

MODUL AJAR

KLIMATOLOGI HUTAN

**Prinsip Atmosfer, Iklim, dan Mikroklimat
Pada Ekosistem Hutan Tropis Kalimantan**

Untuk Program Studi Kehutanan

Disusun Oleh:
Penulis : **Dr. Ir. Sari Marlina, S.Hut., M.Si.**

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PALANGKARAYA
Program Studi Kehutanan

MODUL AJAR KLIMATOLOGI HUTAN

Prinsip Atmosfer, Iklim, dan Mikroklimat pada Ekosistem Hutan Tropis Kalimantan

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

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

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

Diterbitkan oleh:

UMPR

KATA SAMBUTAN

Perkembangan ilmu kehutanan tidak dapat dilepaskan dari pemahaman yang kuat terhadap iklim, mengingat hutan dan atmosfer saling memengaruhi secara timbal balik. Kami menyambut baik hadirnya Modul Ajar Klimatologi Hutan ini sebagai bahan ajar yang disusun khusus untuk mendukung pembelajaran mahasiswa Program Studi Kehutanan, dengan penekanan pada konteks hutan tropis Kalimantan yang menjadi kekhasan sekaligus tantangan tersendiri bagi pengelolaan sumber daya hutan di wilayah ini.

Modul ini disusun dengan memadukan konsep dasar klimatologi, penerapannya pada ekosistem hutan, hingga studi kasus nyata yang terjadi di Kalimantan Tengah, termasuk persoalan kebakaran lahan gambut yang berulang kali menjadi perhatian nasional. Pendekatan semacam ini diharapkan membekali mahasiswa dengan pemahaman yang tidak hanya bersifat teoretis, tetapi juga aplikatif dan kontekstual.

Kami mengapresiasi kerja keras penulis dalam menyusun modul ajar ini secara sistematis dan mendalam. Semoga modul ini memberikan kontribusi nyata bagi peningkatan mutu pembelajaran di Program Studi Kehutanan, khususnya di Universitas Muhammadiyah Palangkaraya.

Palangka Raya, [Bulan] 2026

[Nama Dekan/Ketua Program Studi Kehutanan]

KATA PENGANTAR

Modul Ajar Klimatologi Hutan ini disusun sebagai bahan ajar utama mata kuliah Klimatologi Hutan pada Program Studi Kehutanan. Penyusunan modul berangkat dari pengalaman mengajar dan mengamati bahwa mahasiswa kehutanan memerlukan pemahaman klimatologi yang tidak berdiri sendiri, melainkan senantiasa dikaitkan dengan persoalan nyata ekosistem hutan, khususnya hutan hujan tropis dan lahan gambut yang menjadi ciri khas Kalimantan Tengah.

Materi modul disusun berjenjang, dimulai dari pengantar klimatologi, struktur atmosfer, unsur-unsur iklim (radiasi, suhu, kelembapan, tekanan udara, angin, presipitasi), evapotranspirasi dan neraca air, mikroklimat hutan, interaksi vegetasi-iklim, klasifikasi iklim, perubahan iklim global, hingga studi kasus dan panduan praktikum lapangan. Setiap bab dilengkapi ilustrasi, tabel, contoh perhitungan, serta latihan yang dirancang untuk memperdalam pemahaman konseptual sekaligus keterampilan analitis mahasiswa.

Penulis menyadari modul ini masih dapat terus disempurnakan seiring perkembangan data dan penelitian terbaru mengenai iklim dan kehutanan. Masukan dan koreksi dari sejawat dosen maupun mahasiswa sangat diharapkan demi penyempurnaan modul pada edisi mendatang. Semoga modul ini bermanfaat bagi proses belajar-mengajar dan turut berkontribusi pada pemahaman yang lebih baik mengenai hubungan iklim dan hutan, khususnya di Kalimantan Tengah.

CAPAIAN PEMBELAJARAN MATA KULIAH (CPMK)

Setelah menyelesaikan mata kuliah Klimatologi Hutan, mahasiswa Program Studi Kehutanan diharapkan memiliki capaian pembelajaran sebagai berikut:

CPMK-1: Mampu menjelaskan struktur atmosfer bumi dan unsur-unsur iklim secara ilmiah.

CPMK-2: Mampu menganalisis proses fisis pembentuk cuaca dan iklim (radiasi, suhu, kelembapan, tekanan, angin, presipitasi).

CPMK-3: Mampu menghitung dan menginterpretasikan evapotranspirasi serta neraca air secara sederhana.

CPMK-4: Mampu menjelaskan konsep mikroklimat hutan dan interaksi vegetasi-iklim.

CPMK-5: Mampu menerapkan sistem klasifikasi iklim (Koppen, Schmidt-Ferguson, Oldeman) pada data wilayah tertentu.

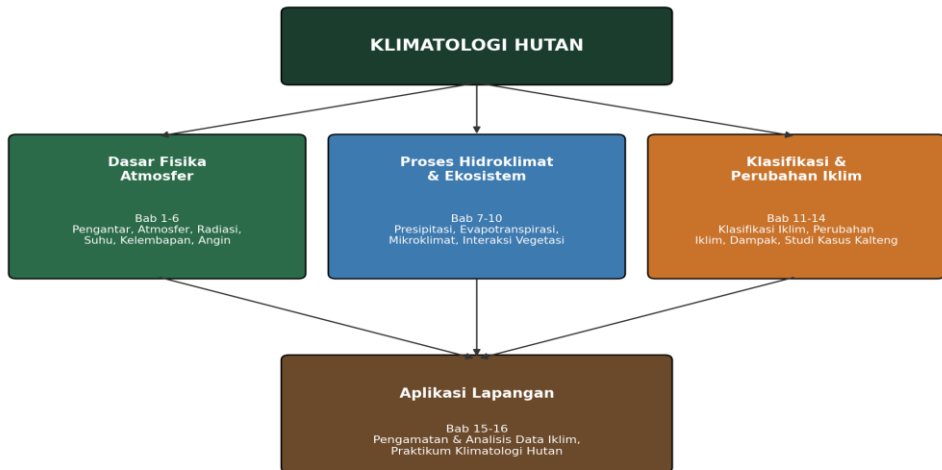
CPMK-6: Mampu menganalisis dampak perubahan iklim terhadap ekosistem hutan tropis, khususnya Kalimantan.

CPMK-7: Mampu melakukan pengamatan dan analisis data iklim melalui praktikum lapangan.

