanfaatkan sensor partikulat berbiaya rendah yang dipasang pada titik-titik strategis dan mengirimkan data secara berkala ke platform online yang dapat diakses publik secara real-time. Meski akurasi sensor berbiaya rendah tersebut umumnya lebih rendah dibandingkan stasiun pemantauan resmi, jaringan sensor semacam ini tetap bermanfaat besar karena mampu memberikan gambaran sebaran spasial kualitas udara yang jauh lebih rapat dibandingkan hanya mengandalkan satu atau dua stasiun resmi yang jaraknya bisa puluhan kilometer.

Integrasi data dari jaringan sensor komunitas dengan data resmi pemerintah, disertai kalibrasi berkala terhadap alat referensi, menjadi salah satu arah pengembangan sistem informasi kualitas udara yang lebih inklusif dan partisipatif ke depan.

[Gambar 8.5 Sensor kualitas udara IoT berbiaya rendah terpasang di tiang pemantauan]

Foto belum disisipkan — lengkapi dengan foto asli berlisensi bebas/berizin (mis. NASA/USGS/BIG bersifat domain publik).

Kata kunci Google Images: "low cost air quality sensor IoT monitoring station"

Sumber acuan: portal resmi terkait (mis. earthexplorer.usgs.gov, tanahair.indonesia.go.id, sipsn.menlhk.go.id)

8.6 Praktikum: Merancang Konsep Sistem Sensor Sederhana

Praktikum ini bersifat konseptual, mengarahkan mahasiswa merancang (tanpa harus merakit fisik) skema sistem monitoring IoT sederhana untuk parameter lingkungan pilihan mereka sendiri, misalnya sistem monitoring debit sungai sederhana. Tugas mencakup: (1) menentukan parameter yang akan dipantau dan sensor yang sesuai; (2) menentukan teknologi komunikasi data yang paling tepat berdasarkan lokasi dan kebutuhan; (3) menggambarkan arsitektur sistem dari sensor hingga dashboard; serta (4) mengidentifikasi tantangan teknis dan non-teknis yang mungkin dihadapi dalam implementasi nyata di lapangan.

KATA KUNCI

Sensor Lingkungan • IoT • LoRa • Arsitektur IoT • Monitoring Real-Time

RINGKASAN BAB

Bab ini menjelaskan konsep sensor lingkungan, jenis sensor kualitas udara dan air, arsitektur sistem IoT, teknologi komunikasi data, serta studi kasus monitoring kualitas udara berbasis IoT di kawasan rawan kabut asap.

Latihan / Evaluasi

1. Jelaskan empat lapisan arsitektur sistem IoT untuk monitoring lingkungan.
2. Bandingkan teknologi LoRa dan jaringan seluler untuk pengiriman data sensor di kawasan terpencil.

Soal Diskusi

Diskusikan manfaat dan keterbatasan sensor kualitas udara berbiaya rendah dibandingkan stasiun pemantauan resmi.

Studi Kasus Tambahan (Latihan Analisis)

Kaji satu inisiatif jaringan sensor kualitas udara komunitas di Indonesia dan identifikasi arsitektur IoT yang digunakannya.

Refleksi

Refleksikan bagaimana kehadiran sensor IoT murah dapat mendemokratisasi akses informasi lingkungan bagi masyarakat.

Tugas Individu

Cari spesifikasi satu jenis sensor kualitas udara/air berbiaya rendah yang tersedia di pasaran, lalu rangkum karakteristiknya.

Tugas Kelompok

Lakukan praktikum 8.6 secara berkelompok dan presentasikan rancangan sistem sensor yang diusulkan.

BAB 9

ANALISIS DATA LINGKUNGAN

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menerapkan teknik statistik deskriptif, analisis tren, dan analisis spasial dasar untuk mengolah data lingkungan.

9.1 Statistik Deskriptif sebagai Langkah Awal Analisis

Sebelum melangkah pada analisis yang lebih kompleks, data lingkungan perlu dipahami karakteristik dasarnya melalui statistik deskriptif: nilai rata-rata, median, simpangan baku, nilai minimum-maksimum, serta distribusi datanya. Langkah sederhana ini sering diabaikan mahasiswa yang terburu-buru ingin melakukan analisis 'canggih', padahal statistik deskriptif dapat mengungkap hal-hal penting seperti keberadaan data pencilan (outlier) yang mungkin mengindikasikan kesalahan pengukuran atau justru kejadian pencemaran ekstrem yang perlu ditelusuri lebih lanjut.

Sebagai ilustrasi, apabila rata-rata konsentrasi BOD suatu sungai tercatat 8 mg/L dengan simpangan baku yang sangat besar, katakanlah 15 mg/L, angka rata-rata tersebut sesungguhnya kurang representatif karena mengindikasikan variasi data yang sangat lebar, mungkin mencerminkan adanya periode pencemaran ekstrem yang tertutupi oleh perhitungan rata-rata sederhana.

9.2 Analisis Tren dan Data Deret Waktu

Data lingkungan sering disajikan sebagai deret waktu (time series), yaitu pengukuran yang sama dilakukan berulang pada interval waktu tertentu. Analisis tren sederhana menggunakan regresi linear terhadap waktu dapat menunjukkan apakah suatu parameter cenderung meningkat, menurun, atau relatif stabil dalam jangka panjang, meski perlu diwaspadai bahwa tren linear sederhana kadang tidak mampu menangkap pola musiman yang kompleks pada data lingkungan.

Untuk data dengan pola musiman yang jelas, seperti curah hujan atau konsentrasi partikulat udara yang meningkat setiap musim kemarau, analisis deret waktu yang lebih tepat perlu memisahkan komponen tren jangka panjang, komponen musiman berulang, dan komponen acak/residual, sehingga interpretasi yang dihasilkan tidak keliru akibat tercampurnya pola-pola tersebut.

9.3 Analisis Spasial Statistik

Selain analisis deret waktu, data lingkungan yang bereferensi spasial juga dapat dianalisis menggunakan teknik statistik spasial, seperti interpolasi untuk memperkirakan nilai pada lokasi yang tidak memiliki titik pengukuran berdasarkan nilai pada titik-titik di sekitarnya. Metode interpolasi Inverse Distance Weighting (IDW) mengasumsikan bahwa lokasi yang lebih dekat dengan titik pengukuran memiliki kemiripan nilai yang lebih tinggi dibandingkan lokasi yang jauh, sementara metode kriging memperhitungkan pula struktur autokorelasi spasial data secara lebih formal secara statistik.

Analisis autokorelasi spasial, seperti indeks Moran's I, dapat digunakan untuk menguji apakah pola sebaran suatu fenomena lingkungan (misalnya titik pencemaran) bersifat mengelompok (clustered), tersebar merata (dispersed), atau acak (random), yang memiliki implikasi berbeda terhadap strategi penanganan yang perlu diambil.

9.4 Perangkat Lunak untuk Analisis Data Lingkungan

Microsoft Excel tetap menjadi alat yang sangat relevan untuk analisis data lingkungan skala kecil hingga menengah, terutama dengan memanfaatkan fitur PivotTable, fungsi statistik bawaan, dan add-in Analysis ToolPak untuk uji statistik dasar. Untuk analisis yang lebih kompleks dan reproducible, perangkat

lunak seperti R atau Python (dengan pustaka seperti pandas dan scipy) menawarkan fleksibilitas jauh lebih besar, terutama ketika volume data sudah terlalu besar atau analisis perlu diulang secara rutin dengan data baru.

Bagi mahasiswa yang baru memulai, penulis menyarankan menguasai Excel secara mendalam terlebih dahulu sebagai fondasi pemahaman statistik dasar, sebelum beralih ke perangkat lunak pemrograman seperti R atau Python yang memang memerlukan kurva belajar lebih curam namun memberikan kemampuan analisis yang jauh lebih luas dalam jangka panjang.

9.5 Praktikum: Analisis Data Kualitas Air dengan Microsoft Excel

Praktikum ini menggunakan data hipotetis hasil pemantauan kualitas air bulanan pada satu stasiun selama satu tahun, mencakup parameter pH, DO, BOD, dan TSS. Mahasiswa diminta: (1) menghitung statistik deskriptif setiap parameter; (2) membuat grafik tren bulanan setiap parameter menggunakan fitur chart Excel; (3) membandingkan nilai hasil pengukuran dengan baku mutu yang berlaku (misalnya PP No. 22 Tahun 2021) untuk menentukan status pemenuhan baku mutu setiap bulan; serta (4) menyusun kesimpulan sederhana mengenai kecenderungan kualitas air sepanjang tahun tersebut beserta kemungkinan penyebabnya.

KATA KUNCI

Statistik Deskriptif • Analisis Tren • Interpolasi Spasial • Time Series • Outlier

RINGKASAN BAB

Bab ini membahas statistik deskriptif sebagai langkah awal analisis, analisis tren data deret waktu, analisis spasial statistik (interpolasi, autokorelasi spasial), serta perbandingan perangkat lunak analisis data.

Latihan / Evaluasi

1. Jelaskan mengapa simpangan baku yang besar dapat membuat nilai rata-rata kurang representatif.
2. Bedakan metode interpolasi IDW dan kriging.

Soal Diskusi

Diskusikan kapan sebaiknya beralih dari Excel menuju R/Python untuk analisis data lingkungan.

Studi Kasus Tambahan (Latihan Analisis)

Analisis satu dataset kualitas lingkungan (dapat dari tugas sebelumnya) menggunakan statistik deskriptif dan identifikasi pola yang muncul.

Refleksi

Refleksikan pengalaman Anda menemukan data pencilan (outlier) dalam suatu dataset. Bagaimana Anda menyikapinya?

