

BUKU AJAR

ILMU LINGKUNGAN

*Prinsip Lingkungan dalam Perencanaan dan Pembangunan
Infrastruktur Sipil*

Untuk Program Studi Teknik Sipil

Disusun Oleh:

Dr. Ir. Sari Marlina, S.Hut., M.Si

Ir. Norseta Ajie Saputra, S.T., M.T

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PALANGKARAYA

Program Studi Teknik Sipil

2026

BUKU AJAR ILMU LINGKUNGAN

Prinsip Lingkungan dalam Perencanaan dan Pembangunan Infrastruktur Sipil

Penulis : Dr. Ir. Sari Marlina, S.Hut., M.Si dan Ir. Norseta Ajie Saputra, S.T., M.T

Editor : Ir. Achmad Imam S.,S.T.,M.Ling

Desain Sampul & Tata Letak : Ir. Achmad Imam S.,S.T.,M.Ling

Diterbitkan oleh:

UMPR

KATA PENGANTAR

Setiap proyek infrastruktur, sekecil apapun, selalu berinteraksi dengan lingkungan di sekitarnya. Buku ajar Ilmu Lingkungan ini disusun khusus untuk mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, dengan penekanan pada bagaimana prinsip-prinsip ilmu lingkungan diterapkan secara langsung dalam praktik perencanaan, konstruksi, dan pengoperasian infrastruktur, disertai konteks khas Kalimantan Tengah yang menghadirkan tantangan lingkungan unik seperti lahan gambut dan kawasan rawa.

Kami menyambut baik hadirnya buku ajar ini sebagai bekal penting bagi mahasiswa Teknik Sipil untuk memahami dimensi lingkungan pekerjaan mereka, sejalan dengan tuntutan zaman akan infrastruktur yang tidak hanya kuat dan efisien, tetapi juga berkelanjutan dan berketahanan terhadap perubahan iklim.

Semoga buku ajar ini bermanfaat luas bagi mahasiswa dan mendukung lahirnya insinyur sipil yang kompeten mengintegrasikan pertimbangan lingkungan dalam setiap karya infrastruktur yang mereka hasilkan.

Palangka Raya, Juli 2026

Ketua Program Studi Teknik Sipil]

PRAKATA PENULIS

Buku ajar ini disusun dari keyakinan bahwa mahasiswa Teknik Sipil perlu memandang ilmu lingkungan bukan sebagai mata kuliah pelengkap, melainkan sebagai kompetensi inti yang akan terus relevan sepanjang karier mereka, mengingat hampir setiap proyek infrastruktur kini dituntut memenuhi persyaratan lingkungan yang semakin ketat. Materi disusun berjenjang dalam tujuh belas bab, dimulai dari konsep dasar ilmu lingkungan dan ekosistem, komponen lingkungan fisik (atmosfer, hidrosfer, litosfer), ekologi perkotaan dan AMDAL infrastruktur, pengelolaan air limbah-sampah-drainase, konservasi DAS, perubahan iklim dan infrastruktur berketahanan iklim, green building dan energi terbarukan, kebisingan-getaran konstruksi, hingga studi kasus dan praktikum khas Kalimantan Tengah.

Terima kasih kepada seluruh pihak yang mendukung penyusunan buku ini. Masukan dari sejawat dosen maupun mahasiswa senantiasa terbuka demi penyempurnaan pada edisi mendatang.

Palangka Raya, Juli 2026

Penulis

CAPAIAN PEMBELAJARAN MATA KULIAH (CPMK)

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

CPMK-1: Mampu menjelaskan konsep dasar ilmu lingkungan dan keterkaitannya dengan praktik rekayasa sipil.

CPMK-2: Mampu menjelaskan karakteristik atmosfer, hidrosfer, dan litosfer serta dampak konstruksi terhadap ketiganya.

CPMK-3: Mampu menerapkan prinsip ekologi perkotaan dan AMDAL dalam perencanaan infrastruktur.

CPMK-4: Mampu menjelaskan prinsip pengelolaan air limbah, sampah, dan drainase berwawasan lingkungan.

CPMK-5: Mampu menjelaskan konsep konservasi sumber daya air dan infrastruktur berketahanan iklim.

CPMK-6: Mampu menerapkan prinsip green building dan pemanfaatan energi terbarukan pada infrastruktur.

CPMK-7: Mampu mengelola dampak kebisingan, getaran, dan lingkungan kerja pada proyek konstruksi.

CPMK-8: Mampu menganalisis studi kasus dan melaksanakan praktikum lingkungan terintegrasi dengan konteks teknik sipil.

PETA KONSEP MATA KULIAH

Mata kuliah ini disusun dalam lima kelompok besar yang saling berkesinambungan:

Fondasi Bab 1-2: Konsep dasar & ekosistem	Komponen Fisik Bab 3-5: Atmosfer, hidrosfer, litosfer	Infrastruktur & AMDAL Bab 6-10: Ekologi kota, AMDAL, limbah, sampah, drainase	Keberlanjutan Bab 11-14: DAS, iklim, green building, energi	Konteks & Praktik Bab 15-17: K3 lingkungan, studi kasus Kalteng, praktikum
---	---	---	---	--

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	11
DAFTAR TABEL	12
DAFTAR SINGKATAN.....	13
PENDAHULUAN.....	14
BAB 1.....	15
PENDAHULUAN ILMU LINGKUNGAN DAN.....	15
RELEVANSINYA BAGI TEKNIK SIPIL.....	15
1.1 Apa Itu Ilmu Lingkungan	15
1.2 Interaksi Timbal Balik antara Infrastruktur dan Lingkungan	15
1.3 Komponen Lingkungan yang Relevan bagi Teknik Sipil	16
1.4 Sejarah Singkat Kesadaran Lingkungan dalam Rekayasa Sipil	17
BAB 2.....	19
EKOSISTEM, DAYA DUKUNG, DAN	19
KESEIMBANGAN LINGKUNGAN	19
2.1 Konsep Dasar Ekosistem	19
2.2 Daya Dukung Lingkungan	19
2.3 Prinsip Keseimbangan Lingkungan.....	20
2.4 Implikasi Daya Dukung Lingkungan bagi Perencanaan Infrastruktur.....	21
BAB 3.....	23
ATMOSFER DAN PENCEMARAN UDARA.....	23
AKIBAT AKTIVITAS KONSTRUKSI	23
3.1 Struktur Atmosfer dan Kualitas Udara	23
3.2 Sumber Pencemaran Udara dari Aktivitas Konstruksi	23
3.3 Metode Pengendalian Pencemaran Udara Konstruksi.....	24
3.4 Baku Mutu Udara Ambien dan Pemantauan	25
BAB 4.....	27
HIDROSFER, SIKLUS HIDROLOGI, DAN	27
PENCEMARAN AIR.....	27
4.1 Siklus Hidrologi dan Neraca Air	27
4.2 Dampak Konstruksi terhadap Kuantitas Air.....	27

4.3 Dampak Konstruksi terhadap Kualitas Air.....	28
4.4 Pengendalian Erosi dan Sedimentasi pada Proyek Konstruksi.....	29
BAB 5.....	31
LITOSFER, TANAH, DAN DAMPAK.....	31
PEKERJAAN TANAH/GALIAN	31
5.1 Litosfer dan Karakteristik Tanah.....	31
5.2 Degradasi Lahan akibat Pekerjaan Tanah dan Galian	31
5.3 Stabilitas Lereng dan Risiko Longsor	31
5.4 Reklamasi dan Revegetasi Pascakonstruksi	32
BAB 6.....	34
EKOLOGI PERKOTAAN DAN PERENCANAAN	34
INFRASTRUKTUR HIJAU	34
6.1 Konsep Ekologi Perkotaan	34
6.2 Ruang Terbuka Hijau sebagai Infrastruktur Ekologis	34
6.3 Konsep Infrastruktur Hijau (Green Infrastructure).....	35
6.4 Koridor Ekologis dan Konektivitas Habitat Perkotaan.....	36
BAB 7.....	38
ANALISIS DAMPAK LINGKUNGAN PROYEK	38
KONSTRUKSI DAN INFRASTRUKTUR	38
7.1 Mengapa Proyek Infrastruktur Memerlukan Kajian Dampak Lingkungan	38
7.2 Dampak Spesifik Tahap Konstruksi Infrastruktur	38
7.3 Dampak Spesifik Tahap Operasi Infrastruktur	39
7.4 Integrasi Pertimbangan Lingkungan dalam Desain Rekayasa.....	39
BAB 8.....	41
PENGELOLAAN AIR LIMBAH DAN SISTEM SANITASI	41
8.1 Klasifikasi Air Limbah.....	41
8.2 Sistem Pengolahan Air Limbah.....	41
8.3 Prinsip Dasar Pengolahan Air Limbah	42
8.4 Sanitasi Berkelanjutan dan Daur Ulang Air	43
BAB 9.....	45
PENGELOLAAN SAMPAH DAN LIMBAH PADAT KONSTRUKSI.....	45
9.1 Hierarki Pengelolaan Sampah	45
9.2 Limbah Padat Konstruksi dan Demolisi	45
9.3 Sistem Pengelolaan Sampah Perkotaan.....	46
9.4 Perencanaan Teknik Sipil untuk Fasilitas Pengelolaan Sampah.....	47
BAB 10.....	49

DRAINASE PERKOTAAN DAN PENGENDALIAN BANJIR	49
10.1 Sistem Drainase Konvensional dan Keterbatasannya.....	49
10.2 Konsep Drainase Berwawasan Lingkungan	49
10.3 Kolam Retensi dan Detensi	50
10.4 Perencanaan Drainase pada Kawasan Rawan Genangan Kalimantan Tengah	51
BAB 11.....	53
KONSERVASI SUMBER DAYA AIR DAN	53
PENGELOLAAN DAS	53
11.1 Daerah Aliran Sungai sebagai Satu Kesatuan Sistem.....	53
11.2 Konservasi Air Tanah.....	53
11.3 Peran Infrastruktur dalam Pengelolaan DAS Terpadu	54
11.4 Pengelolaan DAS Kahayan dan Implikasinya bagi Infrastruktur Sipil.....	55
BAB 12.....	57
PERUBAHAN IKLIM DAN INFRASTRUKTUR.....	57
BERKETAHANAN IKLIM	57
12.1 Dampak Perubahan Iklim terhadap Infrastruktur	57
12.2 Konsep Infrastruktur Berketahanan Iklim	57
12.3 Adaptasi Infrastruktur Kawasan Rawan Banjir dan Rob.....	58
12.4 Mitigasi Perubahan Iklim melalui Sektor Konstruksi.....	58
BAB 13.....	60
GREEN BUILDING DAN MATERIAL	60
KONSTRUKSI BERKELANJUTAN.....	60
13.1 Konsep Green Building	60
13.2 Sistem Sertifikasi Green Building	60
13.3 Material Konstruksi Berkelanjutan.....	61
13.4 Analisis Siklus Hidup dalam Pemilihan Material.....	62
BAB 14.....	64
ENERGI TERBARUKAN DALAM PEMBANGUNAN	64
INFRASTRUKTUR	64
14.1 Mengapa Energi Terbarukan Relevan bagi Teknik Sipil.....	64
14.2 Integrasi Energi Surya pada Bangunan.....	64
14.3 Infrastruktur Sipil untuk Pembangkit Energi Terbarukan Skala Besar.....	65
14.4 Potensi Energi Terbarukan di Kalimantan Tengah.....	66
BAB 15.....	68
KEBISINGAN, GETARAN, DAN PENGELOLAAN	68
LINGKUNGAN KERJA KONSTRUKSI	68

15.1 Kebisingan Konstruksi dan Dampaknya	68
15.2 Getaran Konstruksi dan Risikonya terhadap Bangunan Sekitar	68
15.3 Pengelolaan Kesehatan dan Keselamatan Kerja Terkait Lingkungan	69
15.4 Rencana Pengelolaan Lingkungan Kerja dalam Dokumen Proyek	69
BAB 16.....	71
STUDI KASUS LINGKUNGAN DAN INFRASTRUKTUR	71
DI KALIMANTAN TENGAH	71
16.1 Pembangunan Infrastruktur Jalan pada Lahan Gambut	71
16.2 Drainase Perkotaan Palangka Raya dan Tantangan Lahan Rawa	71
16.3 Infrastruktur Transportasi Sungai sebagai Alternatif Jalan Darat	72
16.4 Pembelajaran Metodologis: Integrasi Ilmu Lingkungan dan Rekayasa Sipil	72
BAB 17.....	75
PRAKTIKUM ILMU LINGKUNGAN UNTUK TEKNIK SIPIL	75
17.1 Tujuan Praktikum Terintegrasi	75
17.2 Praktikum 1: Pengukuran Kualitas Lingkungan Sekitar Proyek Konstruksi	75
17.3 Praktikum 2: Analisis Koefisien Limpasan Kawasan.....	75
17.4 Praktikum 3: Evaluasi Infrastruktur Hijau di Lingkungan Kampus/Kota	76
17.5 Praktikum 4: Menyusun Rencana Pengelolaan Lingkungan Sederhana.....	76
17.6 Format Laporan Praktikum.....	76
LAMPIRAN: RUBRIK PENILAIAN TUGAS DAN PRAKTIKUM	78
GLOSARIUM	79
DAFTAR PUSTAKA	80
INDEKS	81
PROFIL PENULIS.....	82

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 4.1 Ilustrasi potensi dampak lingkungan dari aktivitas konstruksi
- Gambar 6.1 Ilustrasi integrasi ruang hijau dalam perencanaan kota
- Gambar 8.1 Ilustrasi rangkaian unit pengolahan air limbah
- Gambar 9.1 Ilustrasi pemilahan limbah padat konstruksi
- Gambar 10.1 Ilustrasi sistem drainase perkotaan
- Gambar 11.1 Ilustrasi konservasi sumber daya air pada kawasan DAS
- Gambar 13.1 Ilustrasi konsep green building dengan elemen hijau terintegrasi
- Gambar 14.1 Ilustrasi integrasi energi terbarukan pada infrastruktur

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Sumber dan Metode Pengendalian Pencemaran Udara Konstruksi

Tabel 7.1 Contoh Dampak Utama Berbagai Jenis Infrastruktur pada Tahap Operasi

DAFTAR SINGKATAN

AMDAL : Analisis Mengenai Dampak Lingkungan

DAS : Daerah Aliran Sungai

RTH : Ruang Terbuka Hijau

IPAL : Instalasi Pengolahan Air Limbah

TPA : Tempat Pemrosesan Akhir

TPS3R : Tempat Pengolahan Sampah Reduce-Reuse-Recycle

BIPV : Building-Integrated Photovoltaics

LEED : Leadership in Energy and Environmental Design

K3 : Kesehatan dan Keselamatan Kerja

PM10/PM2.5 : Particulate Matter (partikulat debu)

TSS : Total Suspended Solid

RKL-RPL : Rencana Pengelolaan-Pemantauan Lingkungan Hidup

PENDAHULUAN

Infrastruktur sipil dan lingkungan hidup memiliki hubungan yang tidak dapat dipisahkan: infrastruktur dibangun di atas dan berinteraksi dengan sistem lingkungan, sementara kondisi lingkungan pada gilirannya menentukan keberhasilan jangka panjang infrastruktur tersebut. Buku ajar ini disusun untuk membekali mahasiswa Teknik Sipil dengan pemahaman menyeluruh mengenai dimensi lingkungan dalam praktik rekayasa sipil, dari tahap perencanaan hingga operasi infrastruktur.