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

PETA KONSEP MATA KULIAH

Peta Konsep Mata Kuliah Klimatologi Hutan



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

Gambar 0.1 Peta konsep mata kuliah Klimatologi Hutan

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

DAFTAR ISI

KATA SAMBUTAN	3
KATA PENGANTAR.....	4
CAPAIAN PEMBELAJARAN MATA KULIAH (CPMK)	6
PETA KONSEP MATA KULIAH	7
DAFTAR ISI	8
DAFTAR GAMBAR	12
DAFTAR TABEL	13
DAFTAR SINGKATAN.....	14
BAB 1.....	15
PENGANTAR KLIMATOLOGI HUTAN	15
1.1 Mengenal Klimatologi sebagai Cabang Ilmu	15
1.2 Klimatologi vs Meteorologi: Dua Ilmu yang Sering Tertukar.....	15
1.3 Mengapa Rimbawan Perlu Memahami Iklim.....	16
1.4 Sekilas Sejarah Perkembangan Klimatologi Hutan	17
1.5 Capaian Pembelajaran dan Peta Konsep Mata Kuliah.....	18
1.6 Definisi Operasional Istilah Kunci	19
BAB 2.....	21
ATMOSFER BUMI DAN SIRKULASI GLOBAL	21
2.1 Komposisi Atmosfer dan Fungsinya bagi Kehidupan	21
2.2 Lapisan-Lapisan Atmosfer	21
2.3 Sirkulasi Atmosfer Global dan Posisi Indonesia	22
2.4 Angin Muson sebagai Pengendali Musim di Indonesia.....	23
2.5 Atmosfer dan Karakteristik Iklim Tropis	24
BAB 3.....	26
RADIASI MATAHARI DAN NERACA ENERGI	26
3.1 Radiasi Matahari sebagai Sumber Energi Utama	26
3.2 Neraca Radiasi: Ke Mana Perginya Energi Matahari.....	26
3.3 Contoh Perhitungan Sederhana: Intensitas Radiasi Berdasarkan Sudut Datang.....	27
3.4 Radiasi Matahari di Bawah Tajuk Hutan.....	28
3.5 Pengukuran Radiasi Matahari.....	29
BAB 4.....	31
SUHU UDARA	31
4.1 Apa yang Sebenarnya Diukur Ketika Kita Mengukur Suhu.....	31
4.2 Variasi Suhu Harian dan Musiman.....	31
4.3 Suhu Udara pada Ekosistem Hutan Tropis.....	32

4.4 Inversi Suhu dan Kaitannya dengan Kabut Asap	33
4.5 Contoh Perhitungan: Gradien Suhu Vertikal (Lapse Rate)	33
BAB 5.....	36
KELEMBAPAN UDARA.....	36
5.1 Tiga Cara Menyatakan Kelembapan	36
5.2 Mengapa Kelembapan Relatif Berubah Sepanjang Hari	36
5.3 Contoh Perhitungan Kelembapan Relatif Sederhana.....	37
5.4 Kelembapan Udara dalam Ekosistem Hutan	37
BAB 6.....	40
TEKANAN UDARA DAN ANGIN.....	40
6.1 Tekanan Udara: Berat Atmosfer di Atas Kepala Kita	40
6.2 Bagaimana Angin Terbentuk.....	40
6.3 Angin Lokal: Darat-Laut dan Lembah-Gunung	41
6.4 Pengaruh Angin terhadap Ekosistem Hutan	42
6.5 Pengukuran Kecepatan dan Arah Angin.....	43
BAB 7.....	45
PRESIPITASI.....	45
7.1 Dari Uap Air Menjadi Tetes Hujan	45
7.2 Tiga Tipe Utama Pembentukan Hujan	45
7.3 Pengukuran Curah Hujan	46
7.4 Pola Curah Hujan di Kalimantan Tengah.....	47
7.5 Contoh Analisis Data Curah Hujan Sederhana.....	48
BAB 8.....	50
EVAPOTRANSPIRASI DAN NERACA AIR	50
8.1 Evaporasi, Transpirasi, dan Evapotranspirasi.....	50
8.2 Metode Pendugaan Evapotranspirasi.....	50
8.3 Menyusun Neraca Air Lahan Hutan	51
8.4 Contoh Perhitungan Neraca Air Sederhana.....	52
8.5 Peran Hutan dalam Siklus Hidrologi	53
BAB 9.....	55
MIKROKLIMAT HUTAN	55
9.1 Mikroklimat: Iklim dalam Skala yang Lebih Intim	55
9.2 Struktur Tajuk dan Gradien Vertikal Mikroklimat	55
9.3 Mikroklimat Bawah Tegakan dan Serasah	56
9.4 Pengukuran Mikroklimat Hutan di Lapangan	57
BAB 10.....	59

INTERAKSI VEGETASI DAN IKLIM	59
10.1 Hutan sebagai Pelaku Aktif, Bukan Penonton Pasif.....	59
10.2 Umpan Balik Vegetasi-Iklim.....	59
10.3 Deforestasi dan Perubahan Iklim Lokal	60
10.4 Studi Kasus: Fragmentasi Hutan dan Efek Tepi (Edge Effect)	61
BAB 11	64
KLASIFIKASI IKLIM	64
11.1 Mengapa Iklim Perlu Diklasifikasikan	64
11.2 Klasifikasi Koppen	64
11.3 Klasifikasi Schmidt-Ferguson	65
11.4 Klasifikasi Oldeman	66
11.5 Perbandingan Ketiga Sistem Klasifikasi	67
BAB 12	69
PERUBAHAN IKLIM GLOBAL DAN FENOMENA EL NINO-LA NINA	69
12.1 Apa yang Dimaksud Perubahan Iklim.....	69
12.2 Bukti Ilmiah Perubahan Iklim	69
12.3 Fenomena El Nino dan La Nina	70
12.4 Dampak El Nino terhadap Kalimantan Tengah.....	71
BAB 13	74
DAMPAK PERUBAHAN IKLIM TERHADAP HUTAN	74
SERTA ADAPTASI DAN MITIGASI	74
13.1 Dampak terhadap Struktur dan Fungsi Hutan	74
13.2 Kebakaran Hutan dan Lahan sebagai Dampak Nyata	74
13.3 Dampak terhadap Keanekaragaman Hayati.....	75
13.4 Strategi Adaptasi Sektor Kehutanan.....	76
13.5 Mitigasi Berbasis Hutan	76
BAB 14	79
KLIMATOLOGI HUTAN TROPIS DAN KALIMANTAN TENGAH	79
14.1 Karakteristik Iklim Hutan Hujan Tropis.....	79
14.2 Iklim dan Ekosistem Gambut Kalimantan Tengah.....	79
14.3 Studi Kasus: Kabut Asap dan Karhutla Kalimantan Tengah.....	80
14.4 Studi Kasus: Restorasi Gambut dan Perbaikan Iklim Mikro	81
BAB 15	83
PENGAMATAN DAN ANALISIS DATA IKLIM	83
15.1 Stasiun Klimatologi: Mata dan Telinga Kita terhadap Atmosfer	83
15.2 Sumber Data Iklim Selain Pengamatan Lapangan Langsung.....	83