Tugas Individu

Hitung statistik deskriptif (rata-rata, median, simpangan baku) dari satu set data lingkungan yang telah Anda kumpulkan.

Tugas Kelompok

Lakukan praktikum 9.5 secara berkelompok dan presentasikan tren kualitas air yang dianalisis.

BAB 10

VISUALISASI DATA LINGKUNGAN

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menerapkan prinsip visualisasi data yang baik serta menyusun grafik dan peta tematik untuk penyajian informasi lingkungan.

10.1 Mengapa Visualisasi yang Buruk Bisa Menyesatkan

Data yang benar dapat kehilangan maknanya, bahkan menyesatkan, apabila divisualisasikan dengan buruk. Grafik dengan skala sumbu yang dimanipulasi (misalnya tidak dimulai dari nol tanpa keterangan yang jelas) dapat membuat perubahan kecil terlihat dramatis, sementara pemilihan warna yang tidak tepat pada peta tematik dapat membuat pembaca salah menafsirkan tingkat keparahan suatu kondisi lingkungan.

Prinsip dasar visualisasi data yang baik justru sederhana: sajikan informasi seakurat dan sejujur mungkin, hindari elemen dekoratif yang tidak menambah informasi (chart junk), serta pilih jenis visualisasi yang paling sesuai dengan karakteristik data dan pesan yang ingin disampaikan.

10.2 Memilih Jenis Grafik yang Tepat untuk Data Lingkungan

Data deret waktu, seperti tren kualitas air bulanan, paling tepat divisualisasikan menggunakan grafik garis (line chart) yang menonjolkan perubahan dari waktu ke waktu. Perbandingan antar-kategori, seperti konsentrasi polutan pada beberapa stasiun berbeda, lebih tepat menggunakan grafik batang (bar chart). Untuk menunjukkan proporsi/komposisi, seperti persentase jenis sampah, grafik lingkaran (pie chart) dapat digunakan meski sebaiknya dibatasi tidak lebih dari lima hingga enam kategori agar tetap mudah dibaca.

Untuk data dengan dua variabel yang ingin dilihat hubungannya, seperti hubungan antara curah hujan dan debit sungai, grafik sebar (scatter plot) menjadi pilihan yang tepat karena memungkinkan identifikasi pola korelasi secara visual sebelum dilakukan analisis statistik yang lebih formal.

Tabel 10.1 Pemilihan Jenis Grafik Berdasarkan Tujuan Visualisasi Data Lingkungan

Tujuan Visualisasi	Jenis Grafik yang Disarankan
Menunjukkan tren waktu	Grafik garis (line chart)
Membandingkan antar-kategori/lokasi	Grafik batang (bar chart)
Menunjukkan proporsi/komposisi	Grafik lingkaran (pie chart), maksimal 5-6 kategori
Menunjukkan hubungan dua variabel	Grafik sebar (scatter plot)
Menunjukkan sebaran keruangan	Peta tematik (choropleth/dot map)

10.3 Peta Tematik: Menyampaikan Informasi Spasial Secara Efektif

Peta tematik (choropleth map) menyajikan data numerik pada unit wilayah tertentu (misalnya kecamatan atau kabupaten) menggunakan gradasi warna, dengan warna lebih gelap/pekat umumnya merepresentasikan nilai yang lebih tinggi. Pemilihan skema klasifikasi (interval sama, kuantil, natural breaks) dan skema warna yang tepat sangat memengaruhi bagaimana pembaca peta menafsirkan pola sebaran data, sehingga perlu dipilih secara cermat sesuai karakteristik data dan pesan yang ingin disampaikan.

Peta dot density, di sisi lain, menyajikan data menggunakan titik-titik yang mewakili unit kuantitas tertentu (misalnya satu titik mewakili sepuluh ton sampah), memberikan kesan visual mengenai kepadatan/intensitas suatu fenomena tanpa terikat pada batas administrasi tertentu.

10.4 Storytelling dengan Data Lingkungan

Visualisasi data yang baik idealnya tidak berdiri sendiri, melainkan menjadi bagian dari narasi yang koheren, yang dalam literatur data science sering disebut

data storytelling. Alih-alih menampilkan sepuluh grafik terpisah tanpa konteks, penyaji data lingkungan yang baik akan menyusun alur cerita: mulai dari kondisi awal, tren yang teramati, faktor penyebab yang diduga, hingga implikasi bagi pengambilan kebijakan, dengan setiap visualisasi mendukung satu bagian dari alur cerita tersebut.

Pendekatan storytelling ini menjadi semakin penting ketika hasil analisis data lingkungan perlu disampaikan kepada audiens nonteknis, seperti pejabat pengambil kebijakan atau masyarakat umum, yang mungkin tidak memiliki latar belakang statistik namun tetap perlu memahami esensi temuan untuk dapat mengambil tindakan yang tepat.

10.5 Praktikum: Membuat Visualisasi Data Lingkungan Terpadu

Praktikum ini meminta mahasiswa menyusun satu set visualisasi terpadu (minimal tiga jenis grafik/peta berbeda) dari satu dataset lingkungan yang sama, misalnya data kualitas udara beberapa kota di Kalimantan selama satu tahun. Mahasiswa diminta menyajikan: (1) grafik tren temporal; (2) grafik perbandingan antar-kota; serta (3) peta tematik sederhana sebaran kualitas udara, disertai narasi singkat yang menghubungkan ketiga visualisasi tersebut menjadi satu kesimpulan yang koheren.

KATA KUNCI

Visualisasi Data • Grafik • Peta Tematik • Data Storytelling • Choropleth

RINGKASAN BAB

Bab ini menjelaskan prinsip visualisasi data yang baik, pemilihan jenis grafik yang tepat, peta tematik, serta pendekatan storytelling dalam penyajian data lingkungan.

Latihan / Evaluasi

1. Jelaskan mengapa grafik dengan skala sumbu yang dimanipulasi dapat menyesatkan pembaca.
2. Sebutkan jenis grafik yang tepat untuk data tren waktu dan untuk data proporsi.

Soal Diskusi

Diskusikan contoh visualisasi data lingkungan yang menurut Anda menyesatkan dan jelaskan alasannya.

Studi Kasus Tambahan (Latihan Analisis)

Cari satu contoh peta tematik lingkungan yang dipublikasikan instansi resmi, lalu evaluasi efektivitas skema warna dan klasifikasinya.

Refleksi

Refleksikan bagaimana Anda akan menyampaikan hasil analisis data lingkungan kepada audiens yang tidak memiliki latar belakang statistik.

Tugas Individu

Buat satu grafik tren dan satu peta tematik sederhana dari data yang telah Anda kumpulkan pada bab-bab sebelumnya.

Tugas Kelompok

Lakukan praktikum 10.5 secara berkelompok dan susun narasi data storytelling dari visualisasi yang dihasilkan.

BAB 11

DASHBOARD LINGKUNGAN

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menjelaskan konsep dashboard, merancang komponen dashboard yang efektif, dan menyusun dashboard monitoring lingkungan sederhana.

11.1 Konsep Dashboard sebagai Ringkasan Informasi Real-Time

Dashboard adalah tampilan visual yang merangkum indikator-indikator kunci dari suatu sistem dalam satu layar, dirancang agar pengguna dapat memahami kondisi terkini secara sekilas tanpa perlu menggali data mentah satu per satu. Berbeda dari laporan statis yang disusun secara berkala, dashboard idealnya terhubung langsung dengan sumber data yang terus diperbarui, sehingga informasi yang ditampilkan senantiasa mencerminkan kondisi terkini.

Dalam konteks pengelolaan lingkungan, dashboard menjadi jembatan antara data teknis yang kompleks dengan kebutuhan pengambil keputusan yang seringkali tidak memiliki waktu atau latar belakang untuk menelaah data mentah secara langsung, sehingga desain dashboard yang baik menjadi krusial bagi efektivitas pengambilan keputusan berbasis data.

11.2 Jenis dan Fungsi Dashboard Lingkungan

Dashboard operasional dirancang untuk pemantauan harian atau bahkan real-time, misalnya dashboard kualitas udara yang menampilkan pembacaan sensor terkini beserta kategori ISPU. Dashboard analitis dirancang untuk mendukung analisis lebih mendalam, memungkinkan pengguna melakukan filter dan drill-down terhadap data historis untuk mengidentifikasi pola atau tren tertentu. Dashboard strategis dirancang untuk pengambil kebijakan tingkat tinggi, menampilkan indikator agregat jangka panjang seperti capaian target penurunan emisi tahunan.

11.3 Komponen Dashboard yang Efektif

Dashboard yang dirancang dengan baik umumnya memuat beberapa komponen kunci: indikator utama (Key Performance Indicator/KPI) yang ditampilkan menonjol di bagian atas, biasanya berupa angka besar dengan indikator warna status (hijau-kuning-merah); grafik tren yang menunjukkan perkembangan indikator dari waktu ke waktu; peta sebaran spasial apabila data memiliki dimensi keruangan; serta filter interaktif yang memungkinkan pengguna menyesuaikan tampilan sesuai kebutuhan (misalnya memilih rentang waktu atau lokasi tertentu).

Prinsip penting dalam desain dashboard adalah hierarki visual: informasi paling penting harus paling menonjol, sementara detail pendukung dapat ditempatkan pada bagian yang memerlukan interaksi tambahan (seperti klik atau hover) agar tidak membebani tampilan utama dengan terlalu banyak informasi sekaligus.

