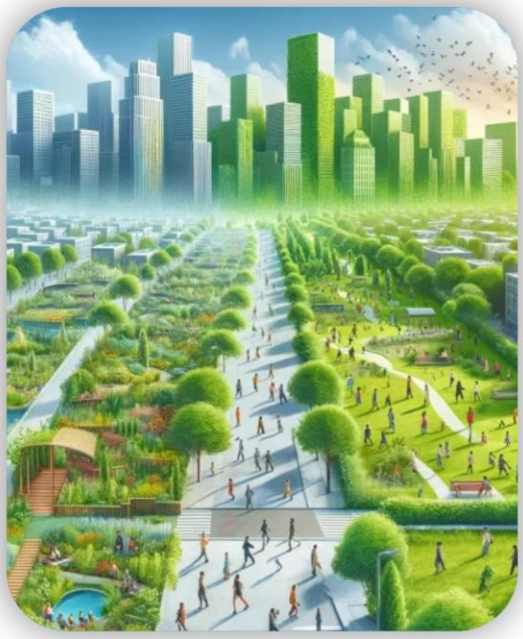
Buku Ajar

TEKNOLOGI PENGELOLAAN LIMBAH DAN AMDAL

Konsep, Teknologi, Analisis Dampak, dan Praktik Pertanian Berkelanjutan







Assoc. Prof. Dr. Lita Nasution, S.P., M.Si.

Editor: Althaf Danish

BUKU AJAR
TEKNOLOGI PENGELOLAAN LIMBAH DAN AMDAL
Konsep, Teknologi, Analisis Dampak, dan Praktik Pertanian Berkelanjutan

Assoc. Prof. Dr. Lita Nasution, S.P., M.Si.

Tahta Media Group

UU No 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Pelindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

i. penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
ii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
iii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
iv. penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit.

BUKU AJAR
TEKNOLOGI PENGELOLAAN LIMBAH DAN AMDAL
Konsep, Teknologi, Analisis Dampak, dan Praktik Pertanian Berkelanjutan

Penulis:
Assoc. Prof. Dr. Lita Nasution, S.P., M.Si.

Desain Cover:
Tahta Media

Editor:
Althaf Danish

Proofreader:
Tahta Media

Ukuran:
xiii, 145, uk: 15,5 x 23 cm

QRCBN: 62-415-3112-690

Cetakan Pertama:
Oktober 2026

Hak Cipta 2026, Pada Penulis

Isi diluar tanggung jawab percetakan

Copyright © 2026 by Tahta Media Group
All Right Reserved

PENERBIT TAHTA MEDIA GROUP
Perumahan Mitra Utama Residence 3 Blok A no 1, Sawahan, Tempel, Kec. Gatak, Kabupaten Sukoharjo, Jawa Tengah 57557
email: tahtaliterasimedia@gmail.com
website: http://store.tahtamedia.co.id/
Anggota IKAPI (216/JTE/2021)

KATA PENGANTAR

Buku ajar ini disusun untuk mendukung pembelajaran perguruan tinggi pada bidang agroteknologi, pengelolaan limbah, dan analisis dampak lingkungan. Materi menghubungkan pengelolaan sumber daya, teknologi pengolahan, keselamatan, pemantauan, serta pengambilan keputusan berbasis data. Buku dapat digunakan sebagai bahan pengantar kuliah, rujukan diskusi, maupun dasar proyek pengelolaan limbah pertanian.

Penerapan materi terkait AMDAL, UKL-UPL, SPPL, persetujuan lingkungan, limbah B3, dan baku mutu harus selalu merujuk peraturan resmi terbaru serta arahan instansi berwenang. Naskah ini tidak menggantikan dokumen persetujuan lingkungan, konsultasi profesional, atau persyaratan teknis pada lokasi tertentu.

PRAKATA

Buku ajar ini disusun untuk membantu mahasiswa memahami pengelolaan limbah pertanian sebagai bagian dari sistem agroteknologi yang bertanggung jawab. Limbah tidak dipandang semata-mata sebagai sisa yang harus dibuang, melainkan sebagai aliran bahan, energi, dan informasi yang perlu dikenali, dikendalikan, dimanfaatkan, dan dipantau.

Isi buku diselaraskan dengan RPS mata kuliah Teknologi Pengelolaan Limbah dan AMDAL, kode MAGT631123, bobot 3 SKS. Materi bergerak dari pemahaman sistem pertanian dan pencemaran menuju inventarisasi limbah, karakterisasi, pemilihan teknologi, pengomposan, pengolahan limbah cair, digesti anaerob, AMDAL, UKL-UPL, pemantauan, dan proyek terpadu. Regulasi dapat berubah sehingga pembaca wajib memeriksa sumber resmi terbaru.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR ..... **iv**
PRAKATA ..... **v**
DAFTAR ISI ..... **vi**
BAB 1 PERTANIAN, SUMBER DAYA, DAN LINGKUNGAN **1**
A. Deskripsi Bab 1
B. Capaian Pembelajaran Bab 1
C. Kata Kunci 2
D. Peta Konsep 2
E. Pendahuluan 2
F. Materi Pokok 2
G. Contoh Aplikatif 4
H. Studi Kasus: Sekam Dibakar atau Dimanfaatkan? 5
I. Aktivitas Pembelajaran 5
J. Tugas Mahasiswa 6
K. Rangkuman 6
L. Refleksi 6
M. Latihan 6
N. Pengayaan Dan Catatan Kritis 7
O. Lembar Kerja Pengayaan 9
P. Evaluasi Dan Lembar Refleksi 10
BAB 2 LIMBAH PERTANIAN: SUMBER, JENIS, DAN KARAKTERISTIK **14**
A. Deskripsi Bab 14
B. Capaian Pembelajaran Bab 14
C. Kata Kunci 14
D. Peta Konsep 15

E. Pendahuluan 15
F. Materi Pokok 15
G. Contoh Aplikatif 17
H. Studi Kasus: Limbah Campuran Rumah Pengolahan Hasil .. 17
I. Aktivitas Pembelajaran 18
J. Rangkuman 18
K. Refleksi 18
L. Latihan 18
M. Pengayaan Dan Catatan Kritis 19
M. Lembar Kerja Pengayaan 20
N. Evaluasi Dan Lembar Refleksi 21
BAB 3 KARAKTERISASI, NERACA MASSA, DAN PENILAIAN RISIKO 25
A. Deskripsi Bab 25
B. Capaian Pembelajaran B9pab 25
C. Kata Kunci 25
D. Peta Konsep 26
E. Pendahuluan 26
F. Materi Pokok 26
G. Contoh Aplikatif 27
H. Studi Kasus: Neraca yang Tidak Seimbang 28
I. Aktivitas Pembelajaran 28
J. Rangkuman 29
K. Refleksi 29
L. Latihan 29
M. Pengayaan Dan Catatan Kritis 30
N. Lembar Kerja Pengayaan 31
O. Evaluasi Dan Lembar Refleksi 32

BAB 4 PRINSIP PEMILIHAN TEKNOLOGI PENGELOLAAN LIMBAH 35
A. Deskripsi Bab 35
B. Capaian Pembelajaran Bab 36
C. Kata Kunci 36
D. Peta Konsep 36
E. Pendahuluan 36
F. Materi Pokok 37
G. Contoh Aplikatif 38
H. Studi Kasus: Memilih Teknologi untuk Kelompok Tani 38
I. Aktivitas Pembelajaran 39
J. Rangkuman 39
K. Refleksi 40
L. Latihan 40
M. Pengayaan Dan Catatan Kritis 40
N. Lembar Kerja Pengayaan 41
O. Evaluasi Dan Lembar Refleksi 42
BAB 5 PENGOMPOSAN DAN MIKROORGANISME LOKAL 45
A. Deskripsi Bab 46
B. Capaian Pembelajaran Bab 46
C. Kata Kunci 46
D. Peta Konsep 46
E. Materi Pokok 46
F. Contoh Aplikatif 48
G. Studi Kasus: Kompos Berbau Asam 48
H. Aktivitas Pembelajaran 49
I. Rangkuman 49
J. Refleksi 49
K. Latihan 49
L. Pengayaan Dan Catatan Kritis 50

M. Lembar Kerja Pengayaan 51
N. Evaluasi Dan Lembar Refleksi 52
BAB 6 VERMIKOMPOSTING, BIOCHAR, DAN PEMULIHAN HARA 55
A. Deskripsi Bab 55
B. Capaian Pembelajaran Bab 55
C. Kata Kunci 55
D. Peta Konsep 56
E. Materi Pokok 56
F. Contoh Aplikatif 57
G. Studi Kasus: Biochar dengan pH Tinggi 57
H. Aktivitas Pembelajaran 58
I. Rangkuman 58
J. Refleksi 58
K. Latihan 59
L. Pengayaan Dan Catatan Kritis 59
M. Lembar Kerja Pengayaan 60
N. Evaluasi Dan Lembar Refleksi 61
BAB 7 PENGELOLAAN LIMBAH CAIR: ACTIVATED SLUDGE DAN FILTRASI 64
A. Deskripsi Bab 64
B. Capaian Pembelajaran Bab 64
C. Kata Kunci 65
D. Peta Konsep 65
E. Materi Pokok 65
F. Contoh Aplikatif 66
G. Studi Kasus: Effluent Jernih tetapi COD Tinggi 66
H. Aktivitas Pembelajaran 67
I. Rangkuman 67
J. Refleksi 68