15.3 Teknik Analisis Data Iklim Sederhana	84
15.4 Contoh Sederhana Diagram Ombrothermik	85
BAB 16.....	87
PRAKTIKUM KLIMATOLOGI HUTAN	87
16.1 Tujuan dan Persiapan Umum Praktikum.....	87
16.2 Praktikum 1: Pengamatan Suhu dan Kelembapan Udara	88
16.3 Praktikum 2: Pengamatan Intensitas Cahaya.....	88
16.4 Praktikum 3: Pengamatan Angin dan Curah Hujan.....	89
16.5 Praktikum 4: Analisis Data Sekunder BMKG.....	89
16.6 Praktikum 5: Analisis Mikroklimat Bawah Tegakan	89
16.7 Format Laporan Praktikum.....	90
LAMPIRAN: RUBRIK PENILAIAN TUGAS DAN PRAKTIKUM	92
GLOSARIUM	93
DAFTAR PUSTAKA	95
INDEKS	97
TENTANG PENULIS.....	98

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 0.1 Peta konsep mata kuliah Klimatologi Hutan
- Gambar 2.1 Struktur vertikal lapisan atmosfer bumi
- Gambar 3.1 Ilustrasi neraca radiasi dan energi matahari di atmosfer bumi
- Gambar 6.1 Skema pembentukan angin darat dan angin laut
- Gambar 7.1 Perbandingan mekanisme hujan konvektif dan hujan orografis
- Gambar 8.1 Ilustrasi komponen neraca air lahan hutan
- Gambar 8.2 Siklus hidrologi dan peran hutan dalam evapotranspirasi
- Gambar 9.1 Ilustrasi gradien mikroklimat vertikal profil tajuk hutan hujan tropis
- Gambar 10.1 Diagram umpan balik interaksi vegetasi dan iklim
- Gambar 11.1 Kategori utama klasifikasi iklim Koppen
- Gambar 11.2 Klasifikasi tipe iklim Schmidt-Ferguson berdasarkan nilai Q
- Gambar 12.1 Skema mekanisme fenomena El Nino dan La Nina
- Gambar 16.1 Alur kerja praktikum klimatologi hutan lapangan

DAFTAR TABEL

Tabel 11.1 Perbandingan Tiga Sistem Klasifikasi Iklim yang Umum Digunakan di Indonesia

DAFTAR SINGKATAN

BMKG : Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika

IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change

WMO : World Meteorological Organization

KLHK : Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

FAO : Food and Agriculture Organization

ITCZ : Intertropical Convergence Zone

ENSO : El Nino Southern Oscillation

REDD+ : Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation

NDC : Nationally Determined Contribution

ERA5 : ECMWF Reanalysis v5 (produk data reanalysis iklim)

MPA : Masyarakat Peduli Api

PLG : Pengembangan Lahan Gambut

BAB 1

PENGANTAR KLIMATOLOGI HUTAN

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menjelaskan ruang lingkup klimatologi hutan serta kedudukannya dalam ilmu kehutanan secara umum.

1.1 Mengenal Klimatologi sebagai Cabang Ilmu

Ketika seseorang mendengar kata 'iklim', bayangan yang muncul biasanya sebatas cuaca panas, hujan, atau musim kemarau. Padahal klimatologi jauh lebih luas dari itu. Klimatologi adalah cabang ilmu yang mempelajari kondisi rata-rata atmosfer pada suatu wilayah dalam kurun waktu yang panjang, biasanya minimal 30 tahun, sehingga pola-pola yang muncul benar-benar mencerminkan karakteristik iklim, bukan sekadar fluktuasi cuaca sesaat.

Bagi mahasiswa Kehutanan, memahami klimatologi bukan pekerjaan yang terpisah dari kajian vegetasi, tanah, atau satwa liar. Justru sebaliknya, iklim menjadi salah satu faktor pembentuk utama yang menentukan jenis hutan apa yang bisa tumbuh di suatu tempat, seberapa cepat pertumbuhannya, dan bagaimana ekosistem tersebut merespons gangguan seperti kekeringan atau kebakaran. Tanpa bekal klimatologi yang memadai, seorang rimbawan akan kesulitan membaca gejala-gejala perubahan yang terjadi di lapangan.

Di Fakultas Teknik dan Kehutanan Universitas Muhammadiyah Palangkaraya, mata kuliah ini sengaja ditempatkan pada semester awal program studi Kehutanan, karena pemahaman tentang iklim akan terus dipakai pada mata kuliah lanjutan seperti ekologi hutan, silvikultur, hingga pengelolaan daerah aliran sungai.

1.2 Klimatologi vs Meteorologi: Dua Ilmu yang Sering Tertukar

Banyak orang menganggap klimatologi dan meteorologi adalah hal yang sama, padahal keduanya memiliki penekanan yang berbeda meski saling berkaitan erat. Meteorologi berurusan dengan kondisi atmosfer jangka pendek, dalam hitungan jam hingga beberapa hari, dan menjadi dasar bagi peramalan cuaca yang biasa kita lihat di televisi atau aplikasi ponsel. Klimatologi, di sisi lain, menelaah pola jangka panjang yang terbentuk dari akumulasi data cuaca selama bertahun-tahun.

Sebagai gambaran sederhana, ketika BMKG menyatakan 'besok akan turun hujan lebat di Palangka Raya', itu adalah informasi meteorologi. Namun ketika dikatakan 'Kalimantan Tengah memiliki iklim tropis basah dengan curah hujan tahunan rata-rata di atas 2.500 mm', itu sudah masuk ranah klimatologi karena didasarkan pada data historis jangka panjang.

Perbedaan skala waktu ini penting dipahami sejak awal, sebab keduanya menggunakan data dan instrumen yang serupa, namun tujuan analisisnya berbeda. Rimbawan yang bekerja di lapangan sering memerlukan kedua jenis informasi tersebut secara bersamaan: data meteorologi harian untuk perencanaan operasional (misalnya jadwal penanaman atau kewaspadaan kebakaran), dan data klimatologi untuk perencanaan jangka panjang seperti pemilihan jenis pohon yang akan ditanam.

1.3 Mengapa Rimbawan Perlu Memahami Iklim

Ada alasan konkret mengapa klimatologi menjadi mata kuliah wajib di program studi Kehutanan. Pertumbuhan pohon, misalnya, sangat dipengaruhi oleh suhu, curah hujan, dan intensitas cahaya matahari yang diterimanya.

Spesies seperti Meranti (*Shorea spp.*) tumbuh optimal pada kondisi iklim tropis lembap dengan curah hujan merata sepanjang tahun, sementara jenis-jenis tertentu justru memerlukan periode kering yang jelas untuk merangsang pembungaan.

Selain aspek pertumbuhan, iklim juga menentukan tingkat kerawanan suatu kawasan hutan terhadap gangguan. Kebakaran hutan dan lahan di Kalimantan, misalnya, cenderung meningkat tajam pada tahun-tahun El Nino ketika musim kemarau berlangsung lebih panjang dan lebih kering dari biasanya. Tanpa pemahaman tentang pola iklim ini, upaya pencegahan kebakaran akan sulit direncanakan secara tepat waktu.

Dalam praktik pengelolaan hutan modern, data iklim juga menjadi masukan penting bagi pemodelan potensi karbon, perencanaan rehabilitasi lahan kritis, hingga penyusunan dokumen analisis mengenai dampak lingkungan. Singkatnya, klimatologi bukan sekadar teori di ruang kelas, melainkan alat kerja yang akan terus dipakai sepanjang karier seorang rimbawan.