11.4 Platform Pembuatan Dashboard

Berbagai platform tersedia untuk membangun dashboard lingkungan, dengan tingkat kompleksitas dan biaya yang bervariasi. Microsoft Power BI dan Google Looker Studio (sebelumnya Google Data Studio) menjadi pilihan populer karena relatif mudah dipelajari, mendukung koneksi ke berbagai sumber data, dan tersedia versi gratis yang cukup memadai untuk kebutuhan dashboard skala menengah. Tableau menawarkan kemampuan visualisasi yang sangat kuat namun umumnya memerlukan biaya lisensi untuk penggunaan penuh.

Untuk kebutuhan yang lebih kustom dan terintegrasi dengan sistem berbasis web, framework seperti Leaflet (untuk peta interaktif) yang

dikombinasikan dengan pustaka visualisasi seperti Chart.js dapat digunakan untuk membangun dashboard berbasis web yang sepenuhnya disesuaikan dengan kebutuhan organisasi, meski memerlukan kemampuan pemrograman yang lebih mendalam.

11.5 Studi Kasus: Dashboard Monitoring Kualitas Udara dan Kabut Asap

Sistem Informasi Standar Pencemar Udara (ISPU) yang dikelola KLHK menjadi salah satu contoh dashboard lingkungan tingkat nasional yang menampilkan status kualitas udara berbagai kota di Indonesia secara real-time, dengan kode warna yang mudah dipahami masyarakat awam (biru untuk baik, hijau untuk sedang, kuning untuk tidak sehat bagi kelompok sensitif, dan seterusnya hingga kategori berbahaya). Pada musim kemarau ketika risiko karhutla meningkat, dashboard semacam ini menjadi rujukan utama masyarakat Kalimantan Tengah untuk memantau tingkat keparahan kabut asap harian dan memutuskan apakah aktivitas luar ruangan perlu dibatasi.

Dashboard semacam ini idealnya juga terintegrasi dengan data pendukung lain, seperti peta sebaran titik panas kebakaran dan prakiraan arah angin, sehingga pengguna tidak hanya mengetahui kondisi saat ini tetapi juga memiliki gambaran mengenai kemungkinan perkembangan kondisi dalam beberapa hari ke depan.

[Gambar 11.5 Tampilan dashboard monitoring kualitas udara dengan peta sebaran ISPU]

Foto belum disisipkan — lengkapi dengan foto asli berlisensi bebas/berizin (mis. NASA/USGS/BIG bersifat domain publik).

Kata kunci Google Images: "environmental dashboard air quality map interface"

Sumber acuan: portal resmi terkait (mis. earthexplorer.usgs.gov, tanahair.indonesia.go.id, sipsn.menlhk.go.id)

11.6 Praktikum: Merancang Dashboard Sederhana

Praktikum ini meminta mahasiswa merancang mock-up (rancangan tampilan) dashboard monitoring lingkungan sederhana menggunakan Microsoft Excel atau Power BI versi gratis, mencakup: (1) penentuan minimal tiga indikator kunci yang akan ditampilkan; (2) perancangan tata letak dashboard dengan mempertimbangkan hierarki visual; (3) pembuatan grafik dan indikator status menggunakan data contoh; serta (4) presentasi singkat mengenai alasan pemilihan indikator dan tata letak yang dirancang.

KATA KUNCI

Dashboard • KPI • Power BI • Looker Studio • ISPU

RINGKASAN BAB

Bab ini membahas konsep dashboard, jenis dan fungsinya, komponen dashboard yang efektif, platform pembuatan dashboard, serta studi kasus dashboard monitoring kualitas udara dan kabut asap.

Latihan / Evaluasi

1. Jelaskan perbedaan dashboard operasional, analitis, dan strategis.
2. Sebutkan komponen utama yang harus ada pada dashboard lingkungan yang efektif.

Soal Diskusi

Diskusikan mengapa hierarki visual penting dalam desain dashboard lingkungan.

Studi Kasus Tambahan (Latihan Analisis)

Analisis tampilan dashboard ISPU KLHK dan identifikasi komponen KPI, grafik, dan peta yang digunakannya.

Refleksi

Refleksikan pengalaman Anda menggunakan aplikasi ISPU atau dashboard lingkungan lain. Apa yang menurut Anda sudah baik dan apa yang bisa diperbaiki?

Tugas Individu

Buat sketsa (mock-up) tata letak dashboard lingkungan pilihan Anda di atas kertas atau slide sederhana.

Tugas Kelompok

Lakukan praktikum 11.6 secara berkelompok menggunakan Power BI atau Excel.

BAB 12

PENGELOLAAN BASIS DATA LINGKUNGAN

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menjelaskan konsep tata kelola data, keamanan data, dan interoperabilitas dalam pengelolaan basis data lingkungan.

12.1 Tata Kelola Data (Data Governance)

Tata kelola data merujuk pada keseluruhan kebijakan, prosedur, dan tanggung jawab yang mengatur bagaimana data dikumpulkan, disimpan, digunakan, dan dipelihara dalam suatu organisasi. Tanpa tata kelola yang jelas, basis data lingkungan rentan mengalami duplikasi, inkonsistensi format antar-unit kerja, serta ketidakjelasan mengenai siapa yang bertanggung jawab memutakhirkan data tertentu ketika terjadi perubahan personel.

Tata kelola data yang baik biasanya mencakup penetapan data owner (pemilik data yang bertanggung jawab atas akurasi dan pemutakhiran), data steward (pengelola teknis harian basis data), serta kebijakan mengenai siapa saja yang berhak mengakses, mengubah, atau menghapus data tertentu, yang menjadi semakin penting ketika basis data melibatkan banyak pihak lintas instansi.

12.2 Keamanan dan Privasi Data Lingkungan

Meski data lingkungan umumnya tidak sesensitif data pribadi, aspek keamanan tetap perlu diperhatikan, terutama untuk mencegah manipulasi data yang dapat berdampak pada pengambilan keputusan yang keliru, misalnya perubahan tidak sah pada data hasil pemantauan yang digunakan untuk pelaporan kepatuhan lingkungan suatu perusahaan. Prinsip keamanan dasar seperti kontrol akses berjenjang, log audit perubahan data, serta backup berkala menjadi praktik yang seharusnya diterapkan pada setiap sistem basis data lingkungan, betapapun kecil skalanya.

Aspek privasi menjadi relevan ketika data lingkungan terkait dengan lokasi properti pribadi, misalnya data sumur pantau air tanah pada lahan milik warga, yang memerlukan persetujuan dan perlindungan data lokasi yang memadai agar tidak disalahgunakan.

12.3 Interoperabilitas dan Standar Data

Salah satu tantangan terbesar pengelolaan data lingkungan di Indonesia adalah minimnya interoperabilitas, yaitu kemampuan sistem yang berbeda untuk saling bertukar dan memahami data satu sama lain. Ketika setiap instansi menggunakan format, struktur, dan istilah yang berbeda untuk data yang secara substansi sama, integrasi data lintas instansi menjadi pekerjaan yang sangat memakan waktu dan rawan kesalahan.

Standar data terbuka seperti format GeoJSON dan Shapefile untuk data spasial, serta standar metadata seperti Dublin Core, membantu meningkatkan interoperabilitas antar-sistem. Inisiatif Satu Data Indonesia yang diamanatkan Peraturan Presiden Nomor 39 Tahun 2019 merupakan salah satu upaya pemerintah mendorong standardisasi data lintas instansi, termasuk data lingkungan, agar dapat saling dipertukarkan dan dimanfaatkan bersama secara lebih efisien.

12.4 Data Warehouse Lingkungan

Data warehouse adalah basis data berskala besar yang dirancang khusus untuk mengintegrasikan data dari berbagai sumber dan periode waktu, dioptimalkan untuk keperluan analisis dan pelaporan, berbeda dari basis data operasional yang dioptimalkan untuk transaksi harian. Data warehouse lingkungan memungkinkan analisis tren jangka panjang yang mengintegrasikan

data dari berbagai program pemantauan yang mungkin dikelola oleh unit kerja berbeda, misalnya menggabungkan data kualitas air, kualitas udara, dan tutupan lahan dalam satu platform analisis terpadu untuk melihat keterkaitan antar-aspek lingkungan tersebut secara komprehensif.

12.5 Studi Kasus: Sistem Informasi Lingkungan Hidup Daerah

Setiap pemerintah daerah di Indonesia, termasuk Provinsi Kalimantan Tengah, memiliki kewajiban menyusun Dokumen Informasi Kinerja Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah (DIKPLHD) setiap tahun, yang pada dasarnya merupakan kompilasi data lingkungan dari berbagai sumber dan unit kerja ke dalam satu laporan terpadu. Proses penyusunan DIKPLHD sering kali menjadi momen yang mengungkap betapa terfragmentasinya data lingkungan antar-instansi, karena data yang sama, misalnya luas tutupan hutan, bisa saja berbeda angkanya antara data yang dimiliki dinas lingkungan hidup dengan data dinas kehutanan.

Pengembangan sistem informasi lingkungan hidup daerah yang terintegrasi, alih-alih hanya mengandalkan kompilasi manual tahunan, menjadi kebutuhan mendesak agar data lingkungan daerah dapat dipantau secara berkelanjutan dan konsisten, bukan sekadar snapshot tahunan yang disusun menjelang tenggat pelaporan.

KATA KUNCI

Tata Kelola Data • Keamanan Data • Interoperabilitas • Satu Data Indonesia • Data Warehouse

RINGKASAN BAB

Bab ini membahas tata kelola data, keamanan dan privasi data lingkungan, interoperabilitas dan standar data, konsep data warehouse, serta studi kasus Sistem Informasi Lingkungan Hidup Daerah.

Latihan / Evaluasi

1. Jelaskan peran data owner dan data steward dalam tata kelola data lingkungan.
2. Mengapa interoperabilitas data menjadi tantangan besar antar-instansi di Indonesia?