Penekanan khusus diberikan pada konteks Kalimantan Tengah, mengingat kondisi lahan gambut, topografi datar, dan ketergantungan pada sistem sungai di wilayah ini menghadirkan tantangan teknis dan lingkungan yang unik, menuntut mahasiswa memahami bahwa standar desain generik tidak selalu dapat diterapkan tanpa penyesuaian terhadap konteks lingkungan lokal.

BAB 1

PENDAHULUAN ILMU LINGKUNGAN DAN RELEVANSINYA BAGI TEKNIK SIPIL

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menjelaskan konsep dasar ilmu lingkungan dan keterkaitannya dengan praktik rekayasa sipil.

1.1 Apa Itu Ilmu Lingkungan

Ilmu lingkungan adalah bidang kajian interdisipliner yang mempelajari interaksi antara komponen fisik, kimia, biologi, dan sosial di lingkungan hidup, serta bagaimana aktivitas manusia memengaruhi dan dipengaruhi oleh lingkungan tersebut. Berbeda dari ilmu lingkungan murni yang berfokus pada pemahaman proses alami, mata kuliah ini bagi mahasiswa Teknik Sipil diarahkan secara khusus pada bagaimana pengetahuan lingkungan tersebut diterapkan dalam perencanaan, pembangunan, dan pengoperasian infrastruktur sipil.

Sebagian mahasiswa Teknik Sipil bertanya-tanya mengapa mereka perlu mempelajari ekologi atau siklus hidrologi secara mendalam, padahal fokus utama mereka adalah struktur, konstruksi, dan material. Jawabannya sederhana: hampir setiap proyek infrastruktur, mulai dari jalan raya, jembatan, bendungan, hingga gedung bertingkat, berinteraksi langsung dengan sistem lingkungan di sekitarnya, baik sebagai penyebab perubahan lingkungan maupun sebagai pihak yang harus beradaptasi terhadap kondisi lingkungan yang ada.

1.2 Interaksi Timbal Balik antara Infrastruktur dan Lingkungan

Infrastruktur sipil memengaruhi lingkungan melalui berbagai jalur: pembukaan lahan mengubah tata guna lahan dan pola aliran air permukaan, material konstruksi menghasilkan jejak karbon dari proses produksi dan

transportasinya, serta operasional bangunan mengonsumsi energi dan menghasilkan limbah sepanjang masa pakainya. Sebaliknya, kondisi lingkungan juga menentukan keberhasilan infrastruktur: tanah yang tidak stabil memengaruhi desain pondasi, curah hujan ekstrem memengaruhi kapasitas drainase yang dibutuhkan, dan kenaikan muka air laut memengaruhi desain infrastruktur pesisir jangka panjang.

Pemahaman terhadap interaksi timbal balik ini menjadi semakin penting seiring meningkatnya tuntutan pembangunan berkelanjutan, di mana insinyur sipil dituntut tidak hanya merancang struktur yang kuat dan efisien secara biaya, tetapi juga meminimalkan dampak lingkungan dan memastikan infrastruktur tersebut mampu bertahan menghadapi perubahan kondisi lingkungan di masa depan.

1.3 Komponen Lingkungan yang Relevan bagi Teknik Sipil

Empat komponen lingkungan fisik menjadi perhatian utama dalam praktik teknik sipil: atmosfer (kualitas udara, iklim, curah hujan yang memengaruhi desain drainase dan struktur), hidrosfer (air permukaan dan air tanah yang memengaruhi desain pondasi, bendungan, dan sistem penyediaan air), litosfer (tanah dan batuan yang menjadi dasar seluruh perencanaan geoteknik), serta biosfer (keanekaragaman hayati yang perlu dipertimbangkan dalam kajian dampak lingkungan proyek infrastruktur).

Buku ajar ini akan membahas keempat komponen tersebut secara berurutan pada Bab 3 hingga 5, sebelum melanjutkan ke penerapan praktisnya dalam berbagai aspek pekerjaan teknik sipil pada bab-bab selanjutnya.

INFO: Mengapa Insinyur Sipil Perlu Ilmu Lingkungan

Merancang infrastruktur yang tahan terhadap kondisi lingkungan (banjir, gempa, perubahan iklim).

Meminimalkan dampak negatif konstruksi terhadap ekosistem sekitar.

Memenuhi persyaratan regulasi lingkungan (AMDAL, izin lingkungan) dalam setiap proyek.

Merancang infrastruktur hijau dan berkelanjutan sesuai tuntutan zaman.

1.4 Sejarah Singkat Kesadaran Lingkungan dalam Rekayasa Sipil

Kesadaran terhadap dimensi lingkungan dalam praktik teknik sipil berkembang pesat sejak dekade 1970-an, seiring lahirnya berbagai instrumen kajian dampak lingkungan seperti National Environmental Policy Act di Amerika Serikat dan kelahiran AMDAL di Indonesia. Sebelum periode tersebut, proyek infrastruktur besar sering dirancang tanpa pertimbangan dampak lingkungan yang memadai, menghasilkan berbagai persoalan warisan seperti kerusakan ekosistem sungai akibat pembangunan bendungan tanpa kajian ekologi yang cukup, atau banjir perkotaan akibat sistem drainase yang tidak mempertimbangkan perubahan tata guna lahan di kawasan hulu.

Pergeseran paradigma ini terus berlanjut hingga kini melalui konsep pembangunan berkelanjutan (sustainable development) dan lebih baru lagi melalui pendekatan infrastruktur hijau dan ketahanan iklim (climate-resilient infrastructure), yang akan dibahas lebih mendalam pada Bab 12 dan 13.

RINGKASAN BAB

Bab ini menjelaskan konsep dasar ilmu lingkungan, interaksi timbal balik antara infrastruktur dan lingkungan, empat komponen lingkungan fisik yang relevan bagi teknik sipil, serta sejarah kesadaran lingkungan dalam rekayasa sipil.

Kata Kunci: *Ilmu Lingkungan • Interaksi Timbal Balik • Komponen Lingkungan Fisik*

Latihan Soal

1. Jelaskan mengapa insinyur sipil perlu memahami ilmu lingkungan meski fokus utamanya adalah struktur dan konstruksi.
2. Sebutkan empat komponen lingkungan fisik yang relevan bagi praktik teknik sipil.

Tugas Individu

Cari satu contoh proyek infrastruktur yang gagal mempertimbangkan kondisi lingkungan setempat, lalu rangkum dampaknya.

Tugas Kelompok

Diskusikan bagaimana pergeseran paradigma menuju infrastruktur berkelanjutan memengaruhi praktik teknik sipil modern.

Refleksi

Refleksikan bagaimana pemahaman ilmu lingkungan dapat memengaruhi cara Anda mendekati desain infrastruktur kelak.

BAB 2

EKOSISTEM, DAYA DUKUNG, DAN KESEIMBANGAN LINGKUNGAN

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menjelaskan konsep ekosistem, daya dukung lingkungan, dan implikasinya bagi perencanaan pembangunan infrastruktur.

2.1 Konsep Dasar Ekosistem

Ekosistem adalah kesatuan fungsional antara komunitas makhluk hidup dengan lingkungan fisik-kimia di sekitarnya, yang saling berinteraksi membentuk aliran energi dan siklus materi yang relatif stabil. Setiap ekosistem memiliki komponen produsen (tumbuhan yang menghasilkan energi melalui fotosintesis), konsumen (hewan yang memanfaatkan energi dari produsen), dan pengurai (mikroorganisme yang mengembalikan materi organik ke dalam siklus hara).

Bagi insinyur sipil, pemahaman ekosistem penting terutama ketika proyek infrastruktur berpotongan langsung dengan ekosistem sensitif, seperti pembangunan jalan yang melintasi kawasan hutan, jembatan yang membentang di atas sungai dengan ekosistem perairan yang kaya, atau bendungan yang mengubah pola aliran sungai secara mendasar.

2.2 Daya Dukung Lingkungan

Daya dukung lingkungan (carrying capacity) adalah kemampuan maksimum suatu lingkungan menopang aktivitas tertentu tanpa mengalami kerusakan permanen, misalnya kemampuan suatu DAS menyerap limpasan air hujan tambahan akibat pembangunan kawasan perumahan baru, atau kemampuan suatu badan air menerima beban pencemar tanpa melampaui baku mutu yang ditetapkan. Pembangunan infrastruktur yang melampaui daya dukung

lingkungan setempat, misalnya pembangunan kawasan perumahan masif tanpa memperhitungkan kapasitas drainase eksisting, akan menghasilkan persoalan lingkungan yang baru muncul setelah proyek selesai dan sulit diperbaiki tanpa biaya besar.

Konsep daya dukung ini menjadi dasar penting dalam perencanaan tata ruang wilayah, di mana pembangunan infrastruktur idealnya direncanakan sesuai dengan kapasitas lingkungan yang tersedia, bukan sekadar mengikuti permintaan pasar tanpa mempertimbangkan batasan ekologis kawasan tersebut.

2.3 Prinsip Keseimbangan Lingkungan

Lingkungan yang sehat cenderung memiliki mekanisme umpan balik alami yang menjaga keseimbangan sistemnya, misalnya vegetasi riparian di sepanjang sungai yang menyerap sebagian limpasan air hujan sebelum mencapai badan sungai, mengurangi risiko banjir dan erosi tebing sungai. Ketika infrastruktur dibangun tanpa mempertimbangkan mekanisme alami ini, misalnya membangun tanggul beton yang menggantikan vegetasi riparian sepenuhnya, keseimbangan yang sebelumnya terjaga secara alami dapat terganggu, memerlukan investasi infrastruktur tambahan (seperti pompa drainase) untuk menggantikan fungsi yang sebelumnya disediakan gratis oleh ekosistem alami.

CONTOH: Solusi Berbasis Alam (Nature-Based Solutions)

Alih-alih membangun tanggul beton penuh di sepanjang sungai perkotaan, sejumlah kota kini menerapkan pendekatan solusi berbasis alam seperti taman retensi (bioretention), kolam resapan, dan koridor hijau di sepanjang bantaran sungai, yang memanfaatkan kemampuan alami vegetasi dan tanah menyerap

dan menyaring air, sekaligus lebih murah dalam pemeliharaan jangka panjang dibandingkan infrastruktur beton konvensional.

2.4 Implikasi Daya Dukung Lingkungan bagi Perencanaan Infrastruktur

Perencanaan infrastruktur yang baik mempertimbangkan daya dukung lingkungan sejak tahap awal, melalui kajian yang menjawab pertanyaan seperti: berapa luas kawasan yang dapat dikembangkan tanpa melampaui kapasitas drainase alami DAS setempat, atau berapa volume limbah yang dapat diterima suatu badan air tanpa melampaui baku mutu yang berlaku. Pengabaian terhadap pertanyaan-pertanyaan ini pada tahap perencanaan sering menjadi akar penyebab persoalan lingkungan perkotaan yang kompleks dan mahal diperbaiki di kemudian hari, seperti banjir kronis yang melanda berbagai kota besar Indonesia akibat pembangunan yang jauh melampaui daya dukung drainase alaminya.

RINGKASAN BAB

Bab ini menjelaskan konsep ekosistem, daya dukung lingkungan, prinsip keseimbangan lingkungan, serta implikasinya bagi perencanaan infrastruktur yang mempertimbangkan batasan ekologis kawasan.

Kata Kunci: *Ekosistem • Daya Dukung Lingkungan • Solusi Berbasis Alam*

Latihan Soal

1. Jelaskan konsep daya dukung lingkungan dan berikan contoh penerapannya dalam perencanaan drainase.
2. Apa yang dimaksud solusi berbasis alam (nature-based solutions)?

Tugas Individu

Identifikasi satu kawasan di sekitar Anda yang pembangunannya tampak melampaui daya dukung lingkungan setempat.

Tugas Kelompok

Diskusikan penerapan solusi berbasis alam sebagai alternatif infrastruktur beton konvensional pada satu kasus pilihan kelompok.

Refleksi

Refleksikan mengapa mekanisme umpan balik alami ekosistem sering terganggu oleh infrastruktur yang dibangun tanpa mempertimbangkannya.

BAB 3

ATMOSFER DAN PENCEMARAN UDARA

AKIBAT AKTIVITAS KONSTRUKSI

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menjelaskan karakteristik atmosfer dan sumber pencemaran udara dari aktivitas konstruksi serta cara pengendaliannya.