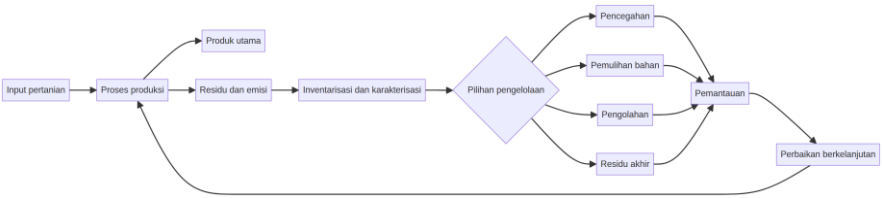
K. Latihan 68
L. Pengayaan Dan Catatan Kritis 68
M. Lembar Kerja Pengayaan 69
N. Evaluasi Dan Lembar Refleksi 70
BAB 8 KOLAM STABILISASI, LANDFILL, DAN PENGENDALIAN EMISI 73
A. Deskripsi Bab 73
B. Capaian Pembelajaran Bab 73
C. Kata Kunci 73
D. Peta Konsep 74
E. Materi Pokok 74
F. Contoh Aplikatif 75
G. Studi Kasus: Lindi Masuk Saluran Irigasi 75
H. Aktivitas Pembelajaran 76
I. Rangkuman 76
J. Refleksi 76
K. Latihan 76
L. Pengayaan Dan Catatan Kritis 77
M. Lembar Kerja Pengayaan 78
N. Evaluasi Dan Lembar Refleksi 79
BAB 9 DIGESTI ANAEROB DAN BIOGAS 81
A. Deskripsi Bab 81
B. Capaian Pembelajaran Bab 81
C. Kata Kunci 81
D. Peta Konsep 82
E. Materi Pokok 82
F. Contoh Aplikatif 83
G. Studi Kasus: Tekanan Gas Turun 83
H. Aktivitas Pembelajaran 84
I. Rangkuman 84

J. Refleksi 85
K. Latihan 85
L. Pengayaan Dan Catatan Kritis 85
M. Lembar Kerja Pengayaan 86
N. Evaluasi Dan Lembar Refleksi 87
BAB 10 AMDAL, UKL-UPL, SPPL, DAN PERSETUJUAN LINGKUNGAN 91
A. Deskripsi Bab 92
B. Capaian Pembelajaran Bab 92
C. Kata Kunci 92
D. Peta Konsep 92
E. Materi Pokok 92
F. Contoh Aplikatif 94
G. Studi Kasus: Unit Pengolahan Dekat Sungai 94
H. Aktivitas Pembelajaran 95
I. Rangkuman 95
J. Refleksi 95
K. Latihan 95
L. Pengayaan Dan Catatan Kritis 96
M. Lembar Kerja Pengayaan 97
N. Evaluasi Dan Lembar Refleksi 98
BAB 11 IDENTIFIKASI DAMPAK, UKL–UPL, DAN PEMANTAUAN 101
A. Deskripsi Bab 101
B. Capaian Pembelajaran Bab 101
C. Kata Kunci 101
D. Peta Konsep 102
E. Materi Pokok 102
F. Contoh Aplikatif 103
G. Studi Kasus: Keluhan Bau Berulang 103

H. Aktivitas Pembelajaran 104
I. Rangkuman 104
J. Refleksi 105
K. Latihan 105
L. Pengayaan Dan Catatan Kritis 105
M. Lembar Kerja Pengayaan 106
N. Evaluasi Dan Lembar Refleksi 107
BAB 12 EKONOMI SIRKULAR, KEBIJAKAN, DAN PROYEK TERPADU 110
A. Deskripsi Bab 110
B. Capaian Pembelajaran Bab 110
C. Kata Kunci 111
D. Peta Konsep 111
E. Materi Pokok 111
F. Contoh Aplikatif 112
G. Studi Kasus: Rancangan Sistem Desa 113
H. Aktivitas Pembelajaran 113
I. Perkembangan Terkini 114
J. Rangkuman 114
K. Refleksi 114
L. Latihan 115
M. Pengayaan Dan Catatan Kritis 115
N. Lembar Kerja Pengayaan 116
O. Evaluasi Dan Lembar Refleksi 117
PANDUAN IMPLEMENTASI PEMBELAJARAN 120
A. Peta Konsep Global Buku 120
B. Daftar Tabel Sementara 120
C. Daftar Gambar/Diagram Sementara 121
D. Daftar Singkatan 121

PROYEK SEMESTER **123**
A. Sistem Pengelolaan Limbah Pertanian Terpadu Berbasis Sumber Daya Lokal 123
BANK EVALUASI DAN RUBRIK UMUM **126**
A. Kunci Benar/Salah Bab 1–12 126
B. Kisi-Kisi Soal Pilihan Ganda 126
C. Rubrik Uraian dan HOTS 127
D. Format Penilaian Presentasi 127
DAFTAR PUSTAKA **128**
GLOSARIUM **136**
PROFIL PENULIS **144**

BAB 1
PERTANIAN, SUMBER DAYA, DAN LINGKUNGAN



Gambar 1.1. Sistem pertanian sebagai sistem terbuka dan alur pengelolaan residu. Sumber: diolah penulis.

A. DESKRIPSI BAB

Bab ini membangun cara pandang sistemik. Mahasiswa mempelajari bahwa kegiatan pertanian menggunakan air, tanah, energi, bahan organik, pupuk, pestisida, mesin, dan informasi. Setiap input menghasilkan produk utama serta aliran samping yang dapat menjadi limbah, emisi, atau sumber daya baru.

B. CAPAIAN PEMBELAJARAN BAB

Mahasiswa mampu menjelaskan hubungan sistem pertanian dengan sumber daya dan kualitas lingkungan; membedakan tekanan,

terbuka karena menerima energi dan bahan dari luar, lalu melepaskan produk, panas, gas, air buangan, dan residu. Analisis sistem membantu menjawab pertanyaan: dari mana bahan berasal, ke mana bahan bergerak, siapa yang mengendalikan aliran, dan pada titik mana kehilangan dapat dicegah?

Pendekatan sistem penting karena satu solusi dapat memindahkan masalah. Membakar jerami mengurangi volume bahan secara cepat, tetapi menghasilkan asap dan kehilangan bahan organik. Membuang air limbah ke saluran menghilangkan masalah dari unit usaha, tetapi memindahkan beban ke badan air. Sebaliknya, pengomposan dapat mengembalikan sebagian bahan organik ke tanah, tetapi memerlukan pemilahan, ruang, waktu, aerasi, pengendalian kadar air, dan pemeriksaan mutu.

2. Sumber daya, daya dukung, dan batas lingkungan

Sumber daya adalah komponen yang digunakan untuk mencapai tujuan produksi. Daya dukung menunjukkan kemampuan lingkungan menyediakan fungsi tanpa kehilangan kemampuan regenerasi. Dalam pertanian, daya dukung berkaitan dengan ketersediaan air, kapasitas tanah menerima beban hara, kemampuan badan air mengasimilasi bahan organik, serta kapasitas udara menerima emisi tanpa menimbulkan dampak yang tidak dapat diterima.

Daya dukung bukan angka tunggal yang berlaku di semua tempat. Tanah bertekstur berbeda memiliki infiltrasi dan kapasitas menahan air yang berbeda. Saluran dengan debit besar dapat mengencerkan beban pencemar lebih besar dibandingkan parit kecil, tetapi pengenceran bukan penghilangan pencemar. Karena itu, keputusan pengelolaan harus didasarkan pada kondisi lokasi dan data pemantauan.

3. **Tekanan, dampak, dan risiko**

   Tekanan adalah aktivitas atau faktor yang mengubah kondisi lingkungan, misalnya pembuangan limbah cair, pembakaran residu, atau penggunaan pupuk berlebih. Dampak adalah perubahan yang terjadi, misalnya peningkatan beban organik, bau, eutrofikasi, atau penurunan kualitas tanah. Risiko menggabungkan kemungkinan kejadian dan besarnya konsekuensi. Risiko tinggi dapat muncul dari kejadian yang jarang tetapi berdampak besar, atau kejadian yang sering dengan dampak sedang.

4. **Perkembangan terkini: pertanian regeneratif dan bioekonomi**

   Bioekonomi memandang sumber daya biologis sebagai dasar produksi, pemanfaatan, konservasi, dan regenerasi. Dalam pertanian, residu tanaman dapat menjadi kompos, pakan, bahan baku biochar, substrat biogas, atau bahan serat. Namun, pemanfaatan harus mempertimbangkan keamanan, kontaminan, kebutuhan energi, biaya, dan pasar. Tidak semua residu cocok untuk semua produk.

G. CONTOH APLIKATIF

Sebuah unit penggilingan padi menerima gabah dan menghasilkan beras, sekam, dedak, air pencucian, debu, serta kemasan. Peta aliran sederhana harus membedakan produk yang sengaja dijual, residu yang dapat dimanfaatkan, dan buangan yang memerlukan pengolahan. Mahasiswa dapat menandai titik timbulan, volume perkiraan, kualitas, penerima dampak, dan peluang pencegahan.

H. STUDI KASUS: SEKAM DIBAKAR ATAU DIMANFAATKAN?

1. Latar belakang: Unit penggilingan membakar sekam di halaman karena ruang penyimpanan terbatas.
2. Data/kondisi: Data kuantitatif belum tersedia dan memerlukan pengukuran selama minimal tujuh hari.
3. Permasalahan: Asap mengganggu pekerja dan rumah di sekitar, sementara petani membutuhkan bahan pembenah tanah.
4. Analisis: Mahasiswa membandingkan penyimpanan, penjualan, briket, gasifikasi, kompos campuran, dan biochar. Analisis harus memuat kebutuhan energi, emisi, keselamatan, biaya, dan jalur pemanfaatan.
5. Pertanyaan: Apa input dan output sistem? Di mana titik pencegahan? Data apa yang wajib dikumpulkan? Siapa pemangku kepentingan? Bagaimana kriteria keputusan ditetapkan?
6. Tugas mahasiswa: Buat peta aliran bahan satu halaman dan matriks alternatif tiga teknologi.
7. Output: Diagram alir, asumsi yang ditandai, dan rekomendasi awal.
8. Kriteria penilaian: kelengkapan aliran 30%, ketepatan identifikasi risiko 25%, kualitas alternatif 25%, transparansi asumsi 20%.