Soal Diskusi

Diskusikan bagaimana inisiatif Satu Data Indonesia dapat memperbaiki fragmentasi data lingkungan antar-instansi.

Studi Kasus Tambahan (Latihan Analisis)

Kaji proses penyusunan DIKPLHD pada bab ini dan identifikasi tantangan interoperabilitas yang mungkin dihadapi.

Refleksi

Refleksikan pengalaman Anda (atau cerita yang pernah didengar) mengenai perbedaan data yang sama antara dua instansi berbeda.

Tugas Individu

Cari satu dokumen DIKPLHD daerah (dapat diakses online) dan identifikasi sumber data yang digunakannya.

Tugas Kelompok

Diskusikan dan rancang kebijakan tata kelola data sederhana untuk basis data lingkungan hipotetis kelompok Anda.

BAB 13

PEMODELAN LINGKUNGAN

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menjelaskan konsep pemodelan lingkungan, jenis-jenis model, serta menerapkan model sederhana untuk memprediksi kondisi lingkungan.

13.1 Mengapa Kita Memerlukan Model

Model, dalam konteks ilmu lingkungan, adalah representasi sederhana dari sistem nyata yang kompleks, dibangun untuk membantu memahami, menjelaskan, atau memprediksi perilaku sistem tersebut tanpa harus menunggu kejadian sesungguhnya terjadi. Alih-alih menunggu sungai benar-benar tercemar untuk mengetahui dampaknya, model kualitas air memungkinkan simulasi berbagai skenario pembuangan limbah dan memperkirakan dampaknya terhadap konsentrasi pencemar di berbagai titik sungai.

Penting dipahami bahwa model, secanggih apapun, tetaplah penyederhanaan dari realitas yang jauh lebih kompleks. Model yang baik bukanlah model yang paling rumit, melainkan model yang cukup sederhana untuk dipahami dan digunakan, namun cukup akurat untuk merepresentasikan aspek-aspek penting dari sistem yang dimodelkan sesuai tujuan penggunaannya.

13.2 Klasifikasi Model Lingkungan

Berdasarkan pendekatan matematisnya, model dibedakan menjadi model deterministik, yang menghasilkan keluaran yang sama persis setiap kali dijalankan dengan input yang sama (mengasumsikan tidak ada ketidakpastian acak), dan model stokastik/probabilistik, yang memasukkan unsur ketidakpastian dan menghasilkan rentang kemungkinan keluaran beserta probabilitasnya. Berdasarkan dimensi ruangnya, model dibedakan menjadi model lumped (menganggap seluruh sistem sebagai satu unit homogen) dan

model terdistribusi/spasial (memperhitungkan variasi kondisi antar-lokasi secara eksplisit).

13.3 Model Kualitas Air dan Udara

Model kualitas air klasik seperti model Streeter-Phelps menggambarkan hubungan antara konsentrasi Biochemical Oxygen Demand (BOD) dan oksigen terlarut sepanjang aliran sungai setelah menerima beban pencemar organik, memperhitungkan proses deoksigenasi (konsumsi oksigen oleh mikroorganisme pengurai bahan organik) dan reaerasi (penambahan oksigen dari atmosfer). Model ini, meski relatif sederhana, tetap menjadi dasar pemahaman bagi model-model kualitas air yang lebih kompleks yang digunakan saat ini.

Untuk kualitas udara, model dispersi atmosferik seperti model Gaussian plume memperkirakan sebaran konsentrasi polutan dari suatu sumber titik (misalnya cerobong pabrik) berdasarkan kecepatan dan arah angin, stabilitas atmosfer, serta karakteristik sumber emisi, memungkinkan estimasi dampak suatu fasilitas industri terhadap kualitas udara di sekitarnya sebelum fasilitas tersebut benar-benar beroperasi, sebagaimana lazim digunakan dalam kajian AMDAL.

13.4 Kalibrasi dan Validasi Model

Model yang baru dibangun umumnya masih memerlukan proses kalibrasi, yaitu penyesuaian parameter model agar keluarannya sesuai dengan data pengamatan nyata di lapangan. Setelah dikalibrasi, model perlu divalidasi menggunakan data pengamatan independen yang tidak digunakan pada tahap kalibrasi, untuk menguji apakah model benar-benar mampu memprediksi

kondisi pada situasi yang berbeda, bukan sekadar 'menghafal' data kalibrasi yang telah digunakan.

Tahap kalibrasi dan validasi ini sering menjadi bagian yang dilewatkan oleh praktisi yang terburu-buru, padahal tanpanya, hasil pemodelan tidak dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah dan berisiko menghasilkan prediksi yang menyesatkan pengambilan kebijakan.

13.5 Praktikum: Model Sederhana Neraca Massa Polutan

Praktikum ini mengajak mahasiswa membangun model neraca massa sederhana untuk memperkirakan konsentrasi polutan pada suatu badan air setelah menerima beban pencemar, menggunakan prinsip kesetimbangan massa: $\text{konsentrasi campuran} = (\text{debit sungai} \times \text{konsentrasi awal} + \text{debit limbah} \times \text{konsentrasi limbah}) / (\text{debit sungai} + \text{debit limbah})$. Mahasiswa diminta menghitung skenario pencampuran menggunakan beberapa kombinasi debit dan konsentrasi berbeda menggunakan Microsoft Excel, kemudian menginterpretasikan hasilnya dalam konteks pemenuhan baku mutu air sungai penerima.

KATA KUNCI

Pemodelan Lingkungan • Model Deterministik • Model Streeter-Phelps • Kalibrasi • Validasi Model

RINGKASAN BAB

Bab ini membahas konsep model lingkungan, klasifikasi model, model kualitas air dan udara, serta pentingnya tahap kalibrasi dan validasi model sebelum digunakan untuk pengambilan keputusan.

Latihan / Evaluasi

1. Jelaskan perbedaan model deterministik dan stokastik beserta contohnya.
2. Mengapa tahap validasi model tidak boleh menggunakan data yang sama dengan tahap kalibrasi?

Soal Diskusi

Diskusikan mengapa model, seaneangih apapun, tetap merupakan penyederhanaan dari realitas dan implikasinya bagi pengambilan kebijakan.

Studi Kasus Tambahan (Latihan Analisis)

Kaji penerapan model Gaussian plume dalam konteks kajian AMDAL suatu industri, lalu jelaskan variabel input yang diperlukan.

Refleksi

Refleksikan bagaimana Anda akan menjelaskan keterbatasan suatu model kepada pengambilan kebijakan yang mengharapkan kepastian mutlak.

Tugas Individu

Cari satu contoh penerapan model kualitas air atau udara pada penelitian/laporan yang dipublikasikan, lalu rangkum metodenya.

Tugas Kelompok

Lakukan praktikum 13.5 secara berkelompok dan diskusikan hasil skenario neraca massa yang dihitung.

BAB 14

SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN LINGKUNGAN

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menjelaskan konsep sistem pendukung keputusan serta menerapkan metode analisis multikriteria untuk persoalan lingkungan.

14.1 Konsep Dasar Sistem Pendukung Keputusan (SPK)

Sistem Pendukung Keputusan atau Decision Support System (DSS) adalah sistem berbasis komputer yang membantu pengambil keputusan mengolah data dan model untuk mengevaluasi berbagai alternatif keputusan, tanpa menggantikan sepenuhnya penilaian dan pertimbangan manusia. DSS lingkungan menjadi relevan ketika persoalan yang dihadapi melibatkan banyak kriteria yang saling bertentangan, misalnya menentukan lokasi Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) sampah yang harus mempertimbangkan jarak dari permukiman, kondisi geologi, aksesibilitas jalan, dan harga lahan secara bersamaan.

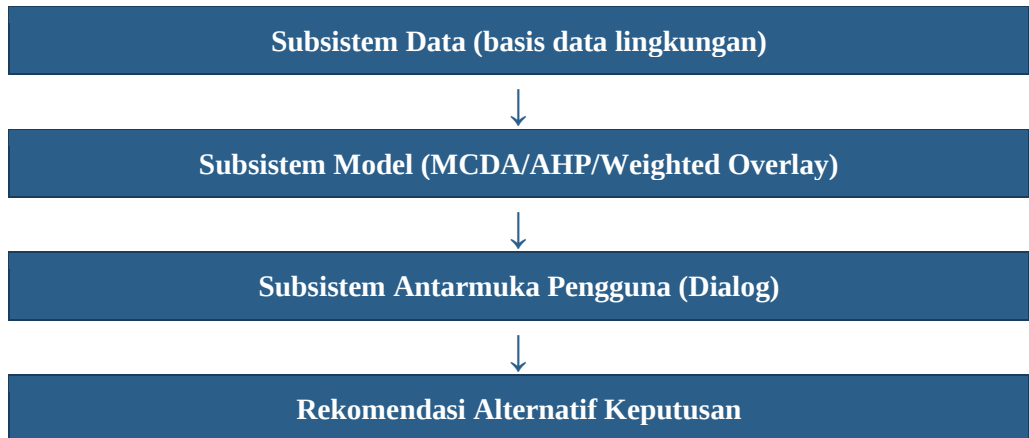
Berbeda dari sistem informasi biasa yang hanya menyajikan data, DSS dirancang untuk secara eksplisit mendukung proses pengambilan keputusan, mulai dari identifikasi alternatif, evaluasi kriteria, hingga perankingan alternatif berdasarkan bobot kepentingan masing-masing kriteria yang ditentukan pengambil keputusan.