3.1 Struktur Atmosfer dan Kualitas Udara

Atmosfer bumi tersusun dari beberapa lapisan, dengan troposfer sebagai lapisan terbawah yang menjadi tempat berlangsungnya seluruh aktivitas manusia dan fenomena cuaca. Kualitas udara pada lapisan troposfer inilah yang menjadi perhatian utama dalam konteks konstruksi, karena aktivitas pembangunan dapat memengaruhi konsentrasi berbagai polutan udara di sekitarnya, mulai dari partikulat debu hingga gas buang kendaraan dan alat berat.

3.2 Sumber Pencemaran Udara dari Aktivitas Konstruksi

Kegiatan konstruksi menghasilkan berbagai jenis pencemar udara: partikulat debu dari pekerjaan tanah, penghancuran material, dan lalu lintas kendaraan proyek di jalan yang belum diperkeras; gas buang dari alat berat dan kendaraan pengangkut material yang mengandung karbon monoksida, nitrogen oksida, dan sulfur dioksida; serta kebisingan yang meski bukan pencemar udara dalam pengertian kimiawi, sering dikategorikan bersama dalam kajian dampak lingkungan konstruksi karena sama-sama memengaruhi kenyamanan masyarakat sekitar.

Partikulat debu konstruksi (PM10 dan PM2.5) menjadi perhatian khusus karena dapat terhirup jauh ke dalam saluran pernapasan, dengan dampak kesehatan yang lebih signifikan pada kelompok rentan seperti anak-anak, lansia,

dan penderita gangguan pernapasan yang tinggal atau beraktivitas di sekitar lokasi proyek.

3.3 Metode Pengendalian Pencemaran Udara Konstruksi

Pengendalian debu konstruksi dapat dilakukan melalui penyiraman berkala area kerja dan jalan akses proyek, terutama pada musim kemarau; penggunaan pagar/jaring penghalang debu (dust barrier) di sekeliling lokasi proyek yang berdekatan dengan permukiman; pembatasan kecepatan kendaraan proyek untuk mengurangi debu yang terangkat dari jalan tanah; serta pencucian roda kendaraan proyek sebelum keluar dari lokasi kerja untuk mencegah tanah dan debu terbawa ke jalan umum.

Pengendalian emisi gas buang dilakukan melalui perawatan berkala alat berat dan kendaraan proyek agar pembakaran bahan bakar tetap efisien, pembatasan waktu idle mesin yang tidak diperlukan, serta penjadwalan pekerjaan yang menghasilkan emisi tinggi di luar jam-jam ketika masyarakat sekitar paling banyak beraktivitas di luar ruangan.

Tabel 3.1 Sumber dan Metode Pengendalian Pencemaran Udara Konstruksi

Sumber Pencemar	Jenis Polutan	Metode Pengendalian Utama
Pekerjaan tanah/galian	Partikulat debu (PM10)	Penyiraman berkala, penutup material
Alat berat & kendaraan	CO, NOx, SO2	Perawatan mesin, pembatasan idle
Lalu lintas proyek	Debu jalan	Pencucian roda, pengerasan jalan akses
Aktivitas pembongkaran	Debu & partikel material	Jaring/pagar penghalang debu

3.4 Baku Mutu Udara Ambien dan Pemantauan

Proyek konstruksi berskala besar umumnya diwajibkan memantau kualitas udara ambien di sekitar lokasi proyek secara berkala, membandingkan hasil pengukuran dengan baku mutu udara ambien nasional yang diatur Peraturan Pemerintah, sebagai bagian dari kewajiban RKL-RPL yang telah dibahas dalam mata kuliah AMDAL. Insinyur sipil yang memahami parameter dan metode pemantauan kualitas udara akan lebih mampu berkoordinasi dengan tim lingkungan proyek dalam merancang jadwal dan metode kerja yang meminimalkan risiko pelanggaran baku mutu tersebut.

RINGKASAN BAB

Bab ini menjelaskan struktur atmosfer, sumber pencemaran udara dari aktivitas konstruksi, metode pengendaliannya, serta pentingnya pemantauan baku mutu udara ambien pada proyek konstruksi.

Kata Kunci: *Pencemaran Udara Konstruksi • Partikulat Debu • Pengendalian Debu*

Latihan Soal

1. Sebutkan tiga sumber utama pencemaran udara dari aktivitas konstruksi.
2. Jelaskan tiga metode pengendalian debu konstruksi yang paling umum diterapkan.

Tugas Individu

Amati satu lokasi proyek konstruksi di sekitar Anda dan identifikasi metode pengendalian debu yang telah/belum diterapkan.

Tugas Kelompok

Diskusikan dan susun jadwal kerja yang meminimalkan dampak emisi konstruksi terhadap masyarakat sekitar.

Refleksi

Refleksikan mengapa partikulat debu konstruksi sering diabaikan padahal berdampak signifikan terhadap kesehatan masyarakat sekitar.

BAB 4

HIDROSFER, SIKLUS HIDROLOGI, DAN PENCEMARAN AIR

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menjelaskan siklus hidrologi dan dampak aktivitas konstruksi terhadap kualitas dan kuantitas sumber daya air.

4.1 Siklus Hidrologi dan Neraca Air

Siklus hidrologi menggambarkan pergerakan air secara berkelanjutan melalui proses evaporasi, kondensasi, presipitasi, infiltrasi, dan limpasan permukaan, menjadi dasar bagi seluruh perhitungan hidrologi teknik yang digunakan insinyur sipil dalam mendesain sistem drainase, bendungan, dan infrastruktur pengelolaan air lainnya. Perubahan tata guna lahan akibat pembangunan, dari lahan bervegetasi menjadi permukaan kedap air (perkerasan, atap bangunan), secara fundamental mengubah neraca air suatu kawasan: infiltrasi berkurang drastis, sementara limpasan permukaan meningkat tajam, menuntut kapasitas sistem drainase yang jauh lebih besar dibandingkan kondisi sebelum pembangunan.

4.2 Dampak Konstruksi terhadap Kuantitas Air

Pembangunan kawasan perkotaan yang mengganti lahan bervegetasi dengan permukaan kedap air menghasilkan fenomena yang dikenal sebagai urban heat island sekaligus peningkatan koefisien limpasan (runoff coefficient), di mana persentase air hujan yang menjadi limpasan permukaan dapat meningkat dari sekitar 10-20% pada lahan alami menjadi 70-95% pada kawasan perkotaan yang didominasi perkerasan. Peningkatan drastis ini menjadi penyebab utama banjir perkotaan ketika sistem drainase eksisting dirancang berdasarkan kondisi

tata guna lahan lama yang belum memperhitungkan perkembangan pembangunan di kawasan hulu.

4.3 Dampak Konstruksi terhadap Kualitas Air

Aktivitas konstruksi dapat mencemari badan air di sekitarnya melalui sedimentasi akibat erosi tanah pada area yang telah dibuka namun belum tertutup vegetasi atau perkerasan, tumpahan bahan bakar dan pelumas dari alat berat, limbah domestik dari basecamp pekerja proyek yang tidak dikelola memadai, serta limbah kimia dari proses konstruksi tertentu seperti curing beton atau pengecatan. Sedimentasi akibat erosi tanah proyek konstruksi menjadi salah satu sumber pencemaran air tersuspensi (TSS) paling signifikan pada tahap konstruksi, dapat mengganggu kehidupan biota air dan mempercepat pendangkalan badan air penerima.



Gambar 4.1 Ilustrasi potensi dampak lingkungan dari aktivitas konstruksi

Sumber: ilustrasi orisinal oleh penulis.

4.4 Pengendalian Erosi dan Sedimentasi pada Proyek Konstruksi

Pengendalian erosi dan sedimentasi pada proyek konstruksi umumnya menerapkan kombinasi kolam pengendapan sementara (sediment trap) sebelum air limpasan dialirkan ke badan air penerima, penanaman vegetasi penutup tanah sementara pada area yang telah dibuka namun belum dikerjakan lebih lanjut, pemasangan pagar sedimen (silt fence) di sekeliling area kerja yang berbatasan dengan badan air, serta penjadwalan pekerjaan tanah yang mempertimbangkan musim, menghindari pembukaan lahan skala besar tepat sebelum musim hujan tiba.

RINGKASAN BAB

Bab ini menjelaskan siklus hidrologi, dampak konstruksi terhadap kuantitas dan kualitas air, serta metode pengendalian erosi dan sedimentasi pada proyek konstruksi.

Kata Kunci: *Siklus Hidrologi • Koefisien Limpasan • Sedimentasi*

Latihan Soal

1. Jelaskan bagaimana perubahan tata guna lahan memengaruhi koefisien limpasan suatu kawasan.
2. Sebutkan empat metode pengendalian erosi dan sedimentasi pada proyek konstruksi.

Tugas Individu

Hitung estimasi kasar perubahan koefisien limpasan untuk satu kawasan yang berubah dari lahan hijau menjadi kawasan terbangun.

Tugas Kelompok

Diskusikan mengapa sedimentasi konstruksi menjadi sumber pencemaran air yang sering luput dari perhatian dibandingkan pencemaran kimia.

Refleksi

Refleksikan bagaimana Anda akan merancang jadwal pekerjaan tanah proyek untuk meminimalkan risiko erosi musiman.

BAB 5

LITOSFER, TANAH, DAN DAMPAK PEKERJAAN TANAH/GALIAN

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menjelaskan karakteristik tanah dan dampak lingkungan dari pekerjaan tanah dan galian pada proyek konstruksi.

5.1 Litosfer dan Karakteristik Tanah

Litosfer adalah lapisan terluar bumi yang padat, terdiri atas kerak dan bagian atas mantel, menjadi tempat terbentuknya tanah melalui proses pelapukan batuan dan dekomposisi bahan organik selama ribuan tahun. Karakteristik tanah, mencakup tekstur, struktur, kandungan bahan organik, dan tingkat kesuburan, tidak hanya relevan bagi ilmu pertanian, tetapi juga menjadi dasar penting bagi kajian geoteknik yang menentukan desain pondasi, daya dukung tanah, dan stabilitas lereng dalam proyek konstruksi.

5.2 Degradasi Lahan akibat Pekerjaan Tanah dan Galian

Pekerjaan galian dan timbunan skala besar, seperti pada proyek jalan tol, bendungan, atau kawasan industri, dapat menyebabkan hilangnya lapisan tanah pucuk (topsoil) yang subur dan kaya bahan organik, memerlukan waktu ratusan hingga ribuan tahun untuk terbentuk kembali secara alami apabila tidak dikelola dengan baik. Praktik pengelolaan tanah pucuk yang baik mencakup pengupasan dan penyimpanan topsoil secara terpisah sebelum pekerjaan galian utama dimulai, untuk kemudian dikembalikan pada tahap revegetasi atau lansekap pascakonstruksi.

5.3 Stabilitas Lereng dan Risiko Longsor

Pekerjaan galian pada medan berlereng, sebagaimana umum dijumpai pada proyek jalan di kawasan berbukit, berisiko mengganggu kestabilan lereng alami

apabila tidak disertai kajian geoteknik dan perkuatan lereng yang memadai. Pemahaman terhadap sudut geser dalam tanah, tekanan air pori, serta pengaruh vegetasi terhadap kestabilan lereng menjadi pengetahuan lintas disiplin yang menghubungkan ilmu lingkungan dengan mekanika tanah yang telah atau akan dipelajari mahasiswa Teknik Sipil pada mata kuliah geoteknik.

Kejadian longsor pada proyek jalan di kawasan perbukitan Kalimantan, meski tidak sesering di wilayah pegunungan Jawa dan Sumatra, tetap menjadi risiko nyata terutama pada kawasan bekas tambang atau bekas hutan yang telah kehilangan tutupan vegetasi penahan lereng alaminya.

5.4 Reklamasi dan Revegetasi Pascakonstruksi

Area terbuka akibat pekerjaan tanah yang tidak lagi digunakan untuk konstruksi permanen (misalnya area logistik sementara atau borrow pit sumber material timbunan) perlu direklamasi melalui pengembalian kontur lahan yang stabil, pengembalian topsoil yang telah disimpan sebelumnya, serta revegetasi menggunakan jenis tanaman lokal yang cepat tumbuh untuk mencegah erosi sekaligus mengembalikan sebagian fungsi ekologis lahan yang terganggu selama masa konstruksi.

TIPS: Prinsip Pengelolaan Tanah yang Baik dalam Proyek Konstruksi

Selalu pisahkan dan simpan topsoil sebelum pekerjaan galian utama dimulai.

Batasi luas area terbuka pada satu waktu sesuai kemampuan penyelesaian pekerjaan, hindari membuka lahan jauh lebih luas dari yang dapat segera dikerjakan.

Rencanakan drainase sementara sejak tahap awal konstruksi untuk mencegah genangan dan erosi tak terkendali.

RINGKASAN BAB

Bab ini menjelaskan karakteristik litosfer dan tanah, dampak degradasi lahan akibat pekerjaan galian, risiko stabilitas lereng, serta praktik reklamasi dan revegetasi pascakonstruksi.

Kata Kunci: *Litosfer • Topsoil • Stabilitas Lereng • Reklamasi*

Latihan Soal

1. Mengapa pengelolaan topsoil penting dilakukan sebelum pekerjaan galian utama dimulai?
2. Jelaskan faktor yang memengaruhi risiko longsor pada pekerjaan galian di medan berlereng.

Tugas Individu

Rancang prosedur pengelolaan topsoil sederhana untuk satu proyek galian hipotetis.

Tugas Kelompok

Diskusikan praktik reklamasi yang tepat untuk area bekas borrow pit material timbunan proyek jalan.

Refleksi

Refleksikan keterkaitan antara ilmu lingkungan dan mekanika tanah/geoteknik yang akan Anda pelajari lebih mendalam.

BAB 6

EKOLOGI PERKOTAAN DAN PERENCANAAN INFRASTRUKTUR HIJAU

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menjelaskan konsep ekologi perkotaan dan menerapkannya dalam perencanaan infrastruktur hijau.