1.4 Sekilas Sejarah Perkembangan Klimatologi Hutan

Kajian tentang hubungan iklim dan hutan sesungguhnya sudah berlangsung lama, jauh sebelum istilah 'klimatologi hutan' dipopulerkan secara akademik. Para ahli kehutanan Eropa pada abad ke-19 sudah mencatat bagaimana hutan memengaruhi suhu dan kelembapan udara di sekitarnya, meski penjelasan ilmiahnya belum sepenuhnya matang seperti sekarang.

Perkembangan pesat terjadi setelah pertengahan abad ke-20, ketika instrumen pengukuran cuaca semakin presisi dan mulai dipasang di dalam

tegakan hutan, bukan hanya di lahan terbuka. Penelitian mikroklimat oleh Rudolf Geiger melalui karyanya yang berjudul 'The Climate Near the Ground' menjadi salah satu rujukan penting yang hingga kini masih relevan dipelajari mahasiswa kehutanan di berbagai negara.

Di Indonesia, kajian klimatologi hutan berkembang seiring meningkatnya perhatian terhadap deforestasi dan perubahan iklim sejak akhir 1990-an, terutama setelah kebakaran hutan besar tahun 1997/1998 yang menyadarkan banyak pihak bahwa hutan dan iklim saling memengaruhi secara dua arah: hutan dipengaruhi iklim, namun kerusakan hutan juga turut mengubah pola iklim lokal.

1.5 Capaian Pembelajaran dan Peta Konsep Mata Kuliah

Mata kuliah Klimatologi Hutan dirancang agar mahasiswa mampu memahami unsur-unsur cuaca dan iklim, menganalisis interaksi antara vegetasi hutan dengan atmosfer, serta menerapkan pengetahuan tersebut pada persoalan nyata di lapangan, khususnya pada konteks hutan tropis Kalimantan. Kompetensi ini menjadi fondasi bagi mata kuliah lanjutan seperti Ekologi Hutan, Silvikultur, dan Konservasi Sumber Daya Hutan.

- Menjelaskan struktur atmosfer dan unsur-unsur iklim secara ilmiah;
- Menganalisis proses fisis pembentuk cuaca (radiasi, suhu, kelembapan, tekanan, angin, presipitasi);
- Menghitung dan menginterpretasikan neraca air serta evapotranspirasi secara sederhana;
- Menjelaskan konsep mikroklimat hutan dan interaksi vegetasi-iklim;

- Menerapkan sistem klasifikasi iklim (Koppen, Schmidt-Ferguson, Oldeman) pada data wilayah tertentu;
- Menganalisis fenomena perubahan iklim serta dampaknya terhadap ekosistem hutan tropis, khususnya Kalimantan;
- Melakukan pengamatan dan analisis data iklim sederhana melalui kegiatan praktikum lapangan.

1.6 Definisi Operasional Istilah Kunci

Sebelum melangkah lebih jauh, ada baiknya beberapa istilah yang akan sering muncul di sepanjang modul ini disepakati maknanya terlebih dahulu. 'Cuaca' merujuk pada kondisi atmosfer pada waktu dan tempat tertentu yang bersifat sesaat dan mudah berubah dalam hitungan jam. 'Iklim' merujuk pada pola rata-rata cuaca dalam jangka panjang, umumnya 30 tahun sebagai standar klimatologis menurut World Meteorological Organization (WMO). 'Mikroklimat' merujuk pada kondisi iklim pada skala ruang yang sangat sempit, misalnya di bawah tajuk pohon, yang bisa sangat berbeda dari iklim wilayah secara umum.

Istilah lain yang akan sering dipakai adalah 'unsur iklim', yaitu komponen-komponen terukur seperti suhu, kelembapan, curah hujan, tekanan udara, dan angin, serta 'faktor iklim' yang merujuk pada hal-hal yang memengaruhi unsur iklim tersebut, seperti letak lintang, ketinggian tempat, dan tutupan vegetasi.

KATA KUNCI

Klimatologi • Meteorologi • Cuaca • Iklim • Mikroklimat

RINGKASAN BAB

Bab ini memperkenalkan klimatologi sebagai ilmu yang mempelajari pola atmosfer jangka panjang, membedakannya dari meteorologi yang berfokus pada cuaca jangka pendek, serta menegaskan relevansinya bagi kompetensi seorang rimbawan dalam memahami pertumbuhan vegetasi, risiko kebakaran, dan perencanaan pengelolaan hutan.

Latihan / Evaluasi

1. Jelaskan perbedaan mendasar antara cuaca dan iklim beserta contohnya.
2. Mengapa mahasiswa Kehutanan perlu mempelajari klimatologi secara khusus?

Soal Diskusi

Diskusikan dalam kelompok kecil: bagaimana pemahaman klimatologi dapat membantu seorang rimbawan mencegah kebakaran lahan di kawasan gambut?

Refleksi

Tuliskan satu pengalaman pribadi Anda mengamati perubahan cuaca yang memengaruhi aktivitas sehari-hari, lalu kaitkan dengan konsep klimatologi yang telah dipelajari.

Tugas Individu

Buatlah ringkasan satu halaman mengenai sejarah perkembangan klimatologi hutan di Indonesia berdasarkan sumber tambahan yang Anda cari sendiri.

Tugas Kelompok

Susun peta konsep (mind map) yang menghubungkan seluruh topik yang akan dipelajari sepanjang satu semester mata kuliah ini.

BAB 2

ATMOSFER BUMI DAN SIRKULASI GLOBAL

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menjelaskan struktur, komposisi, dan sirkulasi atmosfer bumi serta kaitannya dengan iklim wilayah tropis.

2.1 Komposisi Atmosfer dan Fungsinya bagi Kehidupan

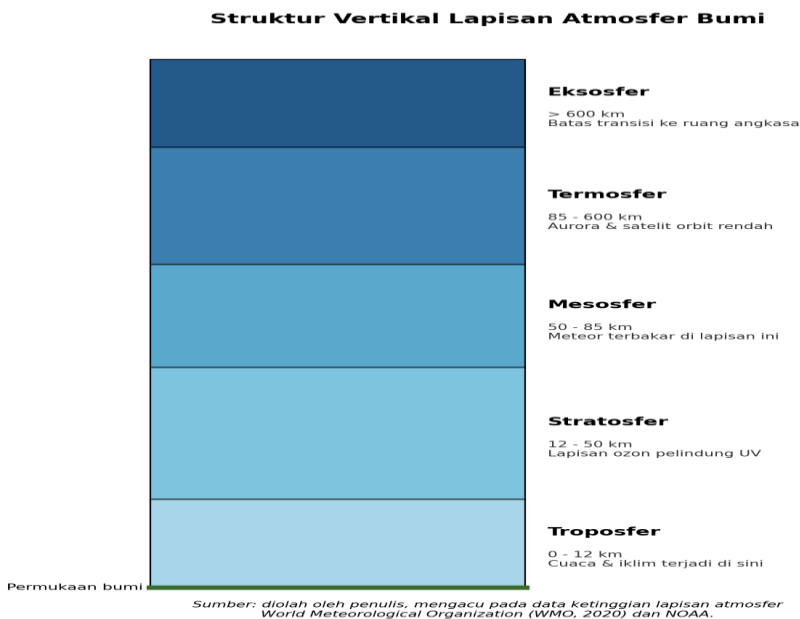
Atmosfer bumi tersusun dari campuran gas yang didominasi nitrogen (sekitar 78%) dan oksigen (sekitar 21%), sementara sisanya diisi oleh argon, karbon dioksida, uap air, dan berbagai gas dalam jumlah renik. Meski proporsinya kecil, karbon dioksida dan uap air memainkan peran jauh lebih besar dari yang dibayangkan orang awam, karena keduanya adalah gas rumah kaca utama yang mengatur suhu permukaan bumi melalui mekanisme penyerapan dan pemancaran kembali radiasi gelombang panjang.