14.2 Komponen Sistem Pendukung Keputusan Lingkungan

DSS lingkungan umumnya terdiri atas tiga komponen utama: subsistem data (basis data yang menyimpan informasi relevan untuk pengambilan keputusan), subsistem model (kumpulan model matematis atau algoritma yang digunakan untuk mengevaluasi alternatif), serta subsistem antarmuka pengguna

(dialog) yang memungkinkan pengambil keputusan berinteraksi dengan sistem, memasukkan preferensi, dan menerima hasil rekomendasi dalam format yang mudah dipahami.

Diagram 14.1 Arsitektur Sistem Pendukung Keputusan Lingkungan



Sumber: diolah oleh penulis, mengacu pada arsitektur umum Decision Support System (Turban et al., 2011).

14.3 Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA)

Multi-Criteria Decision Analysis adalah kerangka kerja formal untuk mengevaluasi alternatif berdasarkan beberapa kriteria yang seringkali saling bertentangan. Salah satu metode MCDA yang paling banyak diterapkan dalam persoalan lingkungan adalah Analytical Hierarchy Process (AHP), yang dikembangkan Thomas Saaty, di mana pengambil keputusan melakukan perbandingan berpasangan antar-kriteria untuk menentukan bobot kepentingan relatif masing-masing kriteria secara sistematis.

Metode Weighted Sum Model, yang lebih sederhana dibandingkan AHP, menghitung skor total setiap alternatif sebagai penjumlahan nilai setiap kriteria dikalikan bobotnya masing-masing. Meski lebih mudah diterapkan, metode ini

memerlukan normalisasi data yang cermat terlebih dahulu, mengingat kriteria yang berbeda biasanya memiliki satuan dan rentang nilai yang sangat berbeda (misalnya jarak dalam kilometer versus harga lahan dalam rupiah per meter persegi).

Tabel 14.1 Contoh Kriteria dalam Analisis Pemilihan Lokasi TPA Menggunakan MCDA

Kriteria	Jenis Data	Bobot Kepentingan (Contoh)
Jarak dari permukiman	Kuantitatif (km)	25%
Kondisi geologi/permeabilitas tanah	Kualitatif/kuantitatif	30%
Aksesibilitas jalan	Kuantitatif (kondisi jalan)	20%
Harga lahan	Kuantitatif (Rp/m ²)	15%
Jarak dari sumber air	Kuantitatif (km)	10%

14.4 Integrasi DSS dengan SIG

Ketika persoalan pengambilan keputusan melibatkan dimensi keruangan, seperti pemilihan lokasi fasilitas atau penentuan prioritas area intervensi, integrasi DSS dengan SIG (spatial DSS) menjadi pendekatan yang sangat efektif. Setiap kriteria dapat direpresentasikan sebagai lapisan data spasial (misalnya peta jarak dari permukiman, peta jenis tanah, peta aksesibilitas jalan), yang kemudian digabungkan melalui operasi overlay berbobot (weighted overlay) untuk menghasilkan peta kesesuaian akhir yang menunjukkan tingkat kelayakan setiap lokasi di seluruh area studi secara visual.

14.5 Studi Kasus: Analisis Multikriteria Pemilihan Lokasi TPA

Sebagai ilustrasi penerapan pada konteks lokal, penentuan lokasi TPA baru di sekitar Palangka Raya perlu mempertimbangkan karakteristik lahan gambut yang mendominasi wilayah tersebut, yang memiliki daya dukung tanah rendah dan berpotensi tinggi terhadap pencemaran air tanah apabila sistem lapisan kedap (liner) tidak dirancang dengan baik. Analisis multikriteria untuk kasus

semacam ini perlu memberikan bobot yang cukup tinggi pada kriteria kondisi geologi dan jarak dari badan air, mengingat risiko lindi (leachate) yang mencemari lingkungan sekitar jauh lebih besar pada lahan gambut dibandingkan lahan mineral yang lebih stabil.

14.6 Praktikum: Menyusun Matriks Keputusan Sederhana

Praktikum ini meminta mahasiswa menerapkan metode Weighted Sum Model sederhana menggunakan Microsoft Excel untuk mengevaluasi tiga hingga empat alternatif lokasi (dapat berupa data hipotetis), dengan minimal empat kriteria yang telah dinormalisasi dan diberi bobot, kemudian menentukan lokasi yang paling direkomendasikan berdasarkan skor total tertinggi, disertai analisis sensitivitas sederhana dengan mengubah bobot salah satu kriteria untuk melihat apakah keputusan akhir berubah.

KATA KUNCI

Sistem Pendukung Keputusan • MCDA • AHP • Weighted Overlay • Pemilihan Lokasi TPA

RINGKASAN BAB

Bab ini menjelaskan konsep sistem pendukung keputusan, komponen DSS lingkungan, metode analisis multikriteria (AHP, Weighted Sum Model), integrasi DSS dengan SIG, serta studi kasus pemilihan lokasi TPA.

Latihan / Evaluasi

1. Jelaskan perbedaan metode AHP dan Weighted Sum Model dalam MCDA.
2. Mengapa kriteria kondisi geologi perlu diberi bobot tinggi dalam pemilihan lokasi TPA di lahan gambut?

Soal Diskusi

Diskusikan bagaimana subjektivitas pengambil keputusan dapat memengaruhi hasil analisis MCDA meski menggunakan metode yang sama.

Studi Kasus Tambahan (Latihan Analisis)

Analisis studi kasus pemilihan lokasi TPA pada bab ini dan usulkan kriteria tambahan yang relevan untuk konteks lahan gambut.

Refleksi

Refleksikan satu keputusan penting dalam hidup Anda yang melibatkan banyak kriteria. Bagaimana Anda menimbang kriteria-kriteria tersebut?

Tugas Individu

Tentukan bobot lima kriteria pemilihan lokasi fasilitas lingkungan pilihan Anda sendiri beserta justifikasinya.

Tugas Kelompok

Lakukan praktikum 14.6 secara berkelompok menggunakan Weighted Sum Model di Excel.

BAB 15

BIG DATA DAN ARTIFICIAL INTELLIGENCE UNTUK LINGKUNGAN

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menjelaskan konsep big data dan kecerdasan buatan serta penerapannya dalam prediksi dan pemantauan lingkungan.

15.1 Big Data dalam Konteks Lingkungan

Istilah big data merujuk pada volume data yang sangat besar, beragam jenisnya, dan dihasilkan dengan kecepatan tinggi, sehingga tidak dapat diolah secara efektif menggunakan pendekatan pengolahan data konvensional. Di bidang lingkungan, sumber big data meliputi arsip citra satelit yang terus bertambah setiap hari, data sensor IoT yang mengirimkan pembacaan setiap beberapa detik dari ribuan titik, hingga data media sosial yang dapat dianalisis untuk mendeteksi laporan warga mengenai kejadian pencemaran secara real-time.

Karakteristik big data sering diringkas dalam konsep 5V: volume (jumlah data yang sangat besar), velocity (kecepatan data dihasilkan dan perlu diproses), variety (keragaman jenis dan format data), veracity (tingkat keandalan/kepercayaan data yang bervariasi), serta value (nilai/manfaat yang dapat diekstraksi dari data tersebut bagi pengambilan keputusan).

15.2 Machine Learning untuk Prediksi Lingkungan

Machine learning, sebagai cabang kecerdasan buatan yang memungkinkan sistem belajar pola dari data tanpa diprogram secara eksplisit untuk setiap aturan, telah banyak diterapkan pada persoalan prediksi lingkungan. Algoritma seperti random forest dan gradient boosting sering digunakan untuk memprediksi konsentrasi polutan udara berdasarkan variabel meteorologi dan data historis,

sementara jaringan syaraf tiruan (neural network) semakin banyak digunakan untuk memprediksi debit sungai atau risiko banjir berdasarkan data curah hujan dan karakteristik DAS.

Penting dicatat bahwa performa model machine learning sangat bergantung pada kualitas dan kuantitas data pelatihan yang tersedia. Pada wilayah dengan keterbatasan data historis, seperti banyak kawasan di Kalimantan Tengah yang belum memiliki jaringan pemantauan rapat dan panjang, penerapan machine learning perlu dilakukan secara hati-hati, kadang memerlukan pendekatan transfer learning yang memanfaatkan model yang telah dilatih pada wilayah lain dengan karakteristik serupa.

15.3 Studi Kasus: Kecerdasan Buatan untuk Prediksi Risiko Karhutla

Sejumlah penelitian di Indonesia telah mengembangkan model machine learning untuk memprediksi risiko kebakaran hutan dan lahan berdasarkan kombinasi data cuaca (curah hujan, kelembapan, kecepatan angin), data kelembapan gambut, riwayat kejadian kebakaran sebelumnya, serta datautupan lahan, dengan tujuan menghasilkan peta risiko kebakaran harian yang dapat digunakan otoritas untuk mengarahkan patroli pencegahan secara lebih tepat sasaran, alih-alih menyebar merata ke seluruh wilayah yang risikonya sesungguhnya tidak seragam.

Model prediksi semacam ini, meski menjanjikan, tetap memerlukan validasi berkelanjutan terhadap kejadian aktual di lapangan, mengingat kompleksitas interaksi antara faktor alam dan faktor manusia (seperti praktik

pembukaan lahan) yang memengaruhi kejadian kebakaran, yang tidak selalu dapat ditangkap sepenuhnya oleh model statistik semata.

[Gambar 15.3 Peta prediksi risiko kebakaran lahan berbasis model machine learning]

Foto belum disisipkan — lengkapi dengan foto asli berlisensi bebas/berizin (mis. NASA/USGS/BIG bersifat domain publik).