6.1 Konsep Ekologi Perkotaan

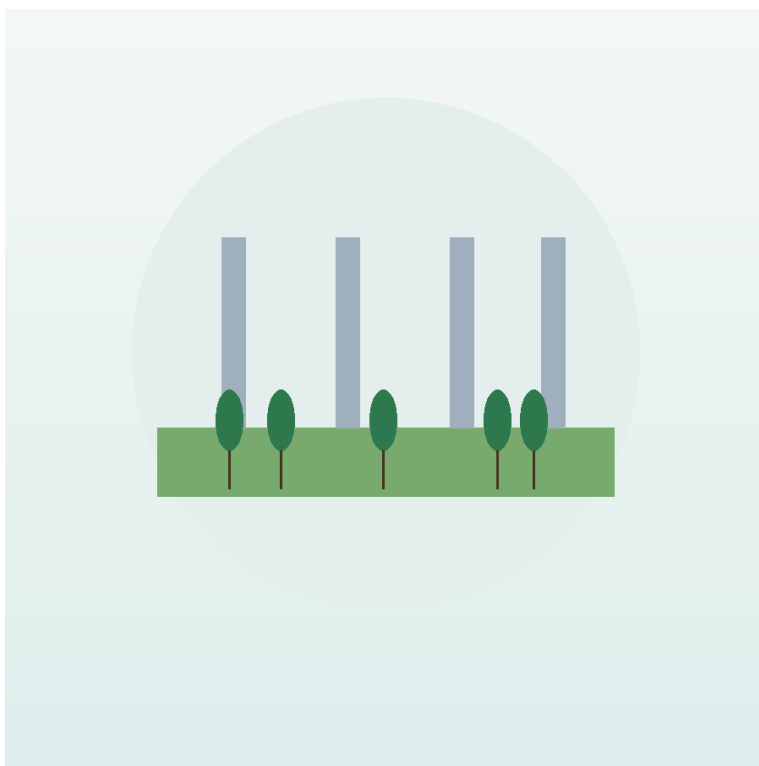
Ekologi perkotaan mempelajari interaksi antara komponen alami (vegetasi, satwa, air, tanah) dengan komponen buatan manusia (bangunan, jalan, infrastruktur) dalam ekosistem kota yang unik, di mana kepadatan manusia dan tingkat modifikasi lingkungan jauh lebih tinggi dibandingkan ekosistem alami. Kota yang dirancang tanpa mempertimbangkan prinsip ekologi cenderung mengalami berbagai persoalan lingkungan yang saling terkait: peningkatan suhu perkotaan (urban heat island), penurunan kualitas udara, banjir, hingga hilangnya ruang terbuka hijau yang penting bagi kesehatan mental dan fisik warga kota.

6.2 Ruang Terbuka Hijau sebagai Infrastruktur Ekologis

Ruang terbuka hijau (RTH) bukan sekadar elemen estetika kota, melainkan infrastruktur ekologis yang memberikan berbagai jasa lingkungan: menyerap air hujan dan mengurangi beban drainase, menyerap polutan udara dan karbon dioksida, menurunkan suhu udara perkotaan melalui evapotranspirasi dan naungan, serta menyediakan habitat bagi keanekaragaman hayati perkotaan. Peraturan Penataan Ruang di Indonesia mewajibkan proporsi RTH minimal 30% dari luas wilayah kota (20% publik dan 10% privat), meski implementasinya di banyak kota Indonesia, termasuk kota-kota di Kalimantan Tengah, masih jauh dari target tersebut.

6.3 Konsep Infrastruktur Hijau (Green Infrastructure)

Infrastruktur hijau adalah pendekatan perencanaan yang mengintegrasikan elemen alami ke dalam sistem infrastruktur perkotaan untuk mengelola air hujan, meningkatkan kualitas lingkungan, dan menyediakan ruang publik yang bermanfaat ganda. Contoh penerapannya meliputi taman hujan (rain garden) yang menampung dan menyerap limpasan air hujan dari atap dan perkerasan di sekitarnya, trotoar berpori (permeable pavement) yang memungkinkan air meresap langsung ke tanah alih-alih menjadi limpasan permukaan, serta atap hijau (green roof) yang mengurangi limpasan air hujan sekaligus memberikan insulasi termal bagi bangunan di bawahnya.



Gambar 6.1 Ilustrasi integrasi ruang hijau dalam perencanaan kota

Sumber: ilustrasi orisinal oleh penulis.

6.4 Koridor Ekologis dan Konektivitas Habitat Perkotaan

Perencanaan infrastruktur hijau yang efektif tidak hanya menyediakan taman-taman terisolasi, tetapi merancang koridor ekologis yang menghubungkan berbagai ruang hijau perkotaan, memungkinkan pergerakan satwa dan penyebaran biji tanaman antar-kawasan hijau yang terpisah. Jalur hijau di sepanjang sungai perkotaan (riparian corridor) menjadi salah satu bentuk koridor ekologis yang paling umum diterapkan, sekaligus berfungsi ganda sebagai zona penyangga banjir dan area rekreasi warga kota.

RINGKASAN BAB

Bab ini menjelaskan konsep ekologi perkotaan, fungsi ruang terbuka hijau sebagai infrastruktur ekologis, konsep infrastruktur hijau, serta pentingnya koridor ekologis dalam perencanaan kota.

Kata Kunci: *Ekologi Perkotaan • Ruang Terbuka Hijau • Infrastruktur Hijau*

Latihan Soal

1. Jelaskan mengapa ruang terbuka hijau dianggap sebagai infrastruktur, bukan sekadar elemen estetika.
2. Sebutkan tiga contoh infrastruktur hijau beserta fungsinya.

Tugas Individu

Hitung estimasi proporsi RTH di kawasan tempat tinggal Anda dan bandingkan dengan target 30% regulasi.

Tugas Kelompok

Diskusikan dan rancang konsep koridor ekologis sederhana untuk menghubungkan dua ruang hijau di kota Anda.

Refleksi

Refleksikan mengapa banyak kota Indonesia kesulitan memenuhi target RTH 30% yang telah diregulasikan.

BAB 7

ANALISIS DAMPAK LINGKUNGAN PROYEK KONSTRUKSI DAN INFRASTRUKTUR

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menjelaskan prinsip AMDAL dan penerapannya secara spesifik pada proyek konstruksi dan infrastruktur sipil.

7.1 Mengapa Proyek Infrastruktur Memerlukan Kajian Dampak Lingkungan

Proyek infrastruktur berskala besar, seperti jalan tol, bendungan, pelabuhan, dan kawasan perumahan skala besar, tergolong dalam daftar usaha wajib AMDAL karena berpotensi menimbulkan dampak penting terhadap lingkungan, baik pada tahap konstruksi maupun operasi. Mahasiswa Teknik Sipil yang kelak terlibat dalam perencanaan dan pelaksanaan proyek infrastruktur perlu memahami prinsip dasar AMDAL, meski penyusunan dokumennya sendiri umumnya dilakukan tenaga ahli lingkungan bersertifikat, karena insinyur sipil akan sering berkolaborasi dan memberikan data teknis yang menjadi input penting bagi kajian tersebut.

7.2 Dampak Spesifik Tahap Konstruksi Infrastruktur

Dampak lingkungan tahap konstruksi infrastruktur sipil umumnya mencakup pencemaran udara dan kebisingan dari alat berat (dibahas Bab 3), sedimentasi dan pencemaran air dari pekerjaan tanah (dibahas Bab 4-5), gangguan lalu lintas dan aksesibilitas masyarakat sekitar proyek, hingga dampak sosial seperti pembebasan lahan yang berpotensi menimbulkan konflik apabila tidak dikelola dengan pendekatan yang adil dan transparan.

7.3 Dampak Spesifik Tahap Operasi Infrastruktur

Dampak tahap operasi bervariasi tergantung jenis infrastruktur: jalan tol dan jalan raya menimbulkan dampak jangka panjang berupa peningkatan emisi kendaraan dan fragmentasi habitat satwa liar yang wilayah jelajahnya terpotong jalan; bendungan menimbulkan perubahan hidrologi permanen di hilir dan hulu, termasuk potensi genangan kawasan pemukiman/hutan yang luas; kawasan perumahan skala besar menimbulkan beban tambahan permanen terhadap sistem drainase, air bersih, dan pengelolaan sampah kota.

Tabel 7.1 Contoh Dampak Utama Berbagai Jenis Infrastruktur pada Tahap Operasi

Jenis Infrastruktur	Dampak Utama Tahap Operasi
Jalan tol/jalan raya	Fragmentasi habitat, peningkatan emisi kendaraan
Bendungan	Perubahan hidrologi hulu-hilir, genangan permanen
Kawasan perumahan skala besar	Beban tambahan drainase, air bersih, sampah
Pelabuhan	Perubahan arus pesisir, potensi pencemaran laut

7.4 Integrasi Pertimbangan Lingkungan dalam Desain Rekayasa

Pendekatan terbaik mengelola dampak lingkungan infrastruktur adalah mengintegrasikan pertimbangan tersebut sejak tahap desain awal (design for environment), bukan menambahkannya sebagai 'tempelan' setelah desain teknis selesai. Contohnya, desain jalan tol yang mempertimbangkan koridor satwa liar (wildlife crossing) sejak tahap perencanaan trase jauh lebih efektif dan efisien biaya dibandingkan menambahkan fasilitas tersebut setelah jalan selesai dibangun dan pola pergerakan satwa telah terganggu secara permanen.

RINGKASAN BAB

Bab ini menjelaskan pentingnya AMDAL bagi proyek infrastruktur, dampak spesifik tahap konstruksi dan operasi berbagai jenis infrastruktur, serta pentingnya integrasi pertimbangan lingkungan sejak tahap desain.

Kata Kunci: AMDAL Infrastruktur • Dampak Konstruksi • Design for Environment

Latihan Soal

1. Sebutkan dampak utama tahap operasi untuk tiga jenis infrastruktur berbeda.
2. Jelaskan konsep 'design for environment' dan manfaatnya dibandingkan menambahkan mitigasi setelah desain selesai.

Tugas Individu

Identifikasi dampak lingkungan potensial (konstruksi dan operasi) untuk satu jenis infrastruktur pilihan Anda.

Tugas Kelompok

Diskusikan contoh integrasi pertimbangan lingkungan sejak tahap desain pada proyek infrastruktur yang Anda ketahui.

Refleksi

Refleksikan peran apa yang dapat Anda ambil sebagai calon insinyur sipil dalam mendukung kajian AMDAL yang berkualitas.

BAB 8

PENGELOLAAN AIR LIMBAH DAN SISTEM SANITASI

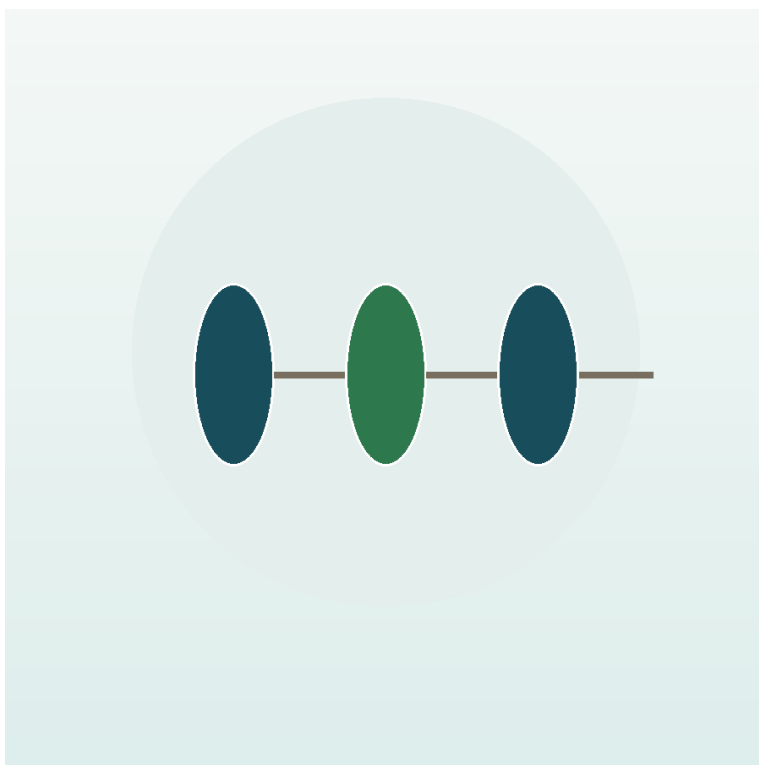
Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menjelaskan prinsip pengelolaan air limbah dan merancang sistem sanitasi dasar untuk infrastruktur bangunan.

8.1 Klasifikasi Air Limbah

Air limbah domestik berasal dari aktivitas rumah tangga dan bangunan, terbagi menjadi grey water (air limbah dari dapur, mandi, cuci dengan tingkat pencemaran relatif rendah) dan black water (air limbah dari toilet yang mengandung tinja dan urine, memerlukan pengolahan lebih intensif). Air limbah non-domestik berasal dari aktivitas komersial dan industri, dengan karakteristik pencemar yang sangat bervariasi tergantung jenis kegiatannya, menuntut pendekatan pengolahan yang disesuaikan karakteristik limbah spesifik tersebut.

8.2 Sistem Pengolahan Air Limbah

Sistem sanitasi setempat (on-site) seperti tangki septik dan bidang resapan cocok diterapkan pada bangunan atau kawasan dengan kepadatan rendah, mengandalkan proses pengolahan biologis sederhana dan peresapan ke dalam tanah. Sistem sanitasi terpusat (off-site) melalui jaringan perpipaan air limbah menuju Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) komunal atau kota menjadi kebutuhan pada kawasan perkotaan padat, di mana sistem setempat tidak lagi memadai menampung volume limbah yang dihasilkan tanpa mencemari air tanah dangkal yang sering menjadi sumber air baku masyarakat sekitar.



Gambar 8.1 Ilustrasi rangkaian unit pengolahan air limbah

Sumber: ilustrasi orisinal oleh penulis.