Bagi ekosistem hutan, komposisi atmosfer ini bukan sekadar latar belakang pasif. Karbon dioksida menjadi bahan baku fotosintesis, sementara uap air menjadi sumber presipitasi yang menghidupi seluruh vegetasi. Hutan hujan tropis, termasuk yang tersebar luas di Kalimantan Tengah, bahkan turut memengaruhi komposisi atmosfer lokal melalui proses evapotranspirasi masif yang dilakukan jutaan pohon secara serentak.

2.2 Lapisan-Lapisan Atmosfer

Berdasarkan perubahan suhu terhadap ketinggian, atmosfer terbagi menjadi beberapa lapisan yang masing-masing memiliki karakteristik berbeda. Troposfer merupakan lapisan terbawah, membentang dari permukaan bumi hingga sekitar 12 kilometer di wilayah tropis, dan menjadi tempat berlangsungnya hampir seluruh fenomena cuaca yang kita kenal sehari-hari: awan, hujan, angin, hingga badai.

Di atas troposfer terdapat stratosfer yang menyimpan lapisan ozon pelindung radiasi ultraviolet, kemudian mesosfer, termosfer, dan eksosfer sebagai lapisan-lapisan terluar yang jauh dari jangkauan aktivitas cuaca permukaan. Bagi kajian klimatologi hutan, perhatian utama tentu tertuju pada troposfer, karena di lapisan inilah interaksi antara vegetasi hutan dan atmosfer benar-benar terjadi.



Gambar 2.1 Struktur vertikal lapisan atmosfer bumi

Sumber: diolah oleh penulis, mengacu pada data ketinggian lapisan atmosfer World Meteorological Organization (WMO, 2020) dan NOAA.

[Gambar 2.2 Awan berlapis di langit tropis menjelang senja]

Foto belum disisipkan — silakan lengkapi dengan foto asli berlisensi bebas/berizin.

Kata kunci Google Images: "layered clouds tropical sky sunset Indonesia"

2.3 Sirkulasi Atmosfer Global dan Posisi Indonesia

Perbedaan pemanasan matahari antara wilayah ekuator dan kutub menggerakkan massa udara dalam pola sirkulasi berskala global yang dikenal

sebagai sel Hadley, sel Ferrel, dan sel Polar. Wilayah ekuator, tempat Indonesia berada, menerima radiasi matahari paling intensif sepanjang tahun sehingga menjadi pusat pengangkatan massa udara hangat dan lembap ke lapisan atmosfer atas, yang kemudian membentuk zona pertemuan angin pasat dari belahan bumi utara dan selatan.

Zona ini dikenal sebagai Zona Konvergensi Antar-Tropis atau Intertropical Convergence Zone (ITCZ), yang pergerakannya sepanjang tahun turut menentukan pola musim hujan dan kemarau di Indonesia, termasuk Kalimantan. Ketika ITCZ berada di belahan bumi selatan, wilayah Kalimantan Tengah umumnya memasuki musim hujan; sebaliknya ketika ITCZ bergeser ke utara, musim kemarau lebih dominan dirasakan.

2.4 Angin Muson sebagai Pengendali Musim di Indonesia

Selain ITCZ, pola musim di Indonesia juga sangat dipengaruhi oleh sistem angin muson yang terbentuk akibat perbedaan pemanasan antara daratan Asia dan Australia sepanjang tahun. Pada periode Oktober hingga Maret, angin muson barat membawa massa udara lembap dari Samudra Hindia dan Asia menuju Indonesia, menghasilkan musim hujan di sebagian besar wilayah termasuk Kalimantan Tengah.

Sebaliknya, pada periode April hingga September, angin muson timur/tenggara yang berasal dari daratan Australia yang relatif kering membawa udara dengan kelembapan lebih rendah, sehingga memicu musim kemarau. Pemahaman terhadap siklus muson ini penting bagi perencanaan kegiatan

kehutanan, mulai dari penentuan waktu tanam, jadwal pemeliharaan, hingga kesiapsiagaan menghadapi risiko kebakaran lahan pada puncak musim kemarau.

2.5 Atmosfer dan Karakteristik Iklim Tropis

Wilayah tropis, termasuk Kalimantan Tengah, memiliki ciri atmosfer yang cukup khas dibandingkan wilayah lintang tinggi: variasi suhu tahunan relatif kecil, sementara variasi curah hujan antar-musim justru jauh lebih menonjol. Suhu rata-rata bulanan di Palangka Raya misalnya, umumnya hanya berbeda dua hingga tiga derajat Celsius sepanjang tahun, sangat berbeda dengan wilayah subtropis yang bisa mengalami perbedaan suhu puluhan derajat antara musim panas dan musim dingin.

Karakteristik atmosfer tropis yang hangat dan lembap sepanjang tahun inilah yang memungkinkan tumbuhnya hutan hujan tropis dengan keanekaragaman hayati yang sangat tinggi, karena tumbuhan tidak perlu beradaptasi terhadap fluktuasi suhu ekstrem seperti di wilayah beriklim sedang atau dingin.

KATA KUNCI

Atmosfer • Troposfer • Sirkulasi Global • ITCZ • Angin Muson

RINGKASAN BAB

Bab ini menguraikan komposisi dan struktur lapisan atmosfer, mekanisme sirkulasi global yang digerakkan perbedaan pemanasan matahari, serta peran Zona Konvergensi Antar-Tropis dan angin muson dalam membentuk pola musim di Kalimantan Tengah.

Latihan / Evaluasi

1. Sebutkan lima lapisan atmosfer beserta ciri utamanya.

2. Jelaskan bagaimana ITCZ memengaruhi pola musim hujan dan kemarau di Kalimantan Tengah.

Soal Diskusi

Diskusikan mengapa wilayah ekuator seperti Kalimantan memiliki variasi suhu tahunan yang jauh lebih kecil dibandingkan wilayah lintang tinggi.

Refleksi

Menurut Anda, bagaimana pemahaman tentang sirkulasi atmosfer global dapat membantu memprediksi pola kebakaran hutan musiman di Kalimantan Tengah?