I. AKTIVITAS PEMBELAJARAN

Aktivitas 1—observasi: Kelompok mengamati satu unit usaha tani atau pengolahan hasil dan mencatat minimal sepuluh input serta lima keluaran.

Aktivitas 2—diskusi: Kelompok membandingkan kasus pembakaran, pembuangan, dan pemanfaatan residu. Setiap kelompok wajib menyebutkan risiko pemindahan masalah.

J. TUGAS MAHASISWA

Susun laporan audit awal dua halaman berisi profil kegiatan, peta aliran, titik timbulan, pihak yang mungkin terdampak, serta tiga data yang masih belum tersedia.

K. RANGKUMAN

Pertanian adalah sistem terbuka yang mengubah bahan dan energi menjadi produk serta residu. Limbah harus dianalisis berdasarkan sumber, karakter, jalur perpindahan, dampak, dan peluang pencegahan. Pendekatan sistem mencegah solusi yang hanya memindahkan beban dari satu media ke media lain.

L. REFLEKSI

Bagian mana dari kegiatan pertanian di sekitar Anda yang paling sering dianggap bukan limbah, padahal berpotensi menimbulkan dampak? Data apa yang membuat penilaian Anda lebih kuat?

M. LATIHAN

1. Jelaskan perbedaan tekanan, dampak, dan risiko.
2. Berikan tiga contoh input dan tiga contoh keluaran pada usaha tani padi.

3. Mengapa pengenceran tidak sama dengan penghilangan pencemar?
4. Apa fungsi peta aliran bahan?
5. Sebutkan dua risiko pemanfaatan residu yang tidak memenuhi persyaratan mutu.
6. Benar/Salah: (a) Agroekosistem adalah sistem tertutup. (b) Satu teknologi dapat memindahkan masalah ke media lain. (c) Daya dukung selalu sama di semua lokasi. (d) Risiko mempertimbangkan kemungkinan dan konsekuensi. (e) Semua residu aman digunakan sebagai pupuk.
7. Uraian: Jelaskan bagaimana perubahan dari pendekatan "buang" ke pendekatan "kelola" memengaruhi desain usaha tani.
8. HOTS: Rancang keputusan untuk unit penggilingan yang memiliki residu sekam tetapi tidak memiliki lahan luas. Nyatakan data yang belum tersedia dan alasan Anda tidak boleh langsung mengklaim teknologi terbaik.

N. PENGAYAAN DAN CATATAN KRITIS

1. Cara Membaca Sistem Pertanian sebagai Sistem Material dan Sosial

Sistem pertanian tidak hanya terdiri atas tanaman dan tanah. Di dalamnya terdapat pemilik lahan, tenaga kerja, penyedia input, pedagang, pengolah hasil, pemerintah, konsumen, dan masyarakat sekitar. Keputusan pengelolaan limbah dipengaruhi oleh siapa yang menanggung biaya, siapa yang memperoleh manfaat, siapa yang menerima risiko, dan siapa yang memiliki kewenangan. Karena itu, audit limbah perlu memiliki dua peta: peta aliran bahan dan peta pemangku kepentingan.

Mahasiswa dapat menggunakan empat pertanyaan untuk memperluas audit. Pertama, bahan apa yang masuk dan siapa penyedianya? Kedua, bahan apa yang keluar dan siapa penerimanya? Ketiga, pada titik mana terjadi kehilangan atau pencemaran? Keempat, perubahan apa yang dapat dilakukan tanpa mengurangi fungsi produksi? Jawaban harus ditulis dalam bentuk tabel yang membedakan fakta observasi, keterangan responden, dan interpretasi mahasiswa.

2. Contoh Neraca Energi dan Bahan Sederhana

Pada latihan awal, digunakan asumsi untuk tujuan pembelajaran bahwa suatu unit menerima 1.000 kg bahan basah per hari. Produk utama 650 kg, residu padat terpilah 200 kg, air limbah 100 kg, dan kehilangan penguapan 50 kg. Jumlah keluaran adalah 1.000 kg sehingga neraca tertutup secara aritmetika. Akan tetapi, neraca belum membuktikan bahwa proses benar-benar efisien. Mahasiswa masih perlu memeriksa kandungan air, bahan organik, dan apakah sebagian residu masuk ke emisi atau tertinggal di peralatan.

Jika angka tidak seimbang, mahasiswa tidak boleh menambahkan angka secara sembarang. Mereka menyusun daftar dugaan: perbedaan basis basah-kering, kesalahan timbangan, bahan tertinggal, air yang menguap, atau periode pencatatan yang tidak sama. Pendekatan ini melatih integritas data dan menghindari angka yang tampak presisi tetapi tidak dapat diaudit.

3. Lembar Kerja Observasi

Lembar kerja minimal berisi tanggal, lokasi, kegiatan, input, produk, residu, jumlah, cara pengukuran, kondisi cuaca, penerima dampak, tindakan pengelolaan, dan catatan ketidakpastian. Foto tidak menggantikan pengukuran. Jika foto

digunakan, cantumkan waktu, lokasi, izin, dan tujuan dokumentasi. Data pribadi pekerja atau warga disamarkan.

4. Miskonsepsi yang Harus Diperbaiki

Miskonsepsi pertama adalah menganggap limbah selalu tidak bernilai. Miskonsepsi kedua adalah menganggap pemanfaatan selalu lebih baik tanpa memeriksa kontaminan dan energi. Miskonsepsi ketiga adalah menyamakan dampak dengan risiko. Reviewer perlu memastikan mahasiswa dapat menjelaskan ketiganya melalui contoh, bukan hanya definisi.

O. LEMBAR KERJA PENGAYAAN

1. Audit Sistem dan Penerima Dampak

Mulailah dengan menggambar batas sistem pada kertas. Batas sistem harus menjawab apakah audit mencakup lahan, gudang, kandang, unit pengolahan, saluran pembuangan, atau seluruh rantai kegiatan. Tandai input, proses, output, dan titik interaksi dengan lingkungan. Setelah itu, buat tabel pemangku kepentingan yang memuat kelompok, kepentingan, potensi dampak, tingkat pengaruh, serta cara pelibatan. Pekerjaan ini melatih mahasiswa agar tidak mereduksi persoalan lingkungan menjadi persoalan teknis semata.

Gunakan skala observasi: 0 = tidak diamati, 1 = indikasi awal, 2 = bukti pengukuran tersedia, dan 3 = bukti berulang atau terdokumentasi. Skala ini hanya alat pembelajaran. Mahasiswa wajib menjelaskan bukti yang mendasari skor. Jika sumber informasi berasal dari wawancara, tuliskan tanggal, peran responden, dan cara memastikan informasi tidak disalahartikan.

2. Analisis Trade-off

Pilih satu keputusan, misalnya pembakaran residu, pengangkutan ke tempat lain, atau pemanfaatan sebagai bahan organik. Untuk setiap alternatif, tuliskan manfaat, biaya, emisi, kebutuhan tenaga, risiko kesehatan, dan kemungkinan masalah berpindah. Alternatif terbaik belum tentu yang memiliki manfaat paling banyak; ia harus memenuhi batas keselamatan dan dapat dipantau. Tugas dikumpulkan dalam dua halaman dengan satu paragraf yang menjelaskan keterbatasan data.

3. Penilaian

Rubrik terdiri atas ketepatan batas sistem 25%, kelengkapan aliran bahan 25%, identifikasi penerima dampak 20%, analisis trade-off 20%, dan transparansi sumber 10%.

P. EVALUASI DAN LEMBAR REFLEKSI

PILIHAN GANDA

1. Agroekosistem disebut sistem terbuka karena …
   A. Tidak dipengaruhi manusia;
   B. Menerima dan melepaskan bahan serta energi;
   C. Hanya menghasilkan produk;
   D. Tidak memiliki batas analisis.

   Kunci: B.
2. Contoh tekanan lingkungan adalah …
   A. Peningkatan Beban Organik;
   B. Bau Yang Dirasakan Warga;
   C. Pembuangan Air Limbah;
   D. Penurunan Kualitas Tanah.

   Kunci: C.

3. Fungsi peta aliran bahan adalah …
   A. Menggantikan Pengukuran Laboratorium;
   B. Menunjukkan Input, Proses, Produk, Dan Residu;
   C. Membuktikan Teknologi Terbaik;
   D. Menentukan Sanksi.
   Kunci: B.
4. Pemanfaatan residu yang bertanggung jawab harus mempertimbangkan …
   A. Warna Bahan Saja;
   B. Kontaminan, Energi, Mutu, Dan Penerima Dampak;
   C. Harga Jual Saja;
   D. Jumlah Pekerja Saja.
   Kunci: B.
5. Daya dukung lingkungan menunjukkan …
   A. Jumlah Produk Maksimum;
   B. Kemampuan Lingkungan Menjalankan Fungsi Tanpa Kehilangan Fungsi Penting;
   C. Biaya Pembangunan;
   D. Luas Lahan.
   Kunci: B.

BENAR/SALAH

1. Agroekosistem tidak menerima energi dari luar. **Salah.**
2. Dampak dan risiko memiliki arti yang sama. **Salah.**
3. Pembakaran residu dapat mengurangi volume tetapi meningkatkan emisi. **Benar.**
4. Satu solusi dapat memindahkan masalah ke media lain. **Benar.**
5. Bioekonomi berarti semua biomassa boleh diperdagangkan tanpa pengujian mutu. **Salah.**

URAIAN

1. Jelaskan hubungan input pertanian, proses produksi, produk, residu, dan penerima dampak.
2. Bedakan tekanan, dampak, dan risiko dengan satu contoh kegiatan pengolahan hasil.
3. Mengapa pengenceran air limbah tidak sama dengan penghilangan pencemar?
4. Susun lima pertanyaan awal untuk audit sistem pertanian.
5. Jelaskan dua kemungkinan trade-off antara pembakaran residu dan pemanfaatan residu.