8.3 Prinsip Dasar Pengolahan Air Limbah

Pengolahan air limbah umumnya melalui tahapan pengolahan pendahuluan (menyaring sampah kasar), pengolahan primer (pengendapan padatan tersuspensi), pengolahan sekunder (penguraian bahan organik terlarut melalui proses biologis aerobik atau anaerobik), hingga pengolahan tersier apabila diperlukan standar effluen yang lebih ketat, misalnya penghilangan nutrien nitrogen-fosfor sebelum dibuang ke badan air yang sensitif terhadap eutrofikasi.

Insinyur sipil yang terlibat perencanaan gedung dan kawasan perlu memahami prinsip dasar ini untuk dapat merancang sistem sanitasi yang memadai sejak tahap perencanaan, termasuk memperhitungkan kebutuhan lahan untuk instalasi pengolahan dan jalur perpipaan yang efisien.

8.4 Sanitasi Berkelanjutan dan Daur Ulang Air

Pendekatan sanitasi berkelanjutan semakin mendorong pemanfaatan kembali (reuse) air limbah yang telah diolah, misalnya untuk penyiraman taman, flushing toilet, atau air pendingin gedung, mengurangi kebutuhan air bersih baru sekaligus mengurangi beban pembuangan ke badan air. Konsep water sensitive urban design yang mengintegrasikan pengelolaan air limbah, air hujan, dan air bersih secara terpadu menjadi arah pengembangan infrastruktur sanitasi perkotaan modern yang semakin banyak diadopsi kota-kota besar di Indonesia.

RINGKASAN BAB

Bab ini menjelaskan klasifikasi air limbah, sistem pengolahan setempat dan terpusat, prinsip dasar pengolahan air limbah, serta konsep sanitasi berkelanjutan dan daur ulang air.

Kata Kunci: *Grey Water • Black Water • IPAL • Sanitasi Berkelanjutan*

Latihan Soal

1. Jelaskan perbedaan sistem sanitasi setempat dan terpusat beserta kondisi yang sesuai untuk masing-masing.
2. Sebutkan tahapan umum pengolahan air limbah dari pendahuluan hingga tersier.

Tugas Individu

Rancang sistem sanitasi sederhana (setempat/terpusat) untuk satu kawasan hipotetis berdasarkan kepadatan penduduknya.

Tugas Kelompok

Diskusikan penerapan konsep water sensitive urban design pada perencanaan kawasan perumahan baru.

Refleksi

Refleksikan bagaimana pemanfaatan kembali air limbah olahan dapat mengurangi tekanan terhadap sumber air bersih baru.

BAB 9

PENGELOLAAN SAMPAH DAN LIMBAH PADAT KONSTRUKSI

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menerapkan prinsip pengelolaan sampah perkotaan dan limbah padat konstruksi secara bertanggung jawab.

9.1 Hierarki Pengelolaan Sampah

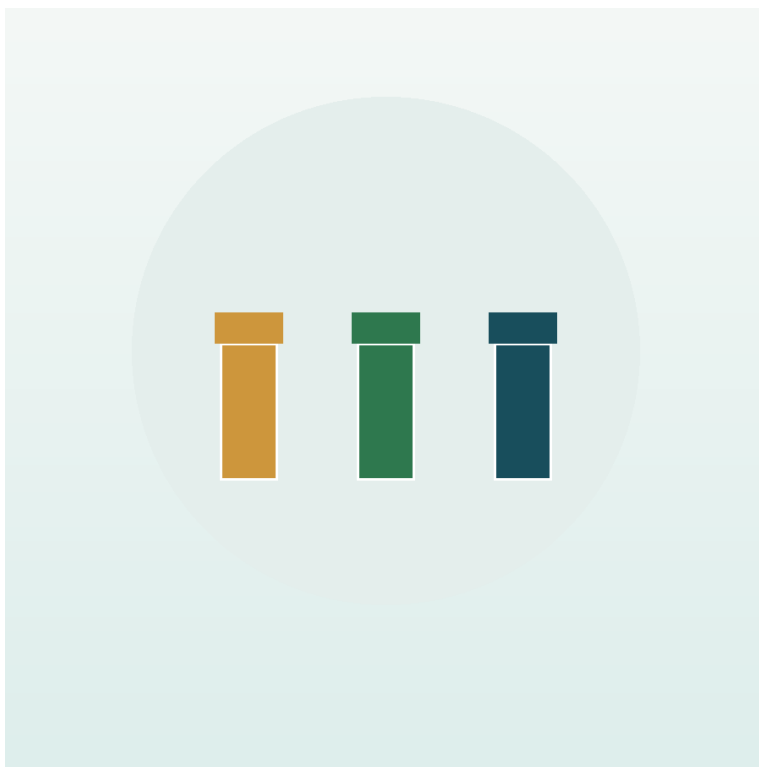
Pengelolaan sampah modern mengikuti hierarki yang memprioritaskan pencegahan timbulan sampah (reduce) sebagai langkah paling diutamakan, dilanjutkan penggunaan kembali (reuse), daur ulang (recycle), pemulihan energi dari sampah yang tidak dapat didaur ulang (recovery), hingga pembuangan akhir ke Tempat Pemrosesan Akhir sebagai pilihan paling terakhir. Hierarki ini relevan bagi insinyur sipil baik dalam perencanaan fasilitas pengelolaan sampah kota maupun dalam pengelolaan limbah padat proyek konstruksi yang mereka tangani sehari-hari.

9.2 Limbah Padat Konstruksi dan Demolisi

Limbah konstruksi dan demolisi (construction and demolition waste) mencakup sisa material seperti beton, bata, kayu, logam, dan kemasan material yang dihasilkan selama proses pembangunan maupun pembongkaran bangunan lama. Volume limbah jenis ini pada proyek konstruksi berskala besar dapat sangat signifikan, menjadikan pengelolaannya sebagai bagian penting dari tanggung jawab lingkungan proyek yang sering luput dari perhatian dibandingkan isu-isu lingkungan konstruksi lainnya seperti kualitas udara atau air.

Praktik pengelolaan limbah konstruksi yang baik mencakup pemilahan material sejak sumber (memisahkan logam, kayu, beton yang masing-masing

memiliki nilai daur ulang berbeda), perencanaan material yang meminimalkan sisa potongan melalui perhitungan kebutuhan yang presisi, serta pemanfaatan kembali material bekas bongkaran yang masih layak, seperti beton hasil demolisi yang dapat dihancurkan menjadi agregat daur ulang untuk lapisan pondasi jalan.



Gambar 9.1 Ilustrasi pemilahan limbah padat konstruksi

Sumber: ilustrasi orisinal oleh penulis.

9.3 Sistem Pengelolaan Sampah Perkotaan

Sistem pengelolaan sampah perkotaan yang komprehensif mencakup pewadahan dan pemilahan di sumber, pengumpulan dan pengangkutan yang efisien menggunakan armada yang disesuaikan karakteristik jalan kota, fasilitas pengolahan antara seperti Tempat Pengolahan Sampah Reduce-Reuse-Recycle (TPS3R), hingga Tempat Pemrosesan Akhir yang dirancang dengan sistem

lapisan kedap (liner) dan pengelolaan air lindi yang memadai untuk mencegah pencemaran air tanah di sekitarnya.

9.4 Perencanaan Teknik Sipil untuk Fasilitas Pengelolaan Sampah

Insinyur sipil berperan penting dalam perencanaan teknis TPA modern, mencakup desain sistem lapisan kedap dasar TPA (umumnya kombinasi lapisan tanah liat dan geomembran), sistem pengumpulan dan pengolahan air lindi (leachate), sistem penangkapan gas metana yang dihasilkan proses dekomposisi sampah organik (yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif), serta perencanaan penutupan dan pemanfaatan lahan pascaoperasi TPA yang telah mencapai kapasitas maksimalnya.

RINGKASAN BAB

Bab ini menjelaskan hierarki pengelolaan sampah, karakteristik limbah konstruksi dan demolisi, sistem pengelolaan sampah perkotaan, serta peran teknik sipil dalam perencanaan fasilitas pengelolaan sampah.

Kata Kunci: *Hierarki Sampah • Limbah Konstruksi • TPA • Air Lindi*

Latihan Soal

1. Jelaskan hierarki pengelolaan sampah dari yang paling diutamakan hingga paling terakhir.
2. Sebutkan praktik pengelolaan limbah konstruksi yang baik pada proyek.

Tugas Individu

Rancang skema pemilahan limbah konstruksi sederhana untuk satu proyek bangunan gedung.

Tugas Kelompok

Diskusikan elemen teknis utama yang perlu direncanakan insinyur sipil dalam desain TPA modern.

Refleksi

Refleksikan mengapa pengelolaan limbah konstruksi sering kurang mendapat perhatian dibandingkan isu lingkungan konstruksi lainnya.

BAB 10

DRAINASE PERKOTAAN DAN PENGENDALIAN BANJIR

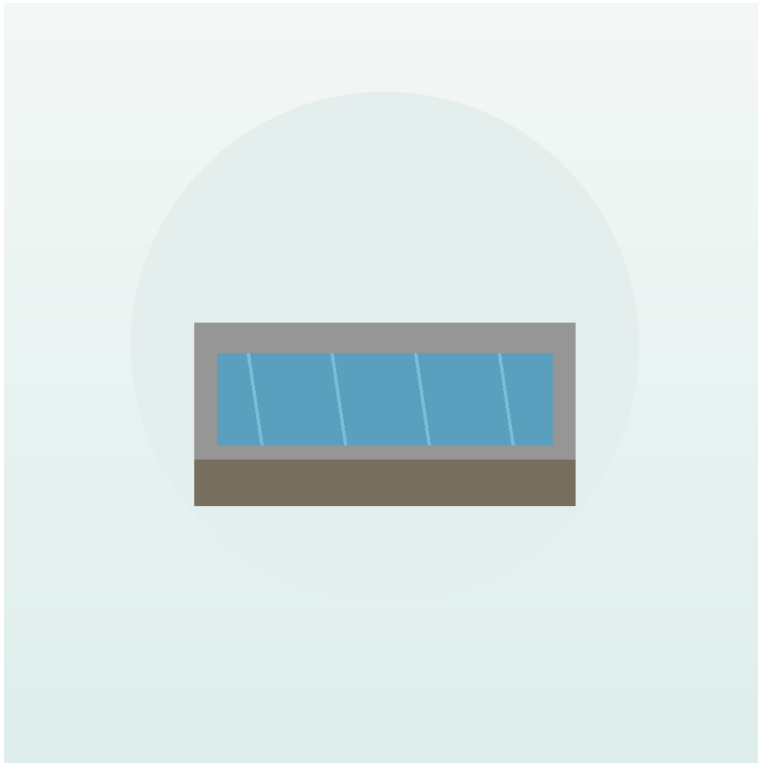
Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menjelaskan prinsip perencanaan drainase perkotaan berwawasan lingkungan dan strategi pengendalian banjir.

10.1 Sistem Drainase Konvensional dan Keterbatasannya

Sistem drainase konvensional dirancang untuk secepat mungkin mengalirkan air hujan menjauh dari kawasan perkotaan menuju badan air penerima, melalui jaringan saluran tertutup atau terbuka yang mengandalkan gaya gravitasi. Pendekatan ini efektif pada skala kecil, namun ketika diterapkan pada skala kota yang luas tanpa mempertimbangkan kapasitas badan air penerima, justru dapat memindahkan sekaligus mempercepat persoalan banjir dari satu kawasan ke kawasan hilir yang menerima debit puncak lebih besar dan lebih cepat dibandingkan kondisi alami sebelum ada drainase.

10.2 Konsep Drainase Berwawasan Lingkungan

Drainase berwawasan lingkungan, yang di Indonesia dikenal dengan konsep 'ekodrainase' atau 'drainase ramah lingkungan', menekankan prinsip menampung dan meresapkan air hujan sedekat mungkin dengan titik jatuhnya, alih-alih segera mengalirkannya keluar kawasan. Prinsip ini diwujudkan melalui berbagai infrastruktur seperti sumur resapan, kolam retensi, dan biopori, yang mengurangi debit puncak limpasan sekaligus mengisi kembali cadangan air tanah yang semakin tertekan akibat eksploitasi berlebihan di banyak kota Indonesia.



Gambar 10.1 Ilustrasi sistem drainase perkotaan

Sumber: ilustrasi orisinal oleh penulis.

10.3 Kolam Retensi dan Detensi

Kolam retensi menampung air hujan secara permanen dengan muka air yang relatif tetap, berfungsi ganda sebagai pengendali banjir sekaligus elemen lansekap dan habitat perairan perkotaan. Kolam detensi menampung air hujan secara sementara pada saat debit puncak, kemudian mengosongkan diri secara bertahap setelah hujan reda, umumnya berbentuk lapangan atau taman yang kering pada kondisi normal namun berfungsi menampung air pada saat hujan deras. Kedua jenis infrastruktur ini menjadi elemen kunci strategi pengendalian banjir modern yang mengutamakan penundaan dan penyebaran debit puncak, bukan sekadar mempercepat pembuangan air.

10.4 Perencanaan Drainase pada Kawasan Rawan Genangan Kalimantan Tengah

Kota Palangka Raya dan berbagai kawasan permukiman di Kalimantan Tengah yang dibangun pada lahan gambut atau lahan rawa memerlukan pendekatan perencanaan drainase yang berbeda dari kawasan dataran mineral biasa, mengingat muka air tanah yang secara alami sudah tinggi dan kapasitas infiltrasi tanah gambut yang sangat terbatas ketika telah mengalami pemadatan akibat konstruksi. Perencanaan drainase pada kawasan semacam ini perlu mempertimbangkan fluktuasi muka air sungai musiman yang signifikan, serta risiko subsidensi lahan gambut yang dapat mengubah elevasi dan kemiringan saluran drainase dari waktu ke waktu setelah pembangunan berlangsung.

RINGKASAN BAB

Bab ini menjelaskan keterbatasan sistem drainase konvensional, konsep drainase berwawasan lingkungan (ekodrainase), kolam retensi dan detensi, serta tantangan perencanaan drainase pada kawasan gambut Kalimantan Tengah.