Kata kunci Google Images: "fire risk prediction map machine learning Indonesia"

Sumber acuan: portal resmi terkait (mis. earthexplorer.usgs.gov, tanahair.indonesia.go.id, sipsn.menlhk.go.id)

15.4 Etika dan Tantangan Penerapan AI Lingkungan

Penerapan kecerdasan buatan dalam pengelolaan lingkungan tidak lepas dari sejumlah tantangan etis dan praktis. Bias data pelatihan, misalnya, dapat menyebabkan model bekerja baik pada wilayah yang datanya melimpah namun buruk pada wilayah yang datanya minim, berpotensi memperlebar kesenjangan informasi antara wilayah maju dan tertinggal. Ketergantungan berlebihan pada rekomendasi model tanpa pemahaman terhadap keterbatasannya (dikenal sebagai automation bias) juga berisiko menghasilkan keputusan yang keliru apabila model gagal menangkap kondisi khusus yang tidak terwakili dalam data pelatihannya.

Transparansi model, dalam arti kemampuan menjelaskan mengapa suatu model menghasilkan prediksi tertentu (explainable AI), menjadi semakin penting terutama ketika hasil model digunakan untuk keputusan yang berdampak luas, seperti penentuan status kepatuhan lingkungan suatu perusahaan atau prioritas penanganan bencana.

15.5 Praktikum: Eksplorasi Prediksi Sederhana Menggunakan Regresi

Sebagai pengantar menuju pemahaman machine learning yang lebih kompleks, praktikum ini mengajak mahasiswa membangun model regresi linear sederhana menggunakan Microsoft Excel (fitur Trendline atau Analysis ToolPak) untuk memprediksi satu variabel lingkungan berdasarkan variabel lainnya, misalnya memprediksi konsentrasi PM2.5 berdasarkan data kelembapan udara. Mahasiswa diminta mengevaluasi kualitas model menggunakan koefisien determinasi (R^2) dan mendiskusikan keterbatasan model regresi sederhana dibandingkan model machine learning yang lebih kompleks.

KATA KUNCI

Big Data • 5V • Machine Learning • Prediksi Karhutla • Explainable AI

RINGKASAN BAB

Bab ini membahas konsep big data dalam konteks lingkungan, karakteristik 5V, penerapan machine learning untuk prediksi lingkungan, studi kasus prediksi risiko karhutla, serta etika dan tantangan AI lingkungan.

Latihan / Evaluasi

1. Jelaskan lima karakteristik big data (5V) dalam konteks data lingkungan.
2. Mengapa performa model machine learning bergantung pada kualitas dan kuantitas data pelatihan?

Soal Diskusi

Diskusikan risiko automation bias dalam penerapan AI untuk pengambilan keputusan lingkungan.

Studi Kasus Tambahan (Latihan Analisis)

Kaji studi kasus prediksi risiko karhutla pada bab ini dan identifikasi variabel input yang paling relevan untuk konteks Kalimantan Tengah.

Refleksi

Refleksikan bagaimana Anda akan memastikan model AI yang digunakan tetap transparan dan dapat dipertanggungjawabkan.

Tugas Individu

Cari satu contoh penelitian machine learning untuk prediksi lingkungan di Indonesia, lalu rangkum metode dan hasilnya.

Tugas Kelompok

Lakukan praktikum 15.5 secara berkelompok menggunakan regresi linear di Excel.

BAB 16

SMART ENVIRONMENT

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menjelaskan konsep smart environment serta integrasi teknologi IoT, AI, dan dashboard dalam pengelolaan lingkungan cerdas.

16.1 Dari Smart City Menuju Smart Environment

Konsep smart city yang telah lebih dahulu populer merujuk pada pemanfaatan teknologi informasi dan komunikasi untuk meningkatkan efisiensi layanan perkotaan, mulai dari transportasi, energi, hingga keamanan. Smart environment merupakan perluasan konsep tersebut yang secara khusus berfokus pada pengelolaan aspek lingkungan hidup secara cerdas, terintegrasi, dan berbasis data real-time, mencakup pemantauan kualitas udara dan air, pengelolaan sampah, hingga manajemen ruang terbuka hijau.

Smart environment tidak sekadar berarti memasang banyak sensor di berbagai lokasi, melainkan bagaimana data dari seluruh sensor tersebut terintegrasi dalam satu sistem yang mampu memberikan wawasan (insight) dan bahkan mengambil tindakan otomatis tertentu, misalnya menyalakan sistem peringatan dini banjir secara otomatis ketika sensor ketinggian air melewati ambang batas tertentu.

16.2 Komponen Utama Smart Environment

Ekosistem smart environment umumnya terdiri atas lapisan sensor (jaringan IoT yang tersebar luas), lapisan konektivitas (infrastruktur jaringan yang menghubungkan seluruh sensor), lapisan pengolahan data (platform cloud/big data yang mengintegrasikan dan menganalisis data dari seluruh sensor), lapisan kecerdasan (algoritma AI/machine learning yang menghasilkan

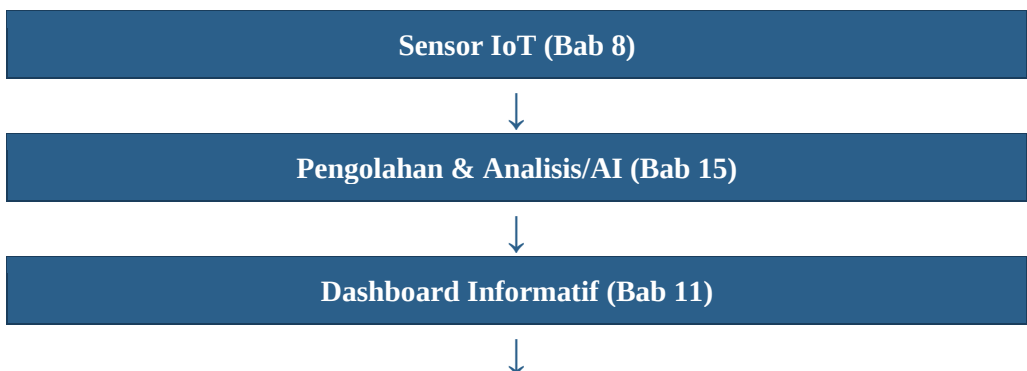
prediksi dan rekomendasi), serta lapisan aksi (dashboard, aplikasi mobile, atau sistem otomatis yang menindaklanjuti hasil analisis).

16.3 Integrasi IoT, AI, dan Dashboard dalam Satu Ekosistem

Kekuatan sesungguhnya smart environment terletak pada integrasi menyeluruh antar-teknologi yang telah dibahas pada bab-bab sebelumnya. Data dari sensor IoT (Bab 8) yang telah dianalisis menggunakan teknik machine learning (Bab 15) kemudian disajikan melalui dashboard yang informatif (Bab 11), dan pada tingkat yang lebih maju, hasil analisis tersebut dapat langsung memicu tindakan otomatis melalui sistem pendukung keputusan (Bab 14), menciptakan siklus tertutup dari pengumpulan data hingga tindakan nyata tanpa memerlukan intervensi manual pada setiap tahapnya.

Sebagai contoh konkret, sistem smart environment untuk pemantauan sungai dapat dirancang agar ketika sensor kualitas air mendeteksi penurunan drastis kadar oksigen terlarut yang mengindikasikan pencemaran akut, sistem secara otomatis mengirimkan notifikasi kepada petugas terkait, sekaligus memicu pengambilan sampel tambahan pada titik-titik di sekitarnya untuk konfirmasi lebih lanjut.

Diagram 16.1 Integrasi Siklus Tertutup Smart Environment



Sistem Pendukung Keputusan (Bab 14)



Tindakan/Notifikasi Otomatis

Sumber: diolah oleh penulis sebagai kerangka integrasi smart environment.

16.4 Studi Kasus Smart Environment di Indonesia

Sejumlah kota besar di Indonesia telah mulai mengembangkan komponen-komponen smart environment, meski implementasi yang benar-benar terintegrasi secara menyeluruh masih terbatas. Jakarta Smart City mengintegrasikan berbagai data pemantauan lingkungan perkotaan, termasuk kualitas udara dan genangan banjir, ke dalam satu platform yang dapat diakses publik. Sejumlah kota lain telah mengembangkan sistem informasi pengelolaan sampah berbasis aplikasi yang memungkinkan pelaporan dan pemantauan pengangkutan sampah secara real-time.

Untuk wilayah seperti Kalimantan Tengah, penerapan smart environment yang paling relevan dan mendesak kemungkinan besar berfokus pada integrasi sistem peringatan dini karhutla dan kabut asap, mengingat dampaknya yang berulang dan luas terhadap kesehatan masyarakat serta perekonomian daerah setiap musim kemarau.

KATA KUNCI

Smart Environment • Smart City • Integrasi Teknologi • Peringatan Dini • Ekosistem Digital

RINGKASAN BAB

Bab ini menjelaskan konsep smart environment sebagai perluasan smart city, komponen utamanya, integrasi IoT-AI-dashboard dalam satu ekosistem, serta studi kasus smart environment di Indonesia.

Latihan / Evaluasi

1. Jelaskan perbedaan smart city dan smart environment.
2. Sebutkan lima lapisan utama ekosistem smart environment.

Soal Diskusi

Diskusikan komponen smart environment apa yang paling mendesak diterapkan di Kalimantan Tengah dan alasannya.

Studi Kasus Tambahan (Latihan Analisis)

Kaji satu inisiatif smart city/smart environment di kota Indonesia dan identifikasi komponen lingkungan yang telah diintegrasikan.

Refleksi

Refleksikan bagaimana teknologi smart environment dapat mengubah cara pemerintah daerah merespons bencana lingkungan di masa depan.

Tugas Individu

Rancang konsep sederhana satu fitur smart environment yang relevan untuk kampus Anda.