Tugas Individu

Gambarkan secara sederhana pergerakan ITCZ sepanjang tahun dan kaitkan dengan pola musim di wilayah tempat tinggal Anda.

Tugas Kelompok

Diskusikan dan presentasikan bagaimana angin muson barat dan timur memengaruhi jadwal kegiatan kehutanan di Kalimantan Tengah.

BAB 3

RADIASI MATAHARI DAN NERACA ENERGI

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menjelaskan proses radiasi matahari, neraca energi bumi, serta pengaruhnya terhadap ekosistem hutan.

3.1 Radiasi Matahari sebagai Sumber Energi Utama

Hampir seluruh proses cuaca dan iklim di bumi berawal dari satu sumber energi: radiasi matahari. Energi ini dipancarkan dalam bentuk gelombang elektromagnetik dengan berbagai panjang gelombang, mulai dari sinar ultraviolet, cahaya tampak, hingga inframerah. Dari total energi yang dipancarkan matahari, hanya sebagian kecil yang sampai ke bumi, namun jumlah tersebut sudah lebih dari cukup untuk menggerakkan seluruh sistem iklim planet ini.

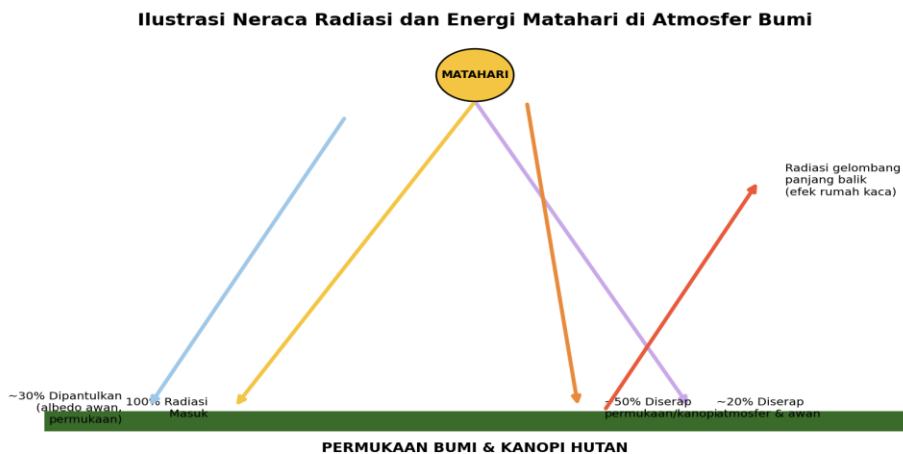
Intensitas radiasi matahari yang diterima suatu wilayah tidak seragam, melainkan dipengaruhi oleh sudut datang sinar matahari, lama penyinaran, ketebalan atmosfer yang dilalui, serta kondisi awan. Wilayah ekuator seperti Kalimantan menerima radiasi matahari dengan sudut datang yang relatif tegak sepanjang tahun, menjadikannya salah satu wilayah dengan input energi matahari tertinggi di permukaan bumi.

3.2 Neraca Radiasi: Ke Mana Perginya Energi Matahari

Dari seratus persen radiasi matahari yang mencapai batas atas atmosfer, tidak semuanya sampai ke permukaan bumi. Sebagian dipantulkan kembali ke angkasa oleh awan dan partikel di atmosfer (disebut albedo), sebagian diserap oleh gas-gas atmosfer, dan sisanya baru mencapai permukaan bumi, termasuk kanopi hutan. Energi yang diserap permukaan ini kemudian dipancarkan

kembali dalam bentuk radiasi gelombang panjang (inframerah), yang sebagian besar ditahan oleh gas rumah kaca di atmosfer sebelum lolos ke angkasa luar.

Proses inilah yang dikenal sebagai efek rumah kaca alami, yang sesungguhnya sangat penting bagi kehidupan karena tanpanya suhu rata-rata bumi akan jauh lebih dingin, diperkirakan sekitar minus 18 derajat Celsius. Persoalan muncul ketika konsentrasi gas rumah kaca meningkat akibat aktivitas manusia, sehingga jumlah energi yang tertahan di atmosfer menjadi berlebih dan memicu pemanasan global.



Sumber: diolah oleh penulis, mengacu pada konsep neraca energi bumi IPCC AR6 WG1 (2021) dan Kiehl & Trenberth (1997, prinsip umum).

Gambar 3.1 Ilustrasi neraca radiasi dan energi matahari di atmosfer bumi

Sumber: diolah oleh penulis, mengacu pada konsep neraca energi bumi IPCC AR6 WG1 (2021) dan prinsip umum Kiehl & Trenberth (1997).

3.3 Contoh Perhitungan Sederhana: Intensitas Radiasi Berdasarkan Sudut Datang

Salah satu prinsip dasar yang perlu dipahami mahasiswa adalah bagaimana sudut datang sinar matahari memengaruhi intensitas radiasi yang diterima suatu permukaan. Secara sederhana, intensitas radiasi pada suatu bidang mengikuti

hukum kosinus Lambert, yaitu $I = I_0 \times \cos(\theta)$, dengan I_0 adalah intensitas radiasi pada sudut datang tegak lurus dan θ adalah sudut antara sinar datang dengan garis normal permukaan.

Sebagai ilustrasi, apabila intensitas radiasi matahari pada sudut tegak lurus ($\theta=0^\circ$) tercatat sebesar 1000 watt per meter persegi, maka pada sudut datang 30° derajat dari garis normal, intensitas yang diterima permukaan tersebut menjadi $1000 \times \cos(30^\circ) = 1000 \times 0,866 = 866$ watt per meter persegi. Perhitungan sederhana semacam ini membantu menjelaskan mengapa radiasi matahari di wilayah ekuator, dengan sudut datang yang hampir selalu mendekati tegak lurus, jauh lebih intensif dibandingkan wilayah lintang tinggi.

3.4 Radiasi Matahari di Bawah Tajuk Hutan

Salah satu keunikan ekosistem hutan adalah kemampuannya memodifikasi radiasi matahari yang sampai ke lantai hutan secara drastis. Tajuk pohon yang berlapis-lapis pada hutan hujan tropis menyerap dan memantulkan sebagian besar radiasi matahari, sehingga hanya sebagian kecil, kadang kurang dari 5 persen, yang benar-benar mencapai lantai hutan dalam bentuk cahaya langsung. Sebagian besar cahaya yang sampai ke bawah justru berupa bercak cahaya (sunfleck) yang muncul sesaat ketika celah tajuk terbuka akibat gerakan angin.

Fenomena ini memiliki konsekuensi ekologis yang besar. Tumbuhan bawah (understory) yang hidup di lantai hutan harus beradaptasi terhadap kondisi cahaya rendah, sering kali dengan daun yang lebih lebar dan tipis untuk memaksimalkan penyerapan cahaya yang terbatas. Sebaliknya, spesies pionir

yang tumbuh di area terbuka bekas tebangan atau kebakaran justru memerlukan intensitas cahaya tinggi untuk dapat berkecambah dan tumbuh dengan baik.