Kata Kunci: *Ekodrainase • Kolam Retensi • Kolam Detensi • Sumur Resapan*

Latihan Soal

1. Jelaskan perbedaan kolam retensi dan kolam detensi.
2. Mengapa sistem drainase konvensional dapat memindahkan persoalan banjir ke kawasan hilir?

Tugas Individu

Rancang konsep sumur resapan sederhana untuk satu bangunan rumah tinggal.

Tugas Kelompok

Diskusikan tantangan perencanaan drainase pada kawasan gambut dibandingkan kawasan dataran tinggi mineral.

Refleksi

Refleksikan bagaimana prinsip ekodrainase dapat diterapkan pada kawasan tempat tinggal Anda.

BAB 11

KONSERVASI SUMBER DAYA AIR DAN PENGELOLAAN DAS

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menjelaskan prinsip konservasi sumber daya air dan peran infrastruktur sipil dalam pengelolaan DAS terpadu.

11.1 Daerah Aliran Sungai sebagai Satu Kesatuan Sistem

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah satu kesatuan wilayah tata air yang dibatasi oleh punggung bukit/gunung, di mana seluruh air hujan yang jatuh di dalamnya mengalir menuju satu titik keluaran yang sama. Prinsip paling mendasar dalam pengelolaan DAS adalah memahami bahwa aktivitas di bagian hulu selalu memengaruhi kondisi di bagian hilir, sehingga pembangunan infrastruktur di satu titik DAS tidak dapat direncanakan secara terisolasi tanpa mempertimbangkan dampaknya terhadap keseluruhan sistem DAS.

Insinyur sipil yang merencanakan infrastruktur air, mulai dari bendungan hingga sistem irigasi, perlu memahami karakteristik DAS tempat proyek tersebut berada, termasuk luas tangkapan air, koefisien limpasan, serta kondisi tutupan lahan di kawasan hulu yang menentukan besarnya debit dan sedimentasi yang akan diterima infrastruktur tersebut sepanjang masa operasinya.

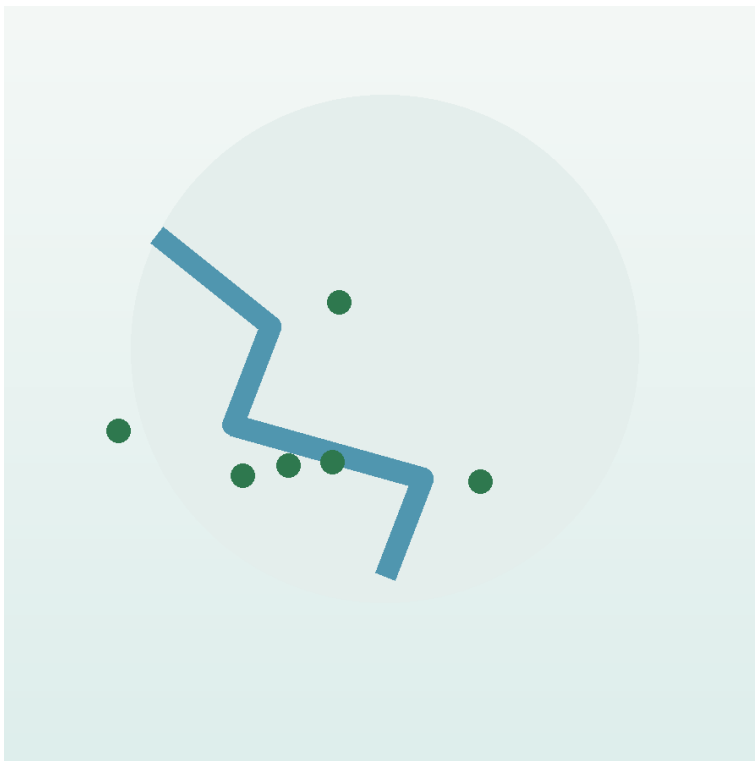
11.2 Konservasi Air Tanah

Eksplorasi air tanah yang berlebihan tanpa diimbangi laju pengisian kembali (recharge) alami menyebabkan penurunan muka air tanah dan pada kasus ekstrem dapat memicu penurunan permukaan tanah (land subsidence), sebagaimana terjadi di berbagai kota pesisir Indonesia. Insinyur sipil berperan penting dalam konservasi air tanah melalui perencanaan sumur resapan dan infrastruktur peresapan air hujan lainnya yang telah dibahas pada Bab 10,

sekaligus melalui perhitungan yang cermat terhadap kebutuhan air suatu kawasan agar tidak melampaui kapasitas akuifer setempat.

11.3 Peran Infrastruktur dalam Pengelolaan DAS Terpadu

Pengelolaan DAS terpadu mengintegrasikan berbagai infrastruktur sipil sebagai bagian dari strategi pengelolaan yang lebih luas: bendungan dan waduk untuk pengaturan debit dan penyediaan air baku, tanggul dan sistem peringatan dini banjir untuk perlindungan kawasan permukiman di dataran banjir, serta bangunan pengendali sedimen (check dam) di kawasan hulu untuk mengurangi laju sedimentasi yang mengancam umur pakai waduk di hilirnya. Keberhasilan pengelolaan DAS terpadu menuntut koordinasi lintas sektor yang tidak selalu mudah dicapai, mengingat satu DAS sering melintasi batas administratif beberapa kabupaten bahkan provinsi.



Gambar 11.1 Ilustrasi konservasi sumber daya air pada kawasan DAS

Sumber: ilustrasi orisinal oleh penulis.

11.4 Pengelolaan DAS Kahayan dan Implikasinya bagi Infrastruktur Sipil

DAS Kahayan yang membentang dari kawasan hulu pegunungan hingga bermuara di sekitar Palangka Raya menjadi salah satu DAS strategis di Kalimantan Tengah, menopang kebutuhan air baku, transportasi sungai, serta menjadi penerima akhir seluruh limpasan air dan limbah dari berbagai aktivitas di sepanjang alirannya. Perencanaan infrastruktur sipil di sepanjang DAS ini, mulai dari jembatan, dermaga, hingga sistem penyediaan air bersih kota, perlu mempertimbangkan fluktuasi debit musiman yang signifikan serta potensi perubahan pola hidrologi akibat perubahan tata guna lahan di kawasan hulu yang terus berlangsung.

RINGKASAN BAB

Bab ini menjelaskan konsep DAS sebagai satu kesatuan sistem, konservasi air tanah, peran infrastruktur dalam pengelolaan DAS terpadu, serta studi kasus pengelolaan DAS Kahayan.

Kata Kunci: *DAS • Konservasi Air Tanah • Pengelolaan DAS Terpadu*

Latihan Soal

1. Jelaskan mengapa aktivitas hulu selalu memengaruhi kondisi hilir dalam satu DAS.
2. Sebutkan tiga infrastruktur sipil yang berperan dalam pengelolaan DAS terpadu.

Tugas Individu

Cari informasi luas dan karakteristik DAS Kahayan, lalu identifikasi infrastruktur utama di sepanjang alirannya.

Tugas Kelompok

Diskusikan tantangan koordinasi lintas kabupaten dalam pengelolaan DAS yang melintasi beberapa wilayah administratif.

Refleksi

Refleksikan pentingnya memahami karakteristik DAS sebelum merencanakan infrastruktur air di dalamnya.

BAB 12

PERUBAHAN IKLIM DAN INFRASTRUKTUR

BERKETAHANAN IKLIM

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menjelaskan dampak perubahan iklim terhadap infrastruktur dan menerapkan prinsip perencanaan infrastruktur berketahanan iklim.

12.1 Dampak Perubahan Iklim terhadap Infrastruktur

Perubahan iklim memengaruhi infrastruktur sipil melalui berbagai jalur: peningkatan intensitas curah hujan ekstrem yang melampaui kapasitas desain drainase yang dibangun berdasarkan data historis lama, kenaikan muka air laut yang mengancam infrastruktur pesisir dan mempercepat intrusi air asin ke sumber air tanah, peningkatan suhu udara yang memengaruhi kinerja dan umur pakai material perkerasan jalan, serta perubahan pola kekeringan yang memengaruhi ketersediaan air baku bagi infrastruktur penyediaan air bersih.

Standar desain infrastruktur yang selama ini mengandalkan data historis (misalnya periode ulang hujan 25 atau 50 tahun berdasarkan data masa lalu) perlu dikaji ulang mengingat pola iklim masa depan diperkirakan akan berbeda signifikan dari pola historis tersebut, sebuah tantangan yang dikenal sebagai 'non-stasioneritas iklim' dalam perencanaan infrastruktur.

12.2 Konsep Infrastruktur Berketahanan Iklim

Infrastruktur berketahanan iklim (climate-resilient infrastructure) dirancang untuk tetap berfungsi optimal atau pulih dengan cepat menghadapi tekanan iklim ekstrem, mengintegrasikan margin keamanan tambahan dalam desain (misalnya kapasitas drainase yang lebih besar dari standar historis), fleksibilitas desain yang memungkinkan penyesuaian di masa depan seiring bertambahnya data dan pemahaman terhadap perubahan iklim, serta redundansi

sistem yang memastikan kegagalan satu komponen tidak melumpuhkan keseluruhan sistem infrastruktur.

12.3 Adaptasi Infrastruktur Kawasan Rawan Banjir dan Rob

Kawasan perkotaan yang rawan banjir dan rob memerlukan strategi adaptasi infrastruktur yang beragam, mulai dari peninggian elevasi jalan dan bangunan baru di atas ambang batas banjir yang telah diperbarui, pembangunan tanggul dan pintu air yang dapat menyesuaikan kenaikan muka air laut jangka panjang, hingga penerapan konsep bangunan panggung/terapung pada kawasan yang secara permanen berisiko tergenang. Pendekatan 'membangun bersama air' (living with water) yang mengakomodasi genangan periodik alih-alih berusaha menghilangkannya sepenuhnya, semakin banyak diterapkan pada kawasan pesisir dan lahan basah yang secara alami memang rentan tergenang, termasuk sebagian kawasan Kalimantan Tengah yang berada di dataran rendah gambut.

PENTING: Non-Stasioneritas Iklim dalam Desain Infrastruktur

Asumsi bahwa pola hujan masa depan akan sama dengan pola historis masa lalu (asumsi stasioneritas) semakin dipertanyakan validitasnya di tengah perubahan iklim. Insinyur sipil masa depan perlu terbiasa menggunakan proyeksi iklim, bukan hanya data historis semata, dalam menentukan parameter desain infrastruktur jangka panjang.

12.4 Mitigasi Perubahan Iklim melalui Sektor Konstruksi

Selain adaptasi, sektor konstruksi juga berperan penting dalam mitigasi perubahan iklim mengingat kontribusinya yang signifikan terhadap emisi gas rumah kaca global, baik melalui proses produksi material (semen dan baja menyumbang porsi besar emisi karbon industri global) maupun konsumsi energi

bangunan sepanjang masa operasinya. Bab 13 dan 14 akan membahas lebih mendalam bagaimana sektor konstruksi dapat berkontribusi terhadap mitigasi perubahan iklim melalui material berkelanjutan dan pemanfaatan energi terbarukan.

RINGKASAN BAB

Bab ini menjelaskan dampak perubahan iklim terhadap infrastruktur, konsep infrastruktur berketahanan iklim, strategi adaptasi kawasan rawan banjir-rob, serta peran mitigasi sektor konstruksi.

Kata Kunci: *Infrastruktur Berketahanan Iklim • Non-Stasioneritas Iklim • Adaptasi Banjir*

Latihan Soal

1. Jelaskan konsep non-stasioneritas iklim dan implikasinya bagi standar desain infrastruktur.
2. Sebutkan tiga strategi adaptasi infrastruktur pada kawasan rawan banjir dan rob.

Tugas Individu

Cari data periode ulang hujan yang digunakan dalam desain drainase di kota Anda dan diskusikan relevansinya dengan proyeksi iklim terkini.

Tugas Kelompok

Diskusikan konsep 'living with water' dan penerapannya pada kawasan lahan basah Kalimantan Tengah.

Refleksi

Refleksikan bagaimana Anda akan menyesuaikan standar desain infrastruktur menghadapi ketidakpastian iklim masa depan.

BAB 13

GREEN BUILDING DAN MATERIAL KONSTRUKSI BERKELANJUTAN

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menjelaskan konsep green building dan memilih material konstruksi berkelanjutan dalam perencanaan bangunan.

13.1 Konsep Green Building

Green building (bangunan hijau) adalah bangunan yang dirancang, dibangun, dan dioperasikan dengan memperhatikan efisiensi penggunaan sumber daya (energi, air, material) sepanjang siklus hidupnya, sekaligus meminimalkan dampak negatif terhadap kesehatan penghuni dan lingkungan sekitar. Konsep ini berbeda dari sekadar menambahkan elemen hijau dekoratif pada bangunan konvensional; green building sejati mengintegrasikan pertimbangan keberlanjutan sejak tahap perencanaan awal, memengaruhi orientasi bangunan, pemilihan material, sistem pencahayaan dan penghawaan, hingga pengelolaan air dan limbah bangunan tersebut.

13.2 Sistem Sertifikasi Green Building

Greenship, yang dikembangkan Green Building Council Indonesia, menjadi sistem sertifikasi bangunan hijau yang paling banyak diadopsi di Indonesia, menilai bangunan dari berbagai aspek termasuk tepat guna lahan, efisiensi energi, konservasi air, sumber dan siklus material, kualitas udara dalam ruang, serta manajemen lingkungan bangunan. Sistem sertifikasi internasional seperti LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) dari Amerika Serikat juga banyak diterapkan pada bangunan komersial skala besar di Indonesia, terutama yang dimiliki perusahaan multinasional dengan komitmen keberlanjutan global.



Gambar 13.1 Ilustrasi konsep green building dengan elemen hijau terintegrasi

Sumber: ilustrasi orisinal oleh penulis.