Tugas Kelompok

Diskusikan dan presentasikan rancangan sistem smart environment terintegrasi untuk pemantauan karhutla Kalimantan Tengah.

BAB 17

STUDI KASUS INDONESIA

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menganalisis penerapan terintegrasi Sistem Informasi Lingkungan pada berbagai persoalan lingkungan nyata di Indonesia, khususnya Kalimantan Tengah.

17.1 SIL untuk Pemantauan Daerah Aliran Sungai Kahayan

Daerah Aliran Sungai Kahayan, yang membelah Kota Palangka Raya dan menjadi sumber air baku serta jalur transportasi utama bagi masyarakat sekitarnya, menghadapi tekanan dari berbagai aktivitas: pertambangan emas rakyat di beberapa segmen, permukiman padat di sekitar bantaran sungai, hingga limpasan dari lahan gambut yang terdegradasi. Penerapan SIL terintegrasi untuk DAS ini idealnya menggabungkan data pemantauan kualitas air dari beberapa titik sepanjang aliran, citra satelit untuk memantau perubahan tutupan lahan di kawasan hulu, serta data curah hujan untuk memahami pola fluktuasi debit musiman.

Integrasi ketiga jenis data tersebut dalam satu sistem memungkinkan identifikasi hubungan sebab-akibat yang lebih jelas, misalnya mengonfirmasi apakah peningkatan kekeruhan air pada musim tertentu lebih berkaitan dengan aktivitas pertambangan di hulu atau dengan pola curah hujan alami, informasi yang penting bagi perumusan kebijakan pengelolaan DAS yang tepat sasaran.

17.2 SIL untuk Deteksi Dini Karhutla dan Kabut Asap

Sebagaimana telah dibahas pada beberapa bab sebelumnya, sistem deteksi dini karhutla di Kalimantan Tengah mengintegrasikan data titik panas dari citra satelit (MODIS, VIIRS), data kelembapan dan tinggi muka air gambut dari sensor lapangan, prakiraan cuaca dari BMKG, serta laporan lapangan dari

petugas dan Masyarakat Peduli Api. Sistem yang benar-benar terintegrasi memungkinkan otoritas memprioritaskan lokasi patroli dan pemadaman dini berdasarkan tingkat risiko yang telah dianalisis, alih-alih menunggu laporan kejadian kebakaran yang sudah terlanjur membesar.

Pembelajaran dari peristiwa karhutla besar 2015 dan 2019 menunjukkan bahwa kecepatan respons sangat menentukan skala kerusakan yang terjadi, sehingga investasi pada sistem informasi yang mampu memberikan peringatan dini secara akurat dan cepat menjadi salah satu prioritas mitigasi bencana lingkungan paling strategis bagi Kalimantan Tengah.

17.3 SIL untuk Mendukung Restorasi Gambut

Program restorasi gambut yang dijalankan Badan Restorasi Gambut dan Mangrove (BRGM) sangat bergantung pada dukungan SIL untuk perencanaan dan pemantauan efektivitasnya, mulai dari pemetaan Kesatuan Hidrologis Gambut menggunakan data topografi dan citra satelit, penentuan lokasi prioritas pembangunan sekat kanal berdasarkan analisis spasial tata air, hingga pemantauan tinggi muka air tanah gambut menggunakan jaringan sensor otomatis yang datanya dikirimkan secara berkala ke pusat pemantauan.

Sistem pemantauan berbasis SIL semacam ini memungkinkan evaluasi efektivitas infrastruktur restorasi secara lebih objektif dan berkelanjutan, dibandingkan hanya mengandalkan kunjungan lapangan periodik yang keterbatasan cakupannya sering kali tidak sebanding dengan luasnya kawasan gambut yang perlu dipantau.

17.4 SIL dalam Penyusunan Dokumen AMDAL

Penyusunan dokumen Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL) sangat bergantung pada ketersediaan data rona lingkungan awal yang akurat, yang meliputi data kualitas udara, kualitas air, tutupan lahan, hingga kondisi sosial-ekonomi masyarakat sekitar rencana kegiatan. SIL berperan penting dalam menyediakan basis data yang konsisten untuk penyusunan rona lingkungan tersebut, serta mendukung pemodelan dampak (misalnya model dispersi udara atau model kualitas air) yang menjadi bagian inti dari kajian AMDAL.

Pada tahap pascaoperasi, SIL juga mendukung pelaksanaan Rencana Pengelolaan dan Pemantauan Lingkungan (RKL-RPL) melalui sistem pelaporan berkala yang terintegrasi, memungkinkan otoritas lingkungan memantau kepatuhan pemrakarsa kegiatan terhadap komitmen yang telah disepakati dalam dokumen AMDAL secara lebih sistematis dari waktu ke waktu.

17.5 SIL untuk Pengelolaan Persampahan Kota

Pengelolaan sampah perkotaan, termasuk di Palangka Raya, semakin banyak memanfaatkan SIL untuk optimasi rute pengangkutan menggunakan analisis jaringan SIG, pemantauan kapasitas Tempat Pemrosesan Akhir menggunakan citra drone berkala, hingga aplikasi pelaporan berbasis masyarakat yang memungkinkan warga melaporkan lokasi penumpukan sampah liar secara langsung melalui aplikasi mobile yang terhubung dengan sistem informasi dinas kebersihan.

Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) yang dikelola KLHK menjadi platform tingkat nasional yang mengumpulkan data timbulan

dan pengelolaan sampah dari seluruh kabupaten/kota di Indonesia, meski kualitas dan konsistensi pelaporan dari daerah ke platform ini masih menjadi tantangan yang perlu terus diperbaiki ke depan.

KATA KUNCI

DAS Kahayan • Karhutla • Restorasi Gambut • AMDAL • Persampahan

RINGKASAN BAB

Bab ini menyajikan lima studi kasus penerapan SIL terintegrasi di Indonesia: pemantauan DAS Kahayan, deteksi dini karhutla, dukungan restorasi gambut, penyusunan AMDAL, serta pengelolaan persampahan kota.

Latihan / Evaluasi

1. Jelaskan bagaimana integrasi data kualitas air, citra satelit, dan curah hujan mendukung pengelolaan DAS Kahayan.
2. Sebutkan jenis data yang diperlukan untuk sistem deteksi dini karhutla yang efektif.

Soal Diskusi

Diskusikan studi kasus mana pada bab ini yang menurut Anda paling mendesak diterapkan secara penuh di Kalimantan Tengah, dan mengapa.

Studi Kasus Tambahan (Latihan Analisis)

Susun satu studi kasus tambahan mengenai penerapan SIL pada isu lingkungan lain yang relevan dengan wilayah Anda.

Refleksi

Refleksikan bagaimana kelima studi kasus pada bab ini saling berkaitan satu sama lain dalam konteks pengelolaan lingkungan Kalimantan Tengah secara keseluruhan.

Tugas Individu

Pilih satu studi kasus pada bab ini dan buat analisis lanjutan mengenai data tambahan apa yang dapat memperkuat sistem tersebut.

Tugas Kelompok

Diskusikan dan presentasikan usulan integrasi SIL lintas isu (misalnya menghubungkan data karhutla dengan data kualitas udara dan kesehatan masyarakat).

BAB 18

PRAKTIKUM SISTEM INFORMASI LINGKUNGAN

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu melaksanakan rangkaian praktikum terintegrasi Sistem Informasi Lingkungan, dari akuisisi data hingga penyajian informasi untuk pengambilan keputusan.

18.1 Tujuan Praktikum Terintegrasi

Bab penutup ini dirancang sebagai praktikum puncak (capstone) yang mengintegrasikan seluruh keterampilan yang telah dipelajari pada bab-bab sebelumnya, mulai dari akuisisi data lapangan, pengolahan menggunakan SIG, analisis statistik, hingga penyajian dalam bentuk dashboard. Berbeda dari praktikum pada bab-bab sebelumnya yang berfokus pada satu keterampilan spesifik, praktikum terintegrasi ini menuntut mahasiswa menggabungkan seluruh keterampilan tersebut dalam satu alur kerja yang utuh, sebagaimana akan dihadapi dalam pekerjaan nyata di lapangan kelak.

18.2 Praktikum Terintegrasi 1: Dari Data Lapangan Menuju Peta Tematik

Mahasiswa secara berkelompok melakukan survei lapangan sederhana di sekitar kampus atau kawasan yang ditentukan dosen, mengumpulkan data kualitas lingkungan sederhana (misalnya kondisi visual saluran drainase, keberadaan tumpukan sampah, atau kualitas air sederhana menggunakan alat uji cepat) pada minimal sepuluh titik menggunakan GPS untuk pencatatan koordinat. Data yang terkumpul kemudian diinput ke QGIS, diolah menjadi peta tematik yang menunjukkan sebaran kondisi lingkungan pada area studi, lengkap dengan simbolisasi yang sesuai dan tata letak peta yang profesional.

18.3 Praktikum Terintegrasi 2: Membangun Dashboard Monitoring Sederhana

Berdasarkan data yang telah dikumpulkan pada praktikum sebelumnya, mahasiswa menyusun dashboard sederhana menggunakan Microsoft Excel atau Power BI yang mengintegrasikan tabel data, grafik ringkasan, serta peta hasil praktikum 18.2, disusun sedemikian rupa sehingga dapat dipahami dalam sekali pandang oleh pihak yang tidak terlibat langsung dalam pengumpulan data, seperti pihak pengelola kawasan kampus.