[Gambar 3.4 Sinar matahari menembus celah kanopi hutan hujan tropis (sunfleck)]

Foto belum disisipkan — silakan lengkapi dengan foto asli berlisensi bebas/berizin.

Kata kunci Google Images: "sunlight through rainforest canopy sunbeam Indonesia"

3.5 Pengukuran Radiasi Matahari

Pengukuran radiasi matahari di lapangan umumnya menggunakan instrumen yang disebut piranometer (pyranometer) untuk mengukur radiasi gelombang pendek total yang diterima suatu permukaan horizontal, serta piheliometer untuk mengukur radiasi langsung dari arah matahari. Pada kajian klimatologi hutan, pengukuran sering pula dilakukan menggunakan sensor cahaya sederhana (lux meter atau quantum sensor) yang dipasang pada berbagai ketinggian tajuk untuk mengamati gradien intensitas cahaya dari puncak kanopi hingga lantai hutan.

Stasiun klimatologi milik BMKG di berbagai wilayah Indonesia, termasuk yang beroperasi di Kalimantan Tengah, secara rutin mencatat data lama penyinaran matahari menggunakan alat Campbell Stokes, sebuah instrumen sederhana namun efektif berupa bola kaca yang memfokuskan sinar matahari pada kertas pias sehingga meninggalkan jejak bakar yang menunjukkan durasi penyinaran matahari harian.

[Gambar 3.5 Alat pengukur lama penyinaran matahari Campbell Stokes di stasiun klimatologi]

Foto belum disisipkan — silakan lengkapi dengan foto asli berlisensi bebas/berizin.

Kata kunci Google Images: "Campbell Stokes sunshine recorder weather station"

KATA KUNCI

Radiasi Matahari • Neraca Radiasi • Albedo • Efek Rumah Kaca • Sunfleck

RINGKASAN BAB

Bab ini membahas radiasi matahari sebagai sumber energi utama sistem iklim, mekanisme neraca radiasi di atmosfer, contoh perhitungan intensitas radiasi berdasarkan sudut datang, serta modifikasi radiasi oleh tajuk hutan yang menciptakan kondisi cahaya rendah di lantai hutan.

Latihan / Evaluasi

1. Hitunglah intensitas radiasi pada sudut datang 45 derajat apabila intensitas pada sudut tegak lurus adalah 900 W/m^2 .
2. Jelaskan mengapa hanya sebagian kecil cahaya matahari yang mencapai lantai hutan hujan tropis.

Soal Diskusi

Diskusikan dampak berkurangnya tajuk hutan (akibat penebangan) terhadap intensitas radiasi yang diterima lantai hutan dan implikasinya bagi regenerasi alami.

Refleksi

Refleksikan bagaimana efek rumah kaca alami berbeda dari pemanasan global yang disebabkan aktivitas manusia.

Tugas Individu

Hitung dan jelaskan perbedaan intensitas radiasi matahari pada pukul 09.00 dan pukul 12.00 di wilayah Anda menggunakan prinsip sudut datang matahari.

Tugas Kelompok

Rancang skema sederhana pengukuran intensitas cahaya pada tiga ketinggian berbeda di bawah tajuk pohon menggunakan alat yang tersedia di kampus.

BAB 4

SUHU UDARA

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menjelaskan konsep, pengukuran, dan variasi suhu udara pada ekosistem hutan tropis.

4.1 Apa yang Sebenarnya Diukur Ketika Kita Mengukur Suhu

Suhu udara adalah ukuran energi kinetik rata-rata molekul-molekul gas penyusun atmosfer. Semakin cepat molekul-molekul tersebut bergerak, semakin tinggi suhu yang terukur. Meski terdengar sederhana, pengukuran suhu udara yang akurat sebenarnya memerlukan perhatian pada banyak detail teknis, seperti penempatan alat ukur pada ketinggian standar (biasanya 1,25 hingga 2 meter di atas permukaan tanah), perlindungan dari radiasi matahari langsung menggunakan sangkar meteorologi, serta sirkulasi udara yang cukup di sekitar sensor.

Kesalahan penempatan termometer, misalnya diletakkan terlalu dekat dengan permukaan aspal atau terkena sinar matahari langsung tanpa naungan, dapat menghasilkan pembacaan yang jauh menyimpang dari suhu udara sesungguhnya. Inilah sebabnya stasiun klimatologi resmi selalu menggunakan sangkar Stevenson berwarna putih yang dirancang khusus untuk melindungi termometer dari radiasi langsung sekaligus tetap memungkinkan sirkulasi udara.

[Gambar 4.1 Sangkar meteorologi Stevenson berisi termometer di stasiun cuaca]

Foto belum disisipkan — silakan lengkapi dengan foto asli berlisensi bebas/berizin.

Kata kunci Google Images: "Stevenson screen weather station thermometer"

4.2 Variasi Suhu Harian dan Musiman

Suhu udara mengalami fluktuasi harian yang khas: mulai meningkat setelah matahari terbit, mencapai puncaknya sekitar pukul 13.00 hingga 14.00 waktu setempat (bukan tepat tengah hari, karena ada jeda waktu akumulasi panas), kemudian menurun perlahan hingga mencapai titik terendah menjelang matahari terbit keesokan harinya. Pola ini dikenal sebagai variasi diurnal suhu udara.

Di wilayah tropis seperti Kalimantan Tengah, variasi suhu musiman jauh lebih kecil dibandingkan variasi harian. Selisih suhu rata-rata antara bulan terpanas dan terdingin sepanjang tahun umumnya hanya berkisar dua hingga tiga derajat Celsius, sementara selisih suhu antara siang dan malam pada hari yang sama bisa mencapai delapan hingga sepuluh derajat Celsius, terutama pada musim kemarau dengan langit cerah tanpa tutupan awan.

4.3 Suhu Udara pada Ekosistem Hutan Tropis

Keberadaan tajuk hutan memberikan efek peneduh yang signifikan terhadap suhu udara di bawahnya. Pengukuran di berbagai kawasan hutan hujan tropis menunjukkan bahwa suhu udara di lantai hutan pada siang hari dapat lebih rendah dua hingga lima derajat Celsius dibandingkan area terbuka pada lokasi yang sama, karena tajuk pohon menyerap sebagian besar radiasi matahari sebelum mencapai permukaan tanah.

Sebaliknya, pada malam hari, suhu di bawah tajuk hutan cenderung lebih hangat dan stabil dibandingkan area terbuka, karena tutupan tajuk menghambat pelepasan radiasi gelombang panjang dari permukaan tanah ke atmosfer (mengurangi pendinginan radiatif). Efek penyangga suhu inilah yang membuat

kondisi mikroklimat di dalam hutan cenderung lebih stabil dan nyaman bagi banyak spesies flora dan fauna dibandingkan area terbuka bekas tebangan.