13.3 Material Konstruksi Berkelanjutan

Pemilihan material konstruksi berkelanjutan mempertimbangkan jejak karbon produksi material (embodied carbon), ketersediaan sumber daya lokal untuk mengurangi emisi transportasi, kemampuan material didaur ulang pada akhir masa pakainya, serta dampak kesehatan material terhadap penghuni bangunan (misalnya kandungan senyawa organik volatil pada cat dan perekat). Material seperti bambu laminasi, beton dengan campuran fly ash (memanfaatkan limbah pembangkit listrik tenaga uap), serta kayu bersertifikat dari hutan lestari menjadi alternatif yang semakin populer dibandingkan material konvensional dengan jejak karbon lebih tinggi.

Semen, sebagai salah satu material konstruksi dengan jejak karbon tertinggi akibat proses produksinya yang sangat intensif energi, menjadi fokus utama inovasi material berkelanjutan, termasuk pengembangan semen alternatif dengan kandungan klinker lebih rendah serta pemanfaatan material substitusi seperti fly ash dan slag yang mengurangi kebutuhan semen konvensional tanpa mengorbankan kekuatan struktural beton yang dihasilkan.

13.4 Analisis Siklus Hidup dalam Pemilihan Material

Analisis Siklus Hidup (Life Cycle Assessment) mengevaluasi dampak lingkungan suatu material atau produk dari tahap ekstraksi bahan baku, produksi, transportasi, penggunaan, hingga pembuangan/daur ulang pada akhir masa pakainya, memberikan gambaran yang jauh lebih komprehensif dibandingkan hanya menilai dampak pada satu tahap tertentu saja. Pendekatan ini penting bagi insinyur sipil karena material yang tampak 'ramah lingkungan' pada tahap penggunaan (misalnya menghemat energi operasional bangunan) bisa jadi memiliki jejak karbon produksi yang sangat tinggi, sehingga keputusan pemilihan material yang benar-benar berkelanjutan memerlukan pertimbangan menyeluruh sepanjang siklus hidupnya, bukan sekadar satu aspek yang tampak menonjol.

RINGKASAN BAB

Bab ini menjelaskan konsep green building, sistem sertifikasi GreenShip dan LEED, kriteria material konstruksi berkelanjutan, serta pentingnya Analisis Siklus Hidup dalam pemilihan material.

Kata Kunci: *Green Building • GreenShip • Embodied Carbon • Life Cycle Assessment*

Latihan Soal

1. Sebutkan enam aspek yang dinilai dalam sistem sertifikasi Greenship.
2. Jelaskan mengapa Analisis Siklus Hidup penting dalam pemilihan material konstruksi berkelanjutan.

Tugas Individu

Bandingkan jejak karbon dua material konstruksi alternatif (misalnya beton konvensional vs beton fly ash) berdasarkan sumber yang tersedia.

Tugas Kelompok

Diskusikan penerapan prinsip green building yang paling realistis diterapkan pada bangunan kampus Anda.

Refleksi

Refleksikan mengapa material yang tampak ramah lingkungan pada satu tahap siklus hidup belum tentu berkelanjutan secara keseluruhan.

BAB 14

ENERGI TERBARUKAN DALAM PEMBANGUNAN INFRASTRUKTUR

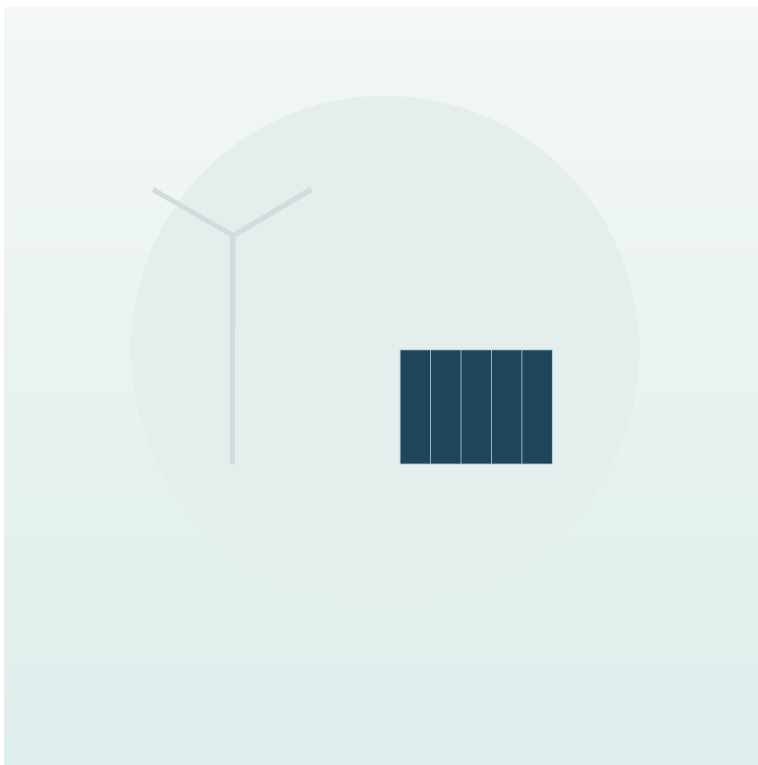
Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menjelaskan potensi dan penerapan energi terbarukan dalam perencanaan infrastruktur sipil.

14.1 Mengapa Energi Terbarukan Relevan bagi Teknik Sipil

Insinyur sipil terlibat dalam pembangunan energi terbarukan tidak hanya sebagai pengguna energi pada operasional bangunan, tetapi juga sebagai perencana infrastruktur pendukung pembangkit energi terbarukan itu sendiri, seperti fondasi turbin angin, struktur penopang panel surya skala utilitas, hingga infrastruktur sipil pendukung pembangkit listrik tenaga air skala kecil (mikrohidro) yang berpotensi besar dikembangkan di kawasan berbukit dengan aliran sungai deras di Kalimantan Tengah.

14.2 Integrasi Energi Surya pada Bangunan

Panel surya atap (rooftop solar) menjadi bentuk integrasi energi terbarukan yang paling umum diterapkan pada bangunan gedung, menuntut pertimbangan struktural mengenai beban tambahan pada atap, orientasi bangunan yang optimal untuk penyerapan radiasi matahari, serta perencanaan jalur kabel yang terintegrasi baik dengan desain arsitektural bangunan. Building-integrated photovoltaics (BIPV) melangkah lebih jauh dengan mengintegrasikan panel surya sebagai bagian dari elemen bangunan itu sendiri, misalnya sebagai fasad atau kanopi, alih-alih sekadar dipasang sebagai tambahan pada struktur yang sudah ada.



Gambar 14.1 Ilustrasi integrasi energi terbarukan pada infrastruktur

Sumber: ilustrasi orisinal oleh penulis.

14.3 Infrastruktur Sipil untuk Pembangkit Energi Terbarukan Skala Besar

Pembangunan pembangkit energi terbarukan skala besar, seperti pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) berkapasitas puluhan megawatt atau pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB), memerlukan keahlian teknik sipil yang signifikan, mencakup perencanaan fondasi yang sesuai kondisi tanah setempat, jalan akses untuk konstruksi dan pemeliharaan, sistem drainase kawasan pembangkit, hingga kajian dampak lingkungan yang mempertimbangkan perubahan tata guna lahan skala luas yang diperlukan instalasi panel surya atau turbin angin dalam jumlah besar.

14.4 Potensi Energi Terbarukan di Kalimantan Tengah

Kalimantan Tengah memiliki potensi energi terbarukan yang beragam namun belum banyak dikembangkan, termasuk potensi mikrohidro pada sungai-sungai berarus deras di kawasan hulu, potensi biomassa dari limbah perkebunan dan kehutanan yang melimpah, serta potensi energi surya mengingat posisi geografis di garis ekuator dengan penyinaran matahari yang relatif konsisten sepanjang tahun. Pengembangan potensi ini memerlukan kolaborasi lintas disiplin antara insinyur sipil, elektro, dan lingkungan, mengingat setiap jenis pembangkit energi terbarukan memiliki persyaratan infrastruktur pendukung dan kajian dampak lingkungan yang berbeda-beda.

RINGKASAN BAB

Bab ini menjelaskan relevansi energi terbarukan bagi teknik sipil, integrasi energi surya pada bangunan, infrastruktur sipil untuk pembangkit energi terbarukan skala besar, serta potensi energi terbarukan Kalimantan Tengah.

Kata Kunci: *Rooftop Solar • BIPV • Mikrohidro • Potensi Energi Terbarukan*

Latihan Soal

1. Jelaskan pertimbangan struktural yang perlu diperhatikan saat memasang panel surya atap.
2. Sebutkan tiga potensi energi terbarukan yang dapat dikembangkan di Kalimantan Tengah.

Tugas Individu

Cari spesifikasi teknis dasar sistem panel surya atap dan identifikasi pertimbangan struktural yang relevan.

Tugas Kelompok

Diskusikan potensi pengembangan mikrohidro pada salah satu sungai di Kalimantan Tengah beserta tantangan infrastrukturnya.

Refleksi

Refleksikan peran teknik sipil dalam mendukung transisi energi terbarukan di Indonesia.

BAB 15

KEBISINGAN, GETARAN, DAN PENGELOLAAN LINGKUNGAN KERJA KONSTRUKSI

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menjelaskan dampak kebisingan dan getaran konstruksi serta menerapkan prinsip pengelolaan lingkungan kerja yang sehat dan aman.

15.1 Kebisingan Konstruksi dan Dampaknya

Kebisingan dari aktivitas konstruksi, seperti pemancangan tiang, penggunaan alat berat, dan pemotongan material, dapat melampaui baku tingkat kebisingan yang ditetapkan untuk kawasan permukiman, menimbulkan gangguan kenyamanan hingga dampak kesehatan bagi pekerja dan masyarakat sekitar apabila terpapar dalam intensitas dan durasi tinggi. Baku tingkat kebisingan lingkungan di Indonesia diatur berdasarkan peruntukan kawasan, dengan kawasan permukiman umumnya memiliki ambang batas yang lebih ketat dibandingkan kawasan industri atau perdagangan.

15.2 Getaran Konstruksi dan Risikonya terhadap Bangunan Sekitar

Getaran yang dihasilkan aktivitas seperti pemancangan tiang pancang atau peledakan pada pekerjaan tanah dapat merambat melalui tanah dan berpotensi menimbulkan kerusakan pada bangunan di sekitarnya, terutama bangunan lama dengan struktur yang lebih rentan. Pemantauan getaran menggunakan seismograf portabel menjadi praktik standar pada proyek konstruksi yang berdekatan dengan bangunan eksisting sensitif, seperti bangunan cagar budaya atau fasilitas kesehatan, untuk memastikan tingkat getaran yang ditimbulkan tetap berada dalam ambang batas aman yang telah ditetapkan berdasarkan kondisi struktural bangunan terdekat.

15.3 Pengelolaan Kesehatan dan Keselamatan Kerja Terkait Lingkungan

Pengelolaan lingkungan kerja konstruksi yang baik tidak dapat dipisahkan dari aspek Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3), mencakup penyediaan alat pelindung diri yang sesuai untuk melindungi pekerja dari paparan debu, kebisingan, dan bahan kimia konstruksi; pengaturan waktu kerja yang mempertimbangkan paparan suhu ekstrem terutama pada pekerjaan luar ruangan siang hari; serta penyediaan fasilitas sanitasi dan air bersih yang memadai bagi pekerja di lokasi proyek, sebuah aspek yang meski tampak sederhana, sering menjadi sumber persoalan kesehatan lingkungan kerja yang signifikan pada proyek-proyek konstruksi skala besar.

CATATAN: Keterkaitan K3 dan Pengelolaan Lingkungan

Banyak proyek konstruksi memisahkan pengelolaan K3 dan pengelolaan lingkungan sebagai dua fungsi yang berbeda, padahal keduanya sangat terkait: paparan debu yang buruk bagi lingkungan sekitar proyek juga berdampak langsung terhadap kesehatan pekerja yang terpapar dalam intensitas dan durasi jauh lebih tinggi setiap harinya.

15.4 Rencana Pengelolaan Lingkungan Kerja dalam Dokumen Proyek

Proyek konstruksi yang baik menyusun rencana pengelolaan lingkungan kerja sebagai bagian dari dokumen RKL-RPL atau dokumen K3 proyek, mencakup jadwal pemantauan kebisingan dan getaran berkala, prosedur tanggap darurat apabila ditemukan pelanggaran ambang batas, serta mekanisme pengaduan masyarakat yang memungkinkan warga sekitar proyek melaporkan gangguan yang mereka rasakan untuk segera ditindaklanjuti tim manajemen proyek.

RINGKASAN BAB

Bab ini menjelaskan dampak kebisingan dan getaran konstruksi, keterkaitan pengelolaan K3 dan lingkungan, serta pentingnya rencana pengelolaan lingkungan kerja dalam dokumen proyek.

Kata Kunci: *Kebisingan Konstruksi • Getaran • K3 Lingkungan*

Latihan Soal

1. Jelaskan mengapa pemantauan getaran penting pada proyek yang berdekatan dengan bangunan cagar budaya.
2. Sebutkan keterkaitan antara pengelolaan K3 dan pengelolaan lingkungan konstruksi.

Tugas Individu

Ukur tingkat kebisingan sederhana menggunakan aplikasi telepon pintar di dua lokasi berbeda dan bandingkan dengan baku mutu.

Tugas Kelompok

Diskusikan dan susun mekanisme pengaduan masyarakat sederhana untuk proyek konstruksi hipotetis.

Refleksi

Refleksikan mengapa aspek kebisingan dan getaran sering dianggap 'kecil' padahal berdampak signifikan bagi masyarakat sekitar proyek.

BAB 16

STUDI KASUS LINGKUNGAN DAN INFRASTRUKTUR DI KALIMANTAN TENGAH

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menganalisis interaksi antara pembangunan infrastruktur dan persoalan lingkungan pada berbagai studi kasus nyata di Kalimantan Tengah.