HOTS

1. Sebuah kelompok tani ingin membakar semua jerami setelah panen. Rancang analisis keputusan yang memuat minimal tiga alternatif, data yang harus dikumpulkan, dan risiko yang harus dibandingkan.
2. Anda menemukan program pemanfaatan residu yang menghasilkan produk baru tetapi membutuhkan energi besar. Bagaimana menilai apakah program tersebut benar-benar mengurangi dampak?
3. Rancang peta pemangku kepentingan untuk unit pengolahan hasil yang berada dekat permukiman.

LEMBAR EVALUASI MAHASISWA

Produk: peta aliran bahan, peta pemangku kepentingan, dan refleksi dua halaman. Indikator: batas sistem jelas, input-output lengkap, penerima dampak teridentifikasi, fakta dipisahkan dari asumsi, dan rekomendasi memiliki alasan. Skor: konsep 20%, data 20%, analisis 30%, komunikasi 15%, refleksi 15%.

BAB 2
LIMBAH PERTANIAN: SUMBER, JENIS, DAN KARAKTERISTIK

A. DESKRIPSI BAB

Bab ini memperkenalkan klasifikasi limbah berdasarkan wujud, sumber, sifat bahaya, dan peluang pemanfaatan. Mahasiswa belajar bahwa klasifikasi bukan tujuan akhir, melainkan dasar untuk menentukan metode pengukuran, penyimpanan, pengangkutan, pengolahan, dan pemantauan.

B. CAPAIAN PEMBELAJARAN BAB

Mahasiswa mampu menginventarisasi sumber limbah pertanian, membedakan limbah padat, cair, gas, dan limbah berbahaya, serta mengidentifikasi karakter penting yang menentukan pilihan teknologi.

C. KATA KUNCI

Limbah padat; air limbah; emisi; limbah B3; karakterisasi; inventarisasi.

BAB 3
KARAKTERISASI, NERACA MASSA, DAN PENILAIAN RISIKO

A. DESKRIPSI BAB

Bab ini mengubah inventarisasi menjadi informasi analitik. Mahasiswa mempelajari pengambilan sampel awal, parameter fisik-kimia-biologis, neraca massa, beban pencemar, serta penilaian risiko sederhana yang transparan.

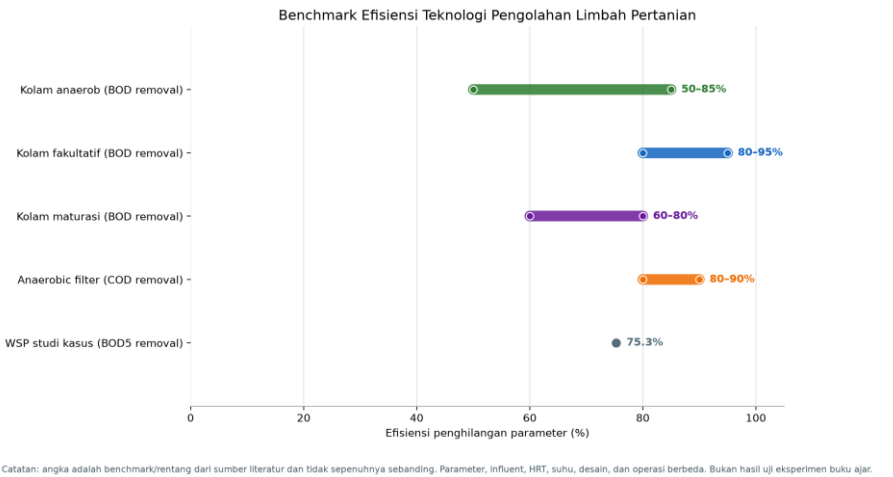
B. CAPAIAN PEMBELAJARAN B9PAB

Mahasiswa mampu menyusun rencana pengambilan data, menghitung timbulan dan beban sederhana, membaca ketidakpastian, dan menyusun matriks risiko untuk memilih prioritas pengelolaan.

C. KATA KUNCI

Sampling; neraca massa; beban pencemar; matriks risiko; ketidakpastian; indikator.

BAB 4
PRINSIP PEMILIHAN TEKNOLOGI PENGELOLAAN LIMBAH

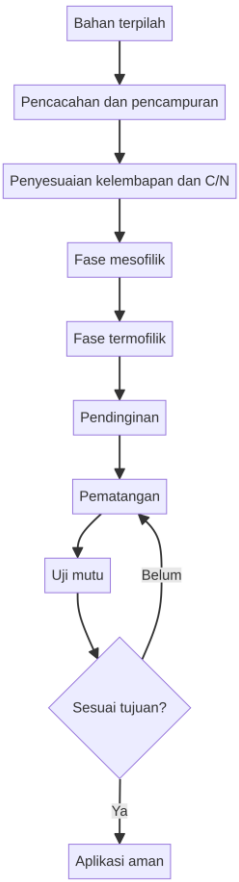


Gambar 4.1. Benchmark efisiensi teknologi pengolahan limbah pertanian. Sumber: literatur yang tercantum dalam daftar pustaka; bukan hasil uji eksperimen buku.

A. DESKRIPSI BAB

Bab ini membahas cara memilih teknologi secara rasional. Teknologi tidak dipilih hanya karena mampu mengolah limbah, tetapi

BAB 5
PENGOMPOSAN DAN MIKROORGANISME LOKAL



Gambar 5.1. Alur umum pengomposan aerob. Sumber: diolah penulis.

BAB 6
VERMIKOMPOSTING, BIOCHAR, DAN PEMULIHAN HARA

A. DESKRIPSI BAB

Bab ini memperluas pemahaman tentang pemulihan bahan organik melalui cacing, pirolisis, dan pengembalian hara. Fokusnya adalah kesesuaian bahan, kualitas produk, keterbatasan, dan keputusan penggunaan yang aman.

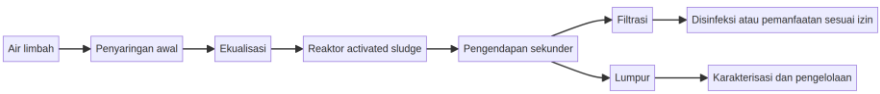
B. CAPAIAN PEMBELAJARAN BAB

Mahasiswa mampu membandingkan vermikomposting dan biochar, menjelaskan jalur pemulihan hara, serta menyusun rancangan sederhana dengan indikator mutu dan risiko.

C. KATA KUNCI

Vermikompos; biochar; pirolisis; pemulihan hara; kontaminan; stabilitas.

BAB 7
PENGELOLAAN LIMBAH CAIR: ACTIVATED SLUDGE DAN FILTRASI



Gambar 7.1. Alur konseptual pengolahan limbah cair dengan proses biologis dan pengendalian lanjutan. Sumber: diolah penulis.

A. DESKRIPSI BAB

Bab ini membahas pengolahan biologis dan fisik untuk limbah cair pertanian atau agroindustri. Mahasiswa mempelajari karakter limbah, beban organik, prinsip activated sludge, pemisahan padatan, filtrasi, lumpur, serta pemantauan.

B. CAPAIAN PEMBELAJARAN BAB

Mahasiswa mampu mengidentifikasi parameter limbah cair, menjelaskan proses activated sludge dan filtrasi, serta menyusun alur pengolahan dan pemantauan awal.

BAB 8
KOLAM STABILISASI, LANDFILL, DAN PENGENDALIAN EMISI

A. DESKRIPSI BAB

Bab ini membahas teknologi berbasis lahan dan pengelolaan residu akhir. Kolam stabilisasi memanfaatkan proses alami yang dikendalikan, sedangkan landfill digunakan untuk residu yang tidak dapat dimanfaatkan. Fokusnya adalah desain konseptual, lindi, gas, bau, vektor, dan pemantauan.

B. CAPAIAN PEMBELAJARAN BAB

Mahasiswa mampu menjelaskan prinsip kolam stabilisasi dan landfill, mengidentifikasi risiko lingkungan, serta menyusun persyaratan minimum pengelolaan residu akhir.

C. KATA KUNCI

Kolam stabilisasi; landfill; lindi; gas landfill; vektor; residu akhir.

BAB 9
DIGESTI ANAEROB DAN BIOGAS

A. DESKRIPSI BAB

Bab ini membahas digesti anaerob sebagai proses biologis tanpa oksigen untuk mengubah bahan organik menjadi biogas dan digestate. Mahasiswa mempelajari substrat, tahapan mikrobiologis, digester, parameter operasi, keselamatan gas, serta pemanfaatan produk.

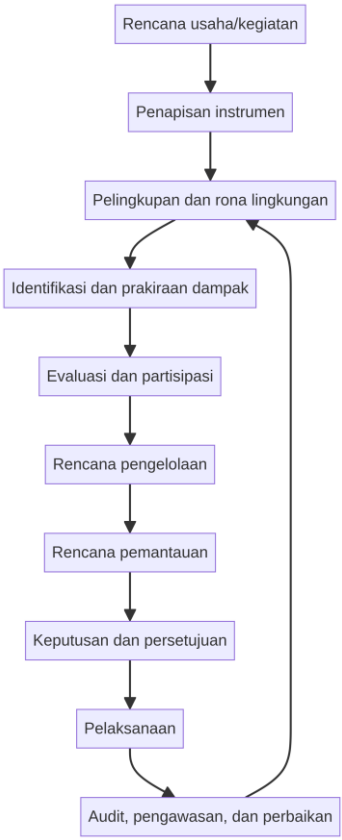
B. CAPAIAN PEMBELAJARAN BAB

Mahasiswa mampu menjelaskan tahapan digesti anaerob, mengidentifikasi faktor operasi, menggambar alur digester, dan menyusun rencana keselamatan serta pemantauan dasar.