18.4 Praktikum Terintegrasi 3: Analisis dan Rekomendasi Berbasis Data

Menggunakan data dan dashboard yang telah disusun, mahasiswa melakukan analisis sederhana untuk mengidentifikasi area prioritas yang memerlukan penanganan (misalnya area dengan indikasi pencemaran atau pengelolaan sampah terburuk), kemudian menyusun rekomendasi tindak lanjut yang konkret dan realistis, disertai justifikasi berbasis data yang telah dikumpulkan dan dianalisis sepanjang rangkaian praktikum.

18.5 Format Laporan Praktikum Akhir

Laporan praktikum akhir disusun dengan sistematika: (1) Pendahuluan dan tujuan studi; (2) Deskripsi area studi dan metode pengumpulan data; (3) Hasil pengolahan data (peta, tabel, grafik); (4) Dashboard yang telah disusun beserta penjelasan komponennya; (5) Analisis dan pembahasan; (6) Rekomendasi tindak lanjut; (7) Kesimpulan; serta (8) Lampiran berupa data mentah dan dokumentasi kegiatan lapangan. Laporan dipresentasikan di hadapan kelas sebagai bagian dari evaluasi akhir mata kuliah, dengan penekanan pada kemampuan mahasiswa menjelaskan keterkaitan antar-tahapan sistem informasi lingkungan yang telah mereka bangun secara mandiri.

Praktikum Terintegrasi • Capstone • Alur Kerja SIL • Laporan Praktikum

RINGKASAN BAB

Bab penutup ini memandu mahasiswa melaksanakan praktikum terintegrasi capstone, mulai dari survei lapangan, pengolahan SIG, penyusunan dashboard, hingga analisis dan rekomendasi berbasis data, disertai format laporan akhir.

Latihan / Evaluasi

1. Jelaskan mengapa praktikum terintegrasi penting sebagai penutup mata kuliah SIL.
2. Sebutkan tahapan alur kerja dari data lapangan hingga rekomendasi kebijakan.

Soal Diskusi

Diskusikan tantangan teknis dan nonteknis yang mungkin dihadapi kelompok Anda selama praktikum terintegrasi ini.

Studi Kasus Tambahan (Latihan Analisis)

Gunakan salah satu studi kasus Bab 17 sebagai kerangka acuan untuk merancang praktikum terintegrasi kelompok Anda.

Refleksi

Refleksikan keseluruhan perjalanan belajar Anda sepanjang mata kuliah ini. Kompetensi apa yang paling Anda rasakan berkembang?

Tugas Individu

Susun rencana kerja pribadi (jadwal dan pembagian tugas) untuk pelaksanaan praktikum terintegrasi ini.

Tugas Kelompok

Laksanakan seluruh rangkaian praktikum terintegrasi 18.2-18.4 secara berkelompok dan susun laporan akhir sesuai format yang ditetapkan.

LAMPIRAN: RUBRIK PENILAIAN TUGAS DAN PRAKTIKUM

Rubrik berikut digunakan sebagai acuan penilaian tugas, latihan, studi kasus, dan laporan praktikum pada mata kuliah Sistem Informasi Lingkungan, mencakup empat aspek utama penilaian dengan bobot yang telah ditetapkan.

Aspek Penilaian	Bobot	Kriteria Nilai Baik (80-100)
Ketepatan Konsep & Teknis	30%	Konsep tepat, prosedur teknis (SIG/GPS/analisis) benar
Kedalaman Analisis	25%	Analisis kritis, menghubungkan teori dengan data nyata
Keterampilan Praktikum	30%	Data akurat, hasil olahan (peta/dashboard) rapi dan benar
Sistematika & Bahasa Laporan	15%	Terstruktur, bahasa ilmiah, sesuai format laporan

GLOSARIUM

Sistem Informasi Lingkungan

Kerangka kerja terpadu data, perangkat keras, perangkat lunak, prosedur, dan manusia untuk mengelola informasi lingkungan.

Metadata

Data yang menjelaskan karakteristik data lain, seperti sumber, metode, dan waktu pengumpulannya.

SIG (GIS)

Sistem Informasi Geografis, sistem untuk menangkap, menyimpan, dan menganalisis data bereferensi keruangan.

Data Vektor

Model data spasial yang merepresentasikan objek sebagai titik, garis, atau poligon.

Data Raster

Model data spasial yang merepresentasikan permukaan sebagai kumpulan sel/piksel.

Penginderaan Jauh

Teknik memperoleh informasi objek tanpa kontak langsung, umumnya melalui sensor satelit atau pesawat.

NDVI

Normalized Difference Vegetation Index, indeks untuk mengukur kerapatan/kesehatan vegetasi dari citra satelit.

GNSS

Global Navigation Satellite System, istilah payung untuk seluruh sistem satelit navigasi global termasuk GPS.

IoT

Internet of Things, jaringan perangkat yang saling terhubung dan bertukar data melalui internet.

Dashboard

Tampilan visual yang merangkum indikator kunci suatu sistem dalam satu layar.

MCDA

Multi-Criteria Decision Analysis, kerangka kerja formal evaluasi alternatif berdasarkan beberapa kriteria.

Big Data

Data bervolume sangat besar, beragam, dan berkecepatan tinggi yang memerlukan pendekatan pengolahan khusus.

Machine Learning

Cabang kecerdasan buatan yang memungkinkan sistem belajar pola dari data tanpa pemrograman aturan eksplisit.

Smart Environment

Pengelolaan aspek lingkungan hidup secara cerdas, terintegrasi, dan berbasis data real-time.

Interoperabilitas

Kemampuan sistem berbeda untuk saling bertukar dan memahami data satu sama lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Informasi Geospasial (BIG). (2022). Pedoman Teknis Penyelenggaraan Informasi Geospasial Tematik. Bogor: BIG.
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). (2023). Buletin Kualitas Udara dan Iklim Indonesia. Jakarta: BMKG.
- Badan Restorasi Gambut dan Mangrove (BRGM). (2021). Grand Design Restorasi Gambut dan Mangrove. Jakarta: BRGM.
- ESRI. (2023). Understanding GIS: An ArcGIS Project Workbook. Redlands: Esri Press.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2021). Framework for Environmental Information Systems in Agriculture. Rome: FAO.
- Goodchild, M.F. (2007). Citizens as sensors: the world of volunteered geography. *GeoJournal*, 69(4), 211-221.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Cambridge University Press.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia (KLHK). (2022). Statistik Lingkungan Hidup dan Kehutanan Indonesia. Jakarta: KLHK.
- Lillesand, T.M., Kiefer, R.W., & Chipman, J.W. (2015). Remote Sensing and Image Interpretation (7th ed.). Wiley.
- Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maguire, D.J., & Rhind, D.W. (2015). Geographic Information Science and Systems (4th ed.). Wiley.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). (2023). Landsat Science Data Users Handbook. Washington DC: NASA.
- Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 39 Tahun 2019 tentang Satu Data Indonesia.
- QGIS Development Team. (2024). QGIS User Guide. Open Source Geospatial Foundation.
- Saaty, T.L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83-98.
- Turban, E., Sharda, R., & Delen, D. (2011). Decision Support and Business Intelligence Systems (9th ed.). Pearson.

United Nations Environment Programme (UNEP). (2021). Data for Environment: State of Play Report. Nairobi: UNEP.

United States Geological Survey (USGS). (2023). Landsat Data Access and Applications. Reston: USGS.

World Bank. (2020). Environmental Monitoring and Information Systems: A Practitioner's Guide. Washington DC: World Bank.

INDEKS

(Nomor halaman bersifat indikatif dan akan menyesuaikan otomatis mengikuti tata letak akhir dokumen setelah pembaruan Daftar Isi di Microsoft Word.)

AHP, 121
AMDAL, 138
Basis data spasial, 25
Big Data, 128
DAS Kahayan, 35, 136
DSS, 118
Dashboard, 88, 91
Data primer & sekunder, 15, 57
GPS, 50
IoT, 62
Karhutla, 137
MCDA, 119
Machine learning, 129
NDVI, 44
Penginderaan jauh, 42
Restorasi gambut, 137
SIG, 33
Smart environment, 133

TENTANG PENULIS

Dr. Ir. Sari Marlina, S.Hut., M.Si. lahir di Kuala Kapuas pada 13 Februari 1981 dan kini menetap di Kota Palangka Raya, Kalimantan Tengah. Penulis menempuh pendidikan sarjana di Fakultas Pertanian Universitas Palangka Raya (lulus 2003), dilanjutkan program pascasarjana Pengelolaan Sumber Daya Alam Lingkungan (PSAL) di almamater yang sama (lulus 2010), sebelum akhirnya meraih gelar Doktor Ilmu Lingkungan dengan konsentrasi Pengelolaan Sumber Daya Hutan (PSH), juga dari Universitas Palangka Raya (lulus 2021). Gelar keinsinyuran (Ir.) diperoleh penulis melalui Program Profesi Insinyur di Binus University.



Sebelum menekuni dunia akademik, penulis sempat meniti karier di sektor perbankan, masing-masing sebagai Teller di Bank BRI (2004–2010) dan Funding Officer di Bank Syariah Mandiri (2010–2014) — pengalaman yang turut membentuk kepekaan penulis terhadap dimensi sosial-ekonomi dalam pengelolaan sumber daya alam. Sejak 2015 hingga sekarang, penulis mengabdikan diri sebagai dosen di Universitas Muhammadiyah Palangkaraya. Di luar aktivitas mengajar, penulis aktif sebagai aktivis perempuan yang memperjuangkan kesetaraan gender, hak-hak perempuan, serta hak kelompok minoritas dan marjinal dalam peran mereka mengelola alam dan lingkungan di tengah isu global perubahan iklim. Kerja sama dan komunikasi dengan penulis dapat dilakukan melalui surel marlinasari@umpr.ac.id.