16.1 Pembangunan Infrastruktur Jalan pada Lahan Gambut

Pembangunan jalan pada lahan gambut di Kalimantan Tengah menghadapi tantangan geoteknik yang unik, mengingat daya dukung gambut yang sangat rendah dan sifatnya yang mudah mengalami penurunan (settlement) jangka panjang, menuntut teknik perbaikan tanah khusus seperti penggunaan geotekstil, kolom pasir vertikal untuk mempercepat konsolidasi, atau timbunan ringan (misalnya menggunakan material EPS/styrofoam) untuk mengurangi beban di atas gambut yang rentan. Kegagalan mempertimbangkan karakteristik khusus gambut dalam desain sering menyebabkan kerusakan jalan yang cepat dan berulang, memerlukan biaya pemeliharaan yang jauh lebih tinggi dibandingkan proyeksi awal.

16.2 Drainase Perkotaan Palangka Raya dan Tantangan Lahan Rawa

Sistem drainase Kota Palangka Raya menghadapi tantangan unik akibat topografi yang relatif datar dan berada pada kawasan bekas rawa gambut, menyebabkan kemiringan saluran drainase alami sangat landai dan mengandalkan pasang surut sungai Kahayan untuk sebagian mekanisme pembuangan airnya. Perencanaan infrastruktur drainase kota pada kondisi semacam ini perlu mengintegrasikan pertimbangan fluktuasi muka air sungai

musiman, berbeda dari kota-kota di dataran tinggi yang dapat mengandalkan gravitasi murni sepanjang tahun.

16.3 Infrastruktur Transportasi Sungai sebagai Alternatif Jalan Darat

Keterbatasan infrastruktur jalan darat di sejumlah kawasan Kalimantan Tengah menjadikan transportasi sungai sebagai moda alternatif penting, menuntut perencanaan infrastruktur pendukung seperti dermaga, tambatan perahu, dan alur pelayaran yang mempertimbangkan fluktuasi debit dan kedalaman sungai musiman. Perencanaan infrastruktur sungai semacam ini memerlukan pemahaman mendalam terhadap hidrologi dan morfologi sungai, termasuk pola sedimentasi dan erosi tepian yang dapat mengubah alur sungai dari waktu ke waktu.

16.4 Pembelajaran Metodologis: Integrasi Ilmu Lingkungan dan Rekayasa Sipil

Ketiga studi kasus di atas menegaskan bahwa praktik teknik sipil di Kalimantan Tengah tidak dapat mengandalkan standar desain generik yang dikembangkan untuk kondisi lingkungan berbeda (misalnya standar yang dikembangkan untuk tanah mineral dataran tinggi Jawa), melainkan menuntut adaptasi teknis yang mempertimbangkan karakteristik lingkungan lokal secara cermat: lahan gambut dengan daya dukung rendah, topografi datar dengan drainase yang bergantung pasang surut, serta ketergantungan pada transportasi sungai sebagai infrastruktur utama di banyak kawasan.

Mahasiswa Teknik Sipil yang akan berkarier di Kalimantan Tengah atau wilayah dengan karakteristik lingkungan serupa perlu membangun kepekaan terhadap konteks lokal ini sejak masa perkuliahan, tidak semata mengandalkan

standar dan pedoman teknis yang dikembangkan berdasarkan kondisi lingkungan yang berbeda.

STUDI KASUS: Adaptasi Desain Jalan pada Lahan Gambut

Sejumlah ruas jalan nasional dan provinsi di Kalimantan Tengah yang dibangun tanpa kajian geoteknik gambut memadai mengalami kerusakan berulang berupa penurunan dan retak badan jalan dalam waktu singkat pascakonstruksi, jauh lebih cepat dibandingkan umur pakai jalan yang direncanakan. Pembelajaran dari kasus semacam ini mendorong penerapan pedoman teknis khusus konstruksi jalan di atas tanah lunak/gambut yang kini menjadi rujukan wajib perencanaan infrastruktur jalan di wilayah tersebut.

RINGKASAN BAB

Bab ini menyajikan tiga studi kasus infrastruktur Kalimantan Tengah: jalan pada lahan gambut, drainase perkotaan Palangka Raya, dan transportasi sungai, disertai pembelajaran metodologis integrasi ilmu lingkungan dan rekayasa sipil.

Kata Kunci: *Jalan di Atas Gambut • Drainase Palangka Raya • Transportasi Sungai*

Latihan Soal

1. Jelaskan teknik perbaikan tanah yang umum diterapkan untuk konstruksi jalan di atas lahan gambut.
2. Mengapa drainase Kota Palangka Raya perlu mempertimbangkan fluktuasi pasang surut sungai Kahayan?

Tugas Individu

Pilih satu studi kasus pada bab ini dan usulkan satu perbaikan teknis pada pendekatan yang telah diterapkan.

Tugas Kelompok

Diskusikan bagaimana standar desain infrastruktur perlu diadaptasi untuk kondisi lingkungan khas Kalimantan Tengah.

Refleksi

Refleksikan kesiapan Anda menghadapi tantangan teknis unik infrastruktur di wilayah lahan basah seperti Kalimantan Tengah.

BAB 17

PRAKTIKUM ILMU LINGKUNGAN UNTUK TEKNIK SIPIL

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu melaksanakan rangkaian praktikum yang mengintegrasikan prinsip ilmu lingkungan dengan analisis teknis infrastruktur sipil.

17.1 Tujuan Praktikum Terintegrasi

Praktikum penutup ini mengintegrasikan seluruh materi yang dipelajari sepanjang mata kuliah ke dalam serangkaian kegiatan lapangan dan analisis sederhana, memberikan pengalaman langsung mahasiswa Teknik Sipil dalam menerapkan prinsip ilmu lingkungan pada konteks proyek infrastruktur nyata di sekitar kampus atau kawasan yang ditentukan dosen pengampu.

17.2 Praktikum 1: Pengukuran Kualitas Lingkungan Sekitar Proyek Konstruksi

Mahasiswa melakukan pengukuran sederhana kualitas udara (menggunakan sensor debu portabel), tingkat kebisingan (menggunakan aplikasi sound level meter pada telepon pintar yang telah dikalibrasi), serta kualitas air sederhana (pH, kekeruhan) di sekitar lokasi proyek konstruksi aktif yang telah disepakati, membandingkan hasil pengukuran dengan baku mutu yang berlaku, serta menganalisis kemungkinan sumber dan dampaknya terhadap masyarakat sekitar.

17.3 Praktikum 2: Analisis Koefisien Limpasan Kawasan

Menggunakan peta atau citra satelit suatu kawasan (dapat kawasan kampus atau kawasan sekitar), mahasiswa menghitung estimasi koefisien limpasan berdasarkan proporsi luas permukaan kedap air (atap, perkerasan) dibandingkan luas permukaan pervious (tanah, vegetasi), kemudian mendiskusikan

implikasinya terhadap kebutuhan kapasitas drainase kawasan tersebut dibandingkan kondisi sebelum terbangun.

17.4 Praktikum 3: Evaluasi Infrastruktur Hijau di Lingkungan Kampus/Kota

Mahasiswa mengidentifikasi dan mengevaluasi elemen infrastruktur hijau yang telah ada di lingkungan kampus atau kota (ruang terbuka hijau, sumur resapan, biopori, kolam retensi apabila ada), menilai kecukupan dan efektivitasnya berdasarkan prinsip yang telah dipelajari pada Bab 6 dan 10, serta menyusun rekomendasi perbaikan atau penambahan infrastruktur hijau yang realistis untuk diterapkan.

17.5 Praktikum 4: Menyusun Rencana Pengelolaan Lingkungan Sederhana

Sebagai penutup, mahasiswa menyusun rencana pengelolaan lingkungan sederhana (mini RKL-RPL) untuk satu ide proyek infrastruktur hipotetis, mengintegrasikan seluruh materi yang telah dipelajari: identifikasi dampak lingkungan potensial, upaya pengelolaan yang diusulkan untuk setiap dampak, serta rencana pemantauan yang akan dilakukan selama tahap konstruksi dan operasi proyek tersebut.

17.6 Format Laporan Praktikum

Laporan praktikum disusun dengan sistematika: (1) Pendahuluan dan tujuan; (2) Deskripsi lokasi dan metode pengukuran/analisis; (3) Hasil pengukuran dan analisis data; (4) Pembahasan yang menghubungkan hasil dengan teori yang telah dipelajari; (5) Rencana pengelolaan lingkungan sederhana; (6) Kesimpulan; serta (7) Dokumentasi kegiatan lapangan. Laporan dipresentasikan singkat di hadapan kelas sebagai bagian dari evaluasi akhir mata

kuliah, dengan penekanan pada kemampuan mahasiswa menghubungkan prinsip ilmu lingkungan dengan pertimbangan teknis rekayasa sipil secara terintegrasi.

RINGKASAN BAB

Bab penutup ini memandu pelaksanaan praktikum terintegrasi mulai dari pengukuran kualitas lingkungan proyek, analisis koefisien limpasan, evaluasi infrastruktur hijau, hingga penyusunan rencana pengelolaan lingkungan sederhana.

Kata Kunci: *Praktikum Terintegrasi • Koefisien Limpasan • Mini RKL-RPL*

Latihan Soal

1. Jelaskan tujuan dilakukannya pengukuran kualitas lingkungan di sekitar proyek konstruksi aktif.
2. Sebutkan komponen utama rencana pengelolaan lingkungan sederhana (mini RKL-RPL).

Tugas Individu

Susun rencana kerja pribadi untuk pelaksanaan salah satu praktikum pada bab ini.

Tugas Kelompok

Laksanakan seluruh rangkaian praktikum 17.2-17.5 secara berkelompok dan susun laporan akhir sesuai format yang ditetapkan.

Refleksi

Refleksikan keseluruhan perjalanan belajar Anda sepanjang mata kuliah ini dan bagaimana perspektif Anda terhadap praktik teknik sipil telah berubah.

LAMPIRAN: RUBRIK PENILAIAN TUGAS DAN PRAKTIKUM

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

Aspek Penilaian	Bobot	Kriteria Nilai Baik (80-100)
Ketepatan Konsep Lingkungan	30%	Konsep lingkungan tepat dan dikaitkan dengan konteks sipil
Integrasi dengan Praktik Sipil	30%	Mampu menghubungkan prinsip lingkungan dengan solusi teknis
Kedalaman Analisis Studi Kasus	25%	Analisis kritis, kontekstual dengan kondisi lokal
Sistematika & Bahasa Laporan	15%	Terstruktur, bahasa ilmiah, sesuai format laporan

GLOSARIUM

Daya Dukung Lingkungan

Kemampuan maksimum suatu lingkungan menopang aktivitas tertentu tanpa mengalami kerusakan permanen.

Koefisien Limpasan

Perbandingan volume air hujan yang menjadi limpasan permukaan terhadap total volume hujan yang jatuh.

Infrastruktur Hijau

Pendekatan perencanaan yang mengintegrasikan elemen alami ke dalam sistem infrastruktur perkotaan.

Ekodrainase

Konsep drainase yang menekankan peresapan air hujan sedekat mungkin dengan titik jatuhnya.

Kolam Retensi

Kolam penampung air hujan permanen yang berfungsi mengendalikan banjir sekaligus elemen lansekap.

Kolam Detensi

Kolam penampung air hujan sementara yang mengosongkan diri bertahap setelah hujan reda.

Green Building

Bangunan yang dirancang dan dioperasikan dengan memperhatikan efisiensi sumber daya dan minimalisasi dampak lingkungan.

Embodied Carbon

Jejak karbon yang terkandung dalam proses produksi suatu material konstruksi.

Life Cycle Assessment

Metode evaluasi dampak lingkungan suatu material dari ekstraksi hingga pembuangan/daur ulang.

Infrastruktur Berketahanan Iklim

Infrastruktur yang dirancang tetap berfungsi optimal menghadapi tekanan iklim ekstrem.

DAS

Daerah Aliran Sungai, satu kesatuan wilayah tata air yang mengalir menuju satu titik keluaran.

Limbah Konstruksi dan Demolisi

Sisa material yang dihasilkan selama proses pembangunan maupun pembongkaran bangunan.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2022). SNI Tata Cara Perencanaan Sistem Drainase Perkotaan. Jakarta: BSN.
- Chapin, F.S., Kofinas, G.P., & Folke, C. (2009). Principles of Ecosystem Stewardship: Resilience-Based Natural Resource Management in a Changing World. Springer.
- Green Building Council Indonesia. (2021). Panduan Sistem Rating Greenship untuk Bangunan Baru. Jakarta: GBCI.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge University Press.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia (KLHK). (2022). Statistik Lingkungan Hidup dan Kehutanan Indonesia. Jakarta: KLHK.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia. (2021). Pedoman Teknis Konstruksi Jalan di Atas Tanah Lunak dan Gambut. Jakarta: Kementerian PUPR.
- Miller, G.T., & Spoolman, S.E. (2021). Environmental Science (17th ed.). Cengage Learning.
- Novotny, V. (2003). Water Quality: Diffuse Pollution and Watershed Management (2nd ed.). Wiley.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 5 Tahun 2008 tentang Pedoman Penyediaan dan Pemanfaatan Ruang Terbuka Hijau di Kawasan Perkotaan.
- United States Green Building Council (USGBC). (2020). LEED v4 Reference Guide for Building Design and Construction. Washington DC: USGBC.
- Vesilind, P.A., Worrell, W.A., & Reinhart, D.R. (2002). Solid Waste Engineering. Brooks/Cole.
- World Bank. (2021). Climate-Resilient Infrastructure: Policy Considerations and Good Practices. 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.)

AMDAL Infrastruktur,	22
DAS Kahayan,	42
Drainase Berwawasan Lingkungan,	34
Ekodrainase,	34
Energi Terbarukan,	48
Green Building,	45
Infrastruktur Hijau,	20
Kolam Retensi,	35
Konstruksi di Atas Gambut,	57
Life Cycle Assessment,	47
Non-Stasioneritas Iklim,	44
Pencemaran Udara Konstruksi,	10

PROFIL 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.