C. KATA KUNCI

Digesti anaerob; biogas; metana; digestate; co-digestion; keselamatan gas.

BAB 10
AMDAL, UKL-UPL, SPPL, DAN PERSETUJUAN LINGKUNGAN



Gambar 10.1. Siklus konseptual kajian, persetujuan, pengelolaan, dan pemantauan lingkungan. Sumber: diolah penulis.

BAB 11
IDENTIFIKASI DAMPAK, UKL–UPL, DAN PEMANTAUAN

A. DESKRIPSI BAB

Bab ini mempraktikkan identifikasi aspek-dampak dan penyusunan rencana pengelolaan serta pemantauan. Mahasiswa mempelajari rona lingkungan, matriks interaksi, indikator, unit ukur, frekuensi, lokasi, penanggung jawab, dan mekanisme evaluasi.

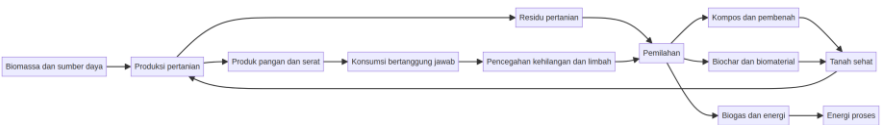
B. CAPAIAN PEMBELAJARAN BAB

Mahasiswa mampu menyusun matriks aspek-dampak, memilih indikator pemantauan, merancang tindakan pengelolaan, dan menghubungkan hasil pemantauan dengan tindakan korektif.

C. KATA KUNCI

Aspek lingkungan; dampak; rona lingkungan; UKL; UPL; indikator pemantauan.

BAB 12
EKONOMI SIRKULAR, KEBIJAKAN, DAN PROYEK TERPADU



Gambar 12.1. Ekonomi sirkular pada sistem pertanian. Sumber: diolah penulis.

A. DESKRIPSI BAB

Bab ini mengintegrasikan teknologi, lingkungan, ekonomi, sosial, dan kebijakan. Mahasiswa menyusun proyek pengelolaan limbah pertanian yang mencegah timbulan, memulihkan bahan, mengurangi risiko, dan memiliki indikator kinerja.

B. CAPAIAN PEMBELAJARAN BAB

Mahasiswa mampu merancang sistem pengelolaan limbah pertanian terpadu, menghubungkan rancangan dengan SDG 12, memasukkan kriteria teknis dan sosial, serta menyusun proposal proyek berbasis data.

I. PERKEMBANGAN TERKINI

Perkembangan pengelolaan limbah pertanian bergerak ke arah bioekonomi, digitalisasi pencatatan, penilaian daur hidup, dan pertanian cerdas iklim. FAO menempatkan bioekonomi sebagai prioritas untuk menghubungkan sumber daya biologis, inovasi, rantai nilai, dan keberlanjutan [9]. Pada saat yang sama, SDG 12 menekankan pengelolaan bahan kimia dan limbah sepanjang daur hidup serta pengurangan timbulan melalui pencegahan, pengurangan, daur ulang, dan penggunaan kembali [41]. Teknologi digital dapat membantu pencatatan timbulan, geolokasi titik limbah, pemantauan sensor, dan pelaporan, tetapi tidak menggantikan verifikasi lapangan atau tanggung jawab operator.

J. RANGKUMAN

Ekonomi sirkular mempertahankan nilai bahan, tetapi tidak menghapus kebutuhan pengujian mutu dan pengendalian risiko. Sistem terpadu harus menghubungkan teknologi, manusia, energi, informasi, kebijakan, pasar, dan pemantauan. Proyek dimulai dari masalah dan data, bukan dari asumsi bahwa satu teknologi cocok untuk semua.

K. REFLEKSI

Apa syarat agar pemanfaatan limbah benar-benar mengurangi dampak, bukan sekadar memindahkan dampak?

L. LATIHAN

1. Bedakan ekonomi linear dan sirkular.
2. Apa hubungan bioekonomi dan limbah pertanian?
3. Sebutkan dua target SDG 12 yang relevan.
4. Mengapa kelembagaan penting?
5. Apa isi minimum proposal proyek terpadu?
6. Benar/Salah: (a) Ekonomi sirkular berarti semua bahan harus didaur ulang. (b) Mutu produk tetap penting. (c) Pasar tidak berhubungan dengan teknologi. (d) Proyek harus dimulai dari masalah dan data. (e) Peran operator perlu dirancang.
7. Uraian: Jelaskan bagaimana indikator SDG 12 dapat diterjemahkan ke tingkat kelompok tani.
8. HOTS: Buat rancangan bertahap ketika desa memiliki empat jenis limbah tetapi dana hanya cukup untuk satu pilot teknologi.

M. PENGAYAAN DAN CATATAN KRITIS

1. Menilai Sirkularitas Secara Kritis

Sirkularitas tidak diukur hanya dari banyaknya bahan yang "dimanfaatkan". Ukuran yang lebih bermakna mencakup bahan yang benar-benar menggantikan input baru, durasi penggunaan, mutu produk, risiko yang dihindari, energi proses, emisi, dan residu tersisa. Mahasiswa menyusun indikator sederhana yang dapat diaudit.

2. Analisis Multi-Kriteria Proyek Desa

Proyek desa dinilai melalui lima dimensi: lingkungan, teknis, ekonomi, sosial, dan kelembagaan. Setiap dimensi memiliki indikator. Kelompok kemudian melakukan analisis sensitivitas terhadap perubahan bobot. Hasil akhir berupa rekomendasi bersyarat dan rencana pilot, bukan janji keberhasilan.

3. Digitalisasi dan AI yang Bertanggung Jawab

Spreadsheet, GIS, sensor, dan kecerdasan artifisial dapat membantu pencatatan, pemetaan, klasifikasi, dan penyusunan skenario. Namun, alat digital dapat menghasilkan kesalahan, bias, atau referensi palsu. Mahasiswa harus menyimpan sumber data, memeriksa keluaran, mencatat penggunaan alat, dan tidak mengunggah data pribadi atau data sensitif tanpa izin.

4. Kriteria Proyek Berkualitas

Proyek yang baik memiliki masalah terdefinisi, data primer atau sekunder yang dapat ditelusuri, batasan jelas, pilihan teknologi yang dibenarkan, risiko keselamatan, rencana pemantauan, dan strategi keberlanjutan setelah mata kuliah selesai. Reviewer memberi nilai rendah pada proyek yang hanya berisi slogan "zero waste" tanpa neraca, operator, biaya, atau indikator.

N. LEMBAR KERJA PENGAYAAN

1. Kanvas Ekonomi Sirkular

Mahasiswa mengisi sumber bahan, produk utama, residu, peluang pemulihan, pengguna produk, energi, biaya, risiko, dan residu akhir. Kanvas membantu mahasiswa menguji apakah sebuah gagasan benar-benar menutup sebagian aliran atau hanya mengubah lokasi pembuangan.

2. Indikator Kinerja

Kelompok memilih maksimal sepuluh indikator yang dapat diukur, misalnya massa limbah dicegah, persentase pemilahan, massa dipulihkan, konsumsi energi, keluhan, kecelakaan, mutu produk, biaya operasi, dan kepatuhan pemantauan. Setiap

indikator diberi rumus, satuan, sumber data, periode, dan penanggung jawab.

3. **Proposal Pilot**

   Proposal pilot berisi masalah, tujuan, batas sistem, metode, risiko, APD, jadwal, biaya konseptual, kriteria penghentian, dan rencana evaluasi. Pilot tidak boleh dilakukan bila membutuhkan bahan berbahaya, gas, tekanan, atau peralatan yang tidak dikuasai mahasiswa tanpa pendampingan kompeten.

5. **Penilaian**

   Rubrik terdiri atas diagnosis 20%, desain sirkular 25%, indikator 20%, keselamatan 20%, dan komunikasi 15%.

O. EVALUASI DAN LEMBAR REFLEKSI

PILIHAN GANDA

1. Ekonomi sirkular berupaya … A. mempertahankan nilai bahan dan mengurangi timbulan; B. mempercepat pembuangan; C. mencampur semua limbah; D. menghapus pemantauan. **Kunci: A.**
2. Target SDG 12.5 menekankan … A. pencegahan, pengurangan, daur ulang, dan penggunaan kembali; B. peningkatan landfill; C. pembakaran terbuka; D. penghapusan data. **Kunci: A.**
3. Proyek terpadu harus dimulai dari … A. masalah dan data; B. teknologi favorit; C. slogan; D. produk tanpa pasar. **Kunci: A.**
4. Indikator sirkularitas yang baik meliputi … A. massa dicegah/dipulihkan, mutu, energi, risiko, dan residu; B. jumlah poster; C. banyaknya klaim; D. jumlah rapat saja. **Kunci: A.**
5. Penggunaan AI dalam pembelajaran harus … A. diverifikasi dan dicatat secara etis; B. dipercaya tanpa pemeriksaan; C. digunakan

untuk membuat data; D. menggantikan tanggung jawab mahasiswa. **Kunci: A.**

BENAR/SALAH

1. Sirkularitas berarti semua bahan harus didaur ulang. **Salah.**
2. Mutu produk pemulihan tetap harus diperiksa. **Benar.**
3. Pasar tidak berhubungan dengan keberlanjutan teknologi. **Salah.**
4. Kelembagaan dan operator bagian dari desain sistem. **Benar.**
5. Data yang dibuat untuk mengisi kekosongan dapat digunakan sebagai fakta. **Salah.**

URAIAN

1. Bandingkan ekonomi linear dan sirkular.
2. Jelaskan hubungan bioekonomi dan limbah pertanian.
3. Terjemahkan dua target SDG 12 menjadi indikator tingkat kelompok tani.
4. Sebutkan isi minimum proposal proyek terpadu.
5. Jelaskan risiko penggunaan AI tanpa verifikasi dalam pengelolaan lingkungan.

HOTS

1. Rancang sistem desa ketika tersedia empat jenis limbah tetapi dana hanya cukup untuk satu pilot.
2. Buat analisis sensitivitas ketika pilihan teknologi berubah setelah bobot keselamatan dinaikkan.
3. Susun strategi keberlanjutan proyek setelah semester berakhir, termasuk operator, biaya, pasar, dan pemantauan.

PANDUAN IMPLEMENTASI PEMBELAJARAN

A. PETA KONSEP GLOBAL BUKU

Pertanian menggunakan sumber daya dan menghasilkan produk serta residu. Residu diinventarisasi, diklasifikasikan, dan dikarakterisasi. Data tersebut digunakan untuk memilih teknologi yang mencegah timbulan, memulihkan bahan, mengolah limbah, atau menangani residu akhir. Dampak potensial dianalisis melalui instrumen lingkungan, kemudian dikelola dan dipantau. Seluruh siklus diarahkan pada kesehatan lingkungan, manfaat sosial, efisiensi sumber daya, dan ekonomi sirkular.

B. DAFTAR TABEL SEMENTARA

Tabel 1. Pemetaan CPL–CPMK–Bab; Tabel 2. Contoh klasifikasi limbah pertanian; Tabel 3. Format inventarisasi limbah; Tabel 4. Contoh neraca massa; Tabel 5. Matriks penilaian risiko; Tabel 6. Kriteria pemilihan teknologi; Tabel 7. Parameter pemantauan kompos; Tabel 8. Perbandingan vermikompos dan biochar; Tabel 9. Parameter limbah cair; Tabel 10. Alur pengelolaan lumpur; Tabel 11. Komponen landfill; Tabel 12. Parameter digester; Tabel 13. Penapisan instrumen lingkungan; Tabel 14. Matriks aspek-dampak; Tabel 15. Rencana UKL-UPL mini; Tabel 16. Indikator SDG 12 lokal; Tabel 17. Rubrik proyek;

PROYEK SEMESTER

A. SISTEM PENGELOLAAN LIMBAH PERTANIAN TERPADU BERBASIS SUMBER DAYA LOKAL

1. Latar Belakang

   Kegiatan pertanian dan pengolahan hasil menghasilkan aliran bahan dengan karakter berbeda. Proyek semester mengajak mahasiswa mempelajari satu sistem nyata secara bertanggung jawab dan menyusun rancangan perbaikan yang dapat diuji pada skala kecil. Proyek tidak boleh mengarang data. Jika data belum tersedia, mahasiswa menuliskan "data belum tersedia dan memerlukan validasi/pengumpulan data".

2. Rumusan Masalah

   Bagaimana sumber limbah diinventarisasi dan diprioritaskan? Teknologi apa yang sesuai dengan karakter, kapasitas, sumber daya, dan risiko? Bagaimana rancangan tersebut dikaitkan dengan pengelolaan dan pemantauan lingkungan? Bagaimana keberhasilan dan keselamatan diukur?

3. Tahapan Kegiatan

   Tahap pertama adalah memperoleh izin dan menetapkan batas sistem. Tahap kedua adalah melakukan audit sumber, jenis, jumlah, waktu timbulan, dan jalur pengelolaan. Tahap ketiga adalah karakterisasi awal dan matriks risiko. Tahap keempat adalah membandingkan minimal tiga alternatif teknologi. Tahap kelima adalah menyusun desain konseptual, SOP, rencana

BANK EVALUASI DAN RUBRIK UMUM

A. KUNCI BENAR/SALAH BAB 1–12

Untuk soal benar/salah pada setiap bab, pengajar dapat menggunakan kunci berikut setelah menyesuaikan urutan pernyataan: Bab 1: Salah, Benar, Salah, Benar, Salah. Bab 2: Salah, Benar, Salah, Benar, Salah. Bab 3: Salah, Benar, Salah, Benar, Benar. Bab 4: Salah, Benar, Benar, Salah, Benar. Bab 5: Benar, Salah, Benar, Salah, Benar. Bab 6: Salah, Benar, Salah, Benar, Benar. Bab 7: Salah, Benar, Salah, Benar, Benar. Bab 8: Salah, Benar, Salah, Benar, Salah. Bab 9: Salah, Benar, Benar, Salah, Benar. Bab 10: Salah, Benar, Salah, Benar, Salah. Bab 11: Salah, Benar, Salah, Benar, Benar. Bab 12: Salah, Benar, Salah, Benar, Benar.

B. KISI-KISI SOAL PILIHAN GANDA

Soal pilihan ganda disusun dari lima indikator per bab: Bab 1 sistem terbuka, daya dukung, tekanan-dampak-risiko, peta aliran, dan bioekonomi; Bab 2 klasifikasi, kadar air, parameter cair, B3, dan inventarisasi; Bab 3 sampling, neraca, beban, risiko, dan indikator; Bab 4 hierarki, kriteria teknis, biaya, bobot, dan keselamatan; Bab 5 aerob, C/N, aerasi, MOL, dan mutu; Bab 6 cacing, biochar, dosis, mutu, dan kontrol; Bab 7 BOD/COD, ekualisasi, oksigen, filtrasi, dan lumpur; Bab 8 kolam, lindi, hujan, landfill, dan keluhan; Bab 9 tahap mikroba, co-

DAFTAR PUSTAKA

Alengebawy, A., Ran, Y., Osman, A. I., Jin, K., Samer, M., & Ai, P. (2024). Anaerobic digestion of agricultural waste for biogas production and sustainable bioenergy recovery: A review. *Environmental Chemistry Letters, 22*(6), 2641–2668. https://doi.org/10.1007/s10311-024-01789-1

Ayilara, M. S., Olanrewaju, O. S., Babalola, O. O., & Odeyemi, O. (2020). Waste management through composting: Challenges and potentials. *Sustainability, 12*(11), 4456. https://doi.org/10.3390/su12114456

Badan Standardisasi Nasional. (2004). *SNI 19-7030-2004: Spesifikasi kompos dari sampah organik domestik*. https://sispk.bsn.go.id/

Badan Standardisasi Nasional. (2008). *SNI 6989.59:2008: Air dan air limbah—Bagian 59: Metoda pengambilan contoh air limbah*. https://sispk.bsn.go.id/

Bernal, M. P., Alburquerque, J. A., & Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment: A review. *Bioresource Technology, 100*(22), 5444–5453. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027

Bocken, N. M. P., de Pauw, I., Bakker, C., & van der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering, 33*(5), 308–320. https://doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124

Canter, L. W. (1996). *Environmental impact assessment* (2nd ed.). McGraw-Hill.

Daftar pustaka berikut dinormalisasi mengikuti **APA 7th edition**. DOI ditulis sebagai URL aktif. Entri regulasi dan laman dinamis menggunakan URL resmi. Sebelum cetak, editor tetap perlu melakukan pemeriksaan akhir terhadap katalog penerbit, status regulasi, dan tanggal akses laman dinamis.

Diaz, L. F., de Bertoldi, M., Bidlingmaier, W., & Stentiford, E. (Eds.). (2007). *Compost science and technology*. Elsevier.

Diaz, L. F., Savage, G. M., Eggerth, L. L., & Golueke, C. G. (1996). *Composting and recycling municipal solid waste*. Lewis Publishers.

Ellen MacArthur Foundation. (2019). *Completing the picture: How the circular economy tackles climate change*. https://www.ellenmacarthurfoundation.org/completing-the-picture

European Commission. (2020). *A new circular economy action plan: For a cleaner and more competitive Europe*. https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2019). *The state of food and agriculture 2019: Moving forward on food loss and waste reduction*. https://www.fao.org/3/ca6030en/ca6030en.pdf

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). *The state of the world's land and water resources for food and agriculture: Systems at breaking point*. https://www.fao.org/land-water/solaw2021/en/

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2024). *Bioeconomy for sustainable food and agriculture*. https://www.fao.org/bioeconomy/en

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The circular economy: A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production, 143*, 757–768. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048

Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production, 114*, 11–32. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007

Glasson, J., Therivel, R., & Chadwick, A. (2012). *Introduction to environmental impact assessment* (4th ed.). Routledge.

Global Bioeconomy Summit. (2024). *Global Bioeconomy Summit communiqué*. https://www.gbs2024.com/

Haug, R. T. (1993). *The practical handbook of compost engineering*. Lewis Publishers.

Henze, M., Harremoës, P., Jansen, J. C., & Arvin, E. (2002). *Wastewater treatment: Biological and chemical processes* (3rd ed.). Springer.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2019). *Climate change and land: An IPCC special report*. https://www.ipcc.ch/srccl/

International Labour Organization. (2001). *Guidelines on occupational safety and health management systems: ILO-OSH 2001*. https://www.ilo.org/

International Organization for Standardization. (2006a). *ISO 14040:2006 environmental management—Life cycle assessment—Principles and framework*. https://www.iso.org/standard/37456.html

International Organization for Standardization. (2006b). *ISO 14044:2006 environmental management—Life cycle assessment—Requirements and guidelines*. https://www.iso.org/standard/38498.html

International Organization for Standardization. (2015). *ISO 14001:2015 environmental management systems—Requirements with guidance for use*. https://www.iso.org/standard/60857.html

International Organization for Standardization. (2018). *ISO 45001:2018 occupational health and safety management systems—Requirements with guidance for use*. https://www.iso.org/standard/63787.html

Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). *What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050*. World Bank. https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. (2021a). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 4 Tahun 2021 tentang daftar usaha dan/atau kegiatan yang wajib memiliki analisis mengenai dampak lingkungan hidup, upaya pengelolaan lingkungan hidup dan upaya pemantauan lingkungan hidup atau surat pernyataan kesanggupan pengelolaan dan pemantauan lingkungan hidup*. https://peraturan.go.id/id/permen-lhk-no-4-tahun-2021

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. (2021b). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 6 Tahun 2021 tentang tata cara dan persyaratan pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun*. https://peraturan.bpk.go.id/Details/211000/permen-lhk-no-6-tahun-2021

Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling, 127*, 221–232. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005

LaGrega, M. D., Buckingham, P. L., & Evans, J. C. (2010). *Hazardous waste management* (2nd ed.). Waveland Press.

Metcalf & Eddy, Inc., Tchobanoglous, G., Stensel, H. D., Tsuchihashi, R., & Burton, F. (2014). *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery* (5th ed.). McGraw-Hill Education.

Morris, P., & Therivel, R. (Eds.). (2001). *Methods of environmental impact assessment* (2nd ed.). Spon Press.

Organisation for Economic Co-operation and Development. (2019). *Global material resources outlook to 2060: Economic drivers and environmental consequences*. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/9789264307452-en

Pemerintah Republik Indonesia. (2012). *Peraturan Pemerintah Nomor 81 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga*. https://peraturan.go.id/

Pemerintah Republik Indonesia. (2017). *Peraturan Presiden Nomor 97 Tahun 2017 tentang Kebijakan dan Strategi Nasional Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga*. https://peraturan.go.id/

Pemerintah Republik Indonesia. (2021a). *Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. https://peraturan.bpk.go.id/Details/161852/pp-no-22-tahun2021

Rittmann, B. E., & McCarty, P. L. (2001). *Environmental biotechnology: Principles and applications*. McGraw-Hill.

Rynk, R. (Ed.). (1992). *On-farm composting handbook*. Northeast Regional Agricultural Engineering Service.

Sevigné-Itoiz, E., Mwabonje, O., Panoutsou, C., & Woods, J. (2021). Life cycle assessment (LCA): Informing the development of a sustainable circular bioeconomy? *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 379*(2206), 20200352. https://doi.org/10.1098/rsta.2020.0352

Speight, J. G. (2011). *Handbook of industrial hydrocarbon processes*. Gulf Professional Publishing.

Tchobanoglous, G., & Kreith, F. (Eds.). (2002). *Handbook of solid waste management* (2nd ed.). McGraw-Hill.

U.S. Environmental Protection Agency. (2023). *AgSTAR: Anaerobic digestion on farms*. https://www.epa.gov/agstar

U.S. Environmental Protection Agency. (2024). *Composting at home*. https://www.epa.gov/recycle/composting-home

United Nations Department of Economic and Social Affairs. (n.d.). *Goal 12: Responsible consumption and production*. Retrieved August 25, 2026, from https://sdgs.un.org/goals/goal12

United Nations Environment Programme. (2021). *Food waste index report 2021*. https://www.unep.org/resources/report/unep-food-waste-index-report-2021

United Nations Environment Programme. (2023). *Turning off the tap: How the world can end plastic pollution and create a circular economy*. https://www.unep.org/resources/report/turning-off-tap

United Nations Environment Programme. (2024). *Global waste management outlook 2024*. https://www.unep.org/resources/report/global-waste-management-outlook-2024

United Nations Industrial Development Organization. (n.d.). *Circular economy*. Retrieved August 25, 2026, from https://www.unido.org/

United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development*. https://sdgs.un.org/2030agenda

Venkatesh, G. (2022). Circular bio-economy—Paradigm for the future: Systematic review of scientific journal publications from 2015 to 2021. *Circular Economy and Sustainability*, *2*(1), 231–279. https://doi.org/10.1007/s43615-021-00084-3

Waqas, M., Hashim, S., Humphries, U. W., Ahmad, S., Noor, R., Shoaib, M., Naseem, A., Hlaing, P. T., & Lin, H. A. (2023). Composting processes for agricultural waste management: A comprehensive review. *Processes, 11*(3), 731. https://doi.org/10.3390/pr11030731

Wathern, P. (Ed.). (1988). *Environmental impact assessment: Theory and practice*. Routledge.

World Bank. (n.d.). *Solid waste management*. Retrieved August 25, 2026, from https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/brief/solid-waste-management

World Health Organization. (2018). *Guidelines on sanitation and health*. https://www.who.int/publications/i/item/9789241514705

World Resources Institute. (2019). *Reducing food loss and waste*. https://www.wri.org/initiatives/reducing-food-loss-and-waste

REFERENSI KERJA YANG DITAHAN UNTUK KONFIRMASI METADATA

Entri berikut tidak dimasukkan ke daftar APA utama sebelum metadata penerbit atau katalog perpustakaan dikonfirmasi: Irianto (2017), Nurika dan Hidayat (2007), dan Reza (2016). Data yang perlu dikonfirmasi meliputi nama penulis sesuai halaman judul, tahun, judul resmi, penerbit, kota/penerbit bila relevan, ISBN, dan URL katalog atau repositori. Entri "Ministry of Environment and Forestry of the Republic of Indonesia (2021)" yang bersifat terlalu umum dikeluarkan dari daftar utama karena tidak memiliki judul dokumen yang dapat diaudit.

GLOSARIUM

A

Activated sludge — Proses pengolahan biologis dengan mikroorganisme tersuspensi dan suplai oksigen.

Aerasi — Pemasukan atau pertukaran udara untuk menyediakan oksigen dan menjaga kondisi proses.

Aerob — Kondisi atau proses yang menggunakan oksigen.

Air limbah — Air yang kualitasnya berubah akibat kegiatan domestik, pertanian, atau pengolahan.

Aliran bahan — Perpindahan bahan dari input, proses, produk, residu, hingga pemanfaatan atau pembuangan.

AMDAL — Analisis Mengenai Dampak Lingkungan Hidup untuk menilai dampak penting rencana usaha dan/atau kegiatan.

Analisis dampak — Proses mengidentifikasi, memprakirakan, dan mengevaluasi perubahan akibat kegiatan.

Analisis risiko — Penilaian kemungkinan dan konsekuensi suatu kejadian yang tidak diinginkan.

APD — Alat Pelindung Diri yang digunakan untuk mengurangi paparan bahaya.

Aspek lingkungan — Unsur kegiatan yang berinteraksi atau dapat berinteraksi dengan lingkungan.

B

B3 — Bahan Berbahaya dan Beracun yang memiliki sifat atau konsentrasi berbahaya.

Baku mutu — Batas atau kadar maksimum parameter lingkungan yang dipersyaratkan.

Bahan organik — Bahan berbasis senyawa karbon yang dapat mengalami perubahan biologis.
Beban pencemar — Jumlah pencemar yang masuk ke media lingkungan per satuan waktu.
Biochar — Bahan kaya karbon dari pemanasan biomassa dengan oksigen terbatas.
Bioekonomi — Pemanfaatan sumber daya biologis untuk kegiatan ekonomi secara berkelanjutan.
Biogas — Campuran gas hasil penguraian anaerob bahan organik.
Biomassa — Bahan biologis yang dapat digunakan sebagai sumber energi atau bahan.
Bioremediasi — Pemanfaatan organisme untuk mengurangi atau mengubah pencemar.
BOD — Kebutuhan oksigen biokimia untuk menguraikan bahan organik dalam kondisi uji tertentu.

C

C/N — Rasio massa karbon terhadap nitrogen pada suatu bahan.
COD — Kebutuhan oksigen kimia untuk mengoksidasi bahan yang dapat dioksidasi secara kimia.
Co-digestion — Digesti anaerob menggunakan campuran dua atau lebih substrat.
Composting — Lihat pengomposan.

D

Daya dukung — Kemampuan lingkungan mendukung fungsi atau beban tanpa kehilangan fungsi penting.
Daur hidup — Tahap-tahap keberadaan produk atau proses dari bahan baku hingga akhir penggunaan.

Daur ulang — Pengolahan bahan sisa menjadi bahan atau produk yang dapat digunakan kembali.
Digestate — Sisa padat atau cair dari proses digesti anaerob.
Digesti anaerob — Penguraian bahan organik oleh mikroorganisme tanpa oksigen bebas.
Disinfeksi — Proses mengurangi mikroorganisme patogen pada air atau bahan.

E

Ekonomi linear — Pola ambil, buat, gunakan, dan buang.
Ekonomi sirkular — Sistem yang mempertahankan nilai bahan melalui pencegahan, guna ulang, pemulihan, dan regenerasi.
Ekualisasi — Penyeragaman debit atau karakter limbah cair sebelum proses berikutnya.
Emisi — Pelepasan zat, energi, atau partikel ke lingkungan.
Energi terbarukan — Energi dari sumber yang dapat pulih secara alamiah pada skala waktu manusia.
Eutrofikasi — Pengayaan nutrien berlebih yang mengganggu keseimbangan badan air.

F

Flok — Gumpalan partikel atau mikroorganisme yang terbentuk dalam proses pengolahan.

G

Gas rumah kaca — Gas yang memengaruhi keseimbangan radiasi dan pemanasan atmosfer.
Guna ulang — Penggunaan kembali bahan atau produk tanpa mengubahnya secara mendasar.

H

Hierarki pengelolaan limbah — Urutan prioritas dari pencegahan hingga pembuangan akhir.

Hidrolisis — Penguraian senyawa kompleks menjadi senyawa lebih sederhana dengan bantuan air.

I

Indikator — Variabel terukur yang digunakan untuk menilai kondisi atau kinerja.

Infiltrasi — Masuknya air ke dalam tanah atau media berpori.

Inventarisasi limbah — Pencatatan sistematis sumber, jenis, jumlah, waktu, dan jalur limbah.

IPAL — Instalasi Pengolahan Air Limbah.

K

Kadar air — Persentase air yang terkandung dalam suatu bahan.

Kapasitas — Jumlah beban atau volume yang dapat ditangani sistem pada kondisi tertentu.

Karakterisasi — Pengukuran sifat fisik, kimia, dan biologis bahan atau limbah.

Kebijakan lingkungan — Arah, prinsip, dan keputusan resmi untuk melindungi serta mengelola lingkungan.

Kematangan kompos — Tingkat kestabilan kompos yang sesuai untuk tujuan penggunaannya.

Kepadatan — Jumlah organisme atau bahan per satuan luas, volume, atau unit.

Kesehatan lingkungan — Kondisi lingkungan yang mendukung kesehatan manusia dan ekosistem.

Konsentrasi — Jumlah zat per satuan volume atau massa.

Kontaminan — Zat atau organisme yang hadir pada tempat atau kadar yang tidak diinginkan.
Kontrol — Perlakuan pembanding untuk menilai pengaruh suatu intervensi.
Korosi — Kerusakan material akibat reaksi kimia atau elektrokimia dengan lingkungan.
Kualitas air — Sifat fisik, kimia, dan biologis air sesuai tujuan penggunaannya.
Kualitas kompos — Kumpulan karakter yang menentukan keamanan, kematangan, dan kegunaan kompos.

L
Landfill — Fasilitas penempatan residu akhir dengan pengendalian teknis tertentu.
Lindi — Cairan yang terbentuk ketika air melewati massa limbah dan membawa zat terlarut.
Limbah cair — Limbah dalam bentuk cair atau campuran cair dengan padatan.
Limbah gas — Pelepasan gas atau partikulat dari suatu kegiatan.
Limbah organik — Limbah yang mengandung bahan organik dan berpotensi mengalami penguraian biologis.
Limbah padat — Limbah berbentuk padat atau semi-padat.
Limbah pertanian — Sisa dari kegiatan budidaya, peternakan, perikanan, atau pengolahan hasil pertanian.
Limbah B3 — Limbah dengan sifat berbahaya dan beracun yang memerlukan pengelolaan khusus.

M
Massa kering — Massa bahan setelah air dikeluarkan melalui metode tertentu.

Massa basah — Massa bahan sebagaimana diterima, termasuk kandungan air.

Matriks dampak — Tabel hubungan antara aktivitas, aspek, dan dampak lingkungan.

Matriks risiko — Tabel yang menggabungkan tingkat kemungkinan dan konsekuensi.

Metanogenesis — Tahap pembentukan metana oleh mikroorganisme anaerob.

Mikroorganisme — Organisme berukuran mikroskopis, termasuk bakteri dan fungi.

Mikroorganisme lokal — Kultur mikroorganisme dari sumber lokal yang digunakan dalam proses tertentu.

Monitoring — Lihat pemantauan.

Musyawarah — Proses pembahasan bersama untuk mencapai pemahaman atau keputusan.

N

Neraca massa — Perhitungan massa masuk, keluar, tersimpan, dan berubah dalam batas sistem.

Nitrogen — Unsur hara penting yang juga dapat menjadi pencemar bila berlebih.

O

Operator — Orang yang bertanggung jawab menjalankan dan memeriksa sistem.

Organisme pengganggu — Organisme yang dapat mengganggu proses, mutu, atau kesehatan.

P

Pelingkupan — Proses menentukan isu penting, batas kajian, dan informasi yang diperlukan dalam AMDAL.

Pemantauan lingkungan — Pengukuran dan pencatatan kondisi lingkungan serta kinerja pengelolaan.

Pemanfaatan kembali — Penggunaan bahan sisa untuk fungsi baru atau fungsi semula.

Pemilahan — Pemisahan limbah berdasarkan jenis, sifat, atau jalur pengelolaan.

Pemrakarsa — Pihak yang mengusulkan atau bertanggung jawab atas rencana usaha/kegiatan.

Pencemar — Zat, energi, atau organisme yang menyebabkan perubahan merugikan.

Pencegahan — Tindakan menghindari timbulan atau masuknya limbah sejak sumber.

Pengelolaan limbah — Serangkaian kegiatan pengurangan, pemilahan, pengumpulan, pengangkutan, pengolahan, pemanfaatan, dan/atau penanganan akhir.

Pengendalian bau — Upaya mengurangi sumber, perpindahan, dan penerimaan senyawa berbau.

Pengendalian emisi — Tindakan mencegah, menangkap, mengolah, atau mengurangi emisi.

Pengolahan biologis — Pengolahan dengan aktivitas mikroorganisme atau organisme lain.

Pengolahan fisik — Pemisahan atau perubahan berdasarkan sifat fisik bahan.

Pengolahan kimia — Pengolahan dengan reaksi kimia untuk mengubah atau memisahkan zat.

Pengurangan — Upaya mengurangi jumlah atau bahaya limbah pada sumber.

Pengomposan — Penguraian bahan organik secara biologis pada kondisi terkendali.

Pengumpulan — Kegiatan mengambil dan menghimpun limbah dari sumber.

Penggunaan kembali — Lihat guna ulang.

Perkolasi — Pergerakan air melalui media atau massa berpori.

Perlindungan lingkungan — Upaya menjaga fungsi dan kualitas lingkungan dari kerusakan atau pencemaran.

Persetujuan lingkungan — Keputusan atau persetujuan yang menjadi prasyarat sesuai kerangka peraturan lingkungan.

Pestisida — Bahan atau campuran bahan untuk mengendalikan organisme pengganggu tanaman.

PROFIL PENULIS



Assoc. Prof. Dr. Lita Nasution, SP. M.Si adalah dosen Agroteknologi pada Fakultas Sains dan Teknologi, Quality University, Medan, Indonesia. Beliau memiliki perhatian akademik dan profesional yang kuat di bidang pertanian, lingkungan, pemberdayaan masyarakat, serta pengembangan inovasi berbasis sumber daya lokal. Saat ini, beliau juga tengah menempuh studi doktoral dan magister dalam bidang Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan di Universitas Sumatera Utara, serta melanjutkan pendidikan sarjana pada bidang Hama dan Penyakit Tumbuhan di universitas yang sama.

Dalam perjalanan akademiknya, Dr. Lita Nasution aktif memperoleh hibah penelitian dan pengabdian yang kompetitif. Pada tahun 2024, beliau memperoleh hibah program pengembangan desa selama tiga tahun dari Kementerian Riset dan Teknologi melalui program berjudul "Diversification and Marketing of Pondoh Salacca to Strengthen Farmers' Economic Independence Towards AgroEcotourism in Kutambaru Village, Karo Regency." Sebelumnya, pada tahun 2022, beliau juga memperoleh hibah pengabdian kepada masyarakat selama satu tahun dengan judul "Community Service on Liquid Organic Fertilizer in Pantai Cermin Village, Tanjung Pura District, Langkat Regency." Pada tahun yang sama, beliau menerima hibah penelitian internal UMSU untuk riset "Increase in Secondary Metabolite Compounds of Vetiver Essential Oil (Vetiveria zizanioides L.) under Salinity Stress." Adapun sejak tahun 2013, beliau telah terlibat dalam program penelitian kompetitif nasional melalui

penelitian dosen pemula mengenai "Development of Stem Rot Disease (Ganoderma boninense) in Oil Palm Plantations in North Sumatra Province." Selain aktif dalam hibah penelitian, Dr. Lita Nasution juga produktif menulis buku dan karya ilmiah. Pada tahun 2025, beliau menerbitkan buku berjudul Diseases of Medicinal and Spice Plants. Dalam rentang 2022–2024, beliau juga menghasilkan beberapa monograf dan buku referensi, antara lain In Vitro Use of Indigenous Bacteria in Obtaining Remediation Models for 185 Agricultural Land Exposed to Dichloro Diphenyl Trichloroethane (DDT), Development of Alternative Energy with Charcoal Briquettes Through the Use of Organic Waste, Pesticides and Application Techniques, serta Invertebrate Animals. Produktivitas ilmiahnya juga tercermin dalam berbagai publikasi jurnal internasional pada tahun 2023, di antaranya penelitian tentang respons pertumbuhan bibit kelapa sawit setelah aplikasi fungi mikoriza arbuskula vesikular (VAM), pemberdayaan masyarakat melalui sekolah lapang pengendalian hama terpadu, peran Lactobacillus sakei strain pro7 dalam menurunkan kadar DDT, patogenisitas Aspergillus sp. dan Metarhizium anisopliae terhadap larva Oryctes rhinoceros, serta identifikasi biokimia bakteri pada tanah tercemar di Kabupaten Karo. Salah satu publikasinya juga telah terindeks Scopus Q4. Kontak Penulis Email: litanasution2110@gmail.com Telepon: +62 821-6694-5465 ORCID: 0000-0003-2468-9909 SINTA ID: 6702972 Scopus ID: 57202445717

Buku Ajar

TEKNOLOGI PENGELOLAAN LIMBAH DAN AMDAL

Konsep, Teknologi, Analisis Dampak, dan Praktik Pertanian Berkelanjutan

Buku ini merupakan buku ajar yang mempelajari pengelolaan limbah pertanian dan analisis mengenai dampak lingkungan. Cakupannya meliputi limbah padat, cair, gas, dan limbah berbahaya; pendekatan pencegahan dan pemanfaatan; teknologi biologis, fisik, kimia, dan termal; pengomposan; vermikomposting; biochar; activated sludge; filtrasi; kolam stabilisasi; landfill; biogas; AMDAL; UKL-UPL; pemantauan; indikator sosial-ekonomi; serta rancangan proyek pengelolaan terpadu

CV. Tahta Media Group
Sukoharjo, Jawa Tengah
Web : www.tahtamedia.co.id
Ig : tahtamediagroup
Telp/WA : +62 896 5427 3996

QRCBN : 62-415-3112-690