4.4 Inversi Suhu dan Kaitannya dengan Kabut Asap

Dalam kondisi normal, suhu udara menurun seiring bertambahnya ketinggian. Namun pada malam hari yang cerah dan berangin tenang, terutama pada musim kemarau, dapat terjadi fenomena kebalikannya yang disebut inversi suhu, yaitu lapisan udara dekat permukaan justru lebih dingin dibandingkan lapisan di atasnya. Kondisi ini terjadi karena permukaan tanah kehilangan panas dengan cepat melalui radiasi pada malam hari tanpa tutupan awan yang menahannya.

Fenomena inversi suhu memiliki relevansi penting bagi persoalan kabut asap kebakaran lahan yang kerap melanda Kalimantan Tengah. Lapisan inversi bertindak seperti 'tutup panci' yang menjebak asap dan polutan di dekat permukaan tanah, mencegahnya bercampur dan menyebar ke lapisan atmosfer yang lebih tinggi. Inilah salah satu alasan mengapa kabut asap sering terasa paling pekat pada pagi hari, sebelum matahari cukup tinggi untuk memecah lapisan inversi tersebut.

4.5 Contoh Perhitungan: Gradien Suhu Vertikal (Lapse Rate)

Salah satu konsep penting dalam klimatologi adalah laju penurunan suhu terhadap ketinggian, yang disebut lapse rate. Pada kondisi atmosfer standar, suhu udara menurun sekitar 6,5 derajat Celsius setiap kenaikan 1000 meter (dikenal sebagai environmental lapse rate rata-rata global), meski nilai ini dapat bervariasi tergantung kondisi kelembapan udara.

Sebagai latihan sederhana, apabila suhu udara di permukaan laut tercatat 30 derajat Celsius, maka perkiraan suhu pada ketinggian 1500 meter di atas permukaan laut dapat dihitung sebagai berikut: penurunan suhu = $1,5 \times 6,5^{\circ}\text{C} = 9,75^{\circ}\text{C}$, sehingga suhu perkiraan pada ketinggian tersebut adalah $30^{\circ}\text{C} - 9,75^{\circ}\text{C} = 20,25^{\circ}\text{C}$. Perhitungan semacam ini bermanfaat bagi rimbawan yang bekerja di kawasan berbukit atau pegunungan, misalnya untuk memperkirakan kesesuaian iklim bagi jenis tanaman tertentu pada ketinggian yang berbeda.

KATA KUNCI

Suhu Udara • Variasi Diurnal • Inversi Suhu • Lapse Rate • Sangkar Meteorologi

RINGKASAN BAB

Bab ini membahas konsep dasar suhu udara, pola variasi harian dan musiman, karakteristik suhu pada ekosistem hutan tropis, fenomena inversi suhu yang berkaitan dengan pemerangkapan kabut asap, serta contoh perhitungan gradien suhu vertikal (lapse rate).

Latihan / Evaluasi

1. Hitung perkiraan suhu udara pada ketinggian 800 meter apabila suhu di permukaan laut 31°C , menggunakan lapse rate standar.
2. Jelaskan mengapa suhu di bawah tajuk hutan pada malam hari cenderung lebih hangat dibandingkan area terbuka.

Soal Diskusi

Diskusikan keterkaitan antara fenomena inversi suhu dengan tingkat keparahan kabut asap yang dirasakan masyarakat pada pagi hari.

Refleksi

Ingat kembali pengalaman Anda berada di dalam hutan pada siang hari yang terik. Bagaimana perbedaan suhu yang Anda rasakan dibandingkan area terbuka?

Tugas Individu

Catat suhu udara di tiga lokasi berbeda (dalam ruangan, area terbuka, dan area bertajuk pohon) pada waktu yang sama, lalu jelaskan penyebab perbedaannya.

Tugas Kelompok

Diskusikan dan susun strategi sederhana pemantauan suhu untuk deteksi dini kondisi rawan kebakaran pada musim kemarau.

BAB 5

KELEMBAPAN UDARA

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menjelaskan konsep, jenis, pengukuran, dan peran kelembapan udara dalam ekosistem hutan.

5.1 Tiga Cara Menyatakan Kelembapan

Kelembapan udara sering disebutkan sehari-hari dalam persentase, misalnya 'kelembapan hari ini 80 persen', namun di balik angka tunggal itu sebenarnya terdapat beberapa cara berbeda untuk menyatakan kandungan uap air di udara. Kelembapan absolut menyatakan massa uap air per satuan volume udara, biasanya dalam gram per meter kubik. Kelembapan spesifik menyatakan massa uap air per satuan massa udara lembap, dinyatakan dalam gram per kilogram.

Yang paling sering digunakan dalam laporan cuaca sehari-hari adalah kelembapan relatif, yaitu perbandingan antara jumlah uap air yang sesungguhnya terkandung di udara dengan jumlah maksimum uap air yang dapat ditampung udara pada suhu tersebut, dinyatakan dalam persen. Karena kapasitas udara menampung uap air sangat bergantung pada suhu, kelembapan relatif dapat berubah signifikan sepanjang hari meski jumlah uap air aktual di udara relatif konstan.

5.2 Mengapa Kelembapan Relatif Berubah Sepanjang Hari

Udara yang lebih hangat mampu menampung uap air jauh lebih banyak dibandingkan udara dingin. Konsekuensinya, pada pagi hari ketika suhu udara masih rendah, kelembapan relatif cenderung tinggi bahkan bisa mendekati 100 persen, meski jumlah uap air aktual di udara tidak bertambah dibandingkan siang hari. Begitu matahari semakin tinggi dan suhu udara meningkat, kapasitas udara

menampung uap air ikut bertambah, sehingga kelembapan relatif menurun meski kandungan uap air aktualnya relatif tetap.

Pemahaman ini penting untuk menghindari kesalahpahaman umum bahwa kelembapan relatif yang tinggi selalu berarti 'udara basah'. Pada kenyataannya, angka kelembapan relatif hanya bermakna jika disandingkan dengan informasi suhu udara pada saat pengukuran dilakukan.

5.3 Contoh Perhitungan Kelembapan Relatif Sederhana

Kelembapan relatif dapat dihitung dengan rumus $RH = (e/es) \times 100\%$, di mana e adalah tekanan uap air aktual dan es adalah tekanan uap jenuh pada suhu udara tersebut. Sebagai ilustrasi sederhana, apabila pada suhu 27°C tekanan uap jenuh (es) tercatat sebesar 35,7 hPa, sementara tekanan uap aktual (e) yang terukur adalah 28,5 hPa, maka kelembapan relatif dapat dihitung sebagai berikut: $RH = (28,5/35,7) \times 100\% = 79,8\%$, dibulatkan menjadi sekitar 80%.

Di lapangan, pengukuran kelembapan relatif umumnya tidak dilakukan melalui perhitungan manual seperti di atas, melainkan menggunakan instrumen higrometer atau psikrometer yang membaca kelembapan secara langsung berdasarkan perbedaan suhu bola basah dan bola kering, atau melalui sensor kelembapan elektronik modern yang kini banyak digunakan pada stasiun cuaca otomatis.

[Gambar 5.3 Higrometer dan psikrometer bola basah-bola kering di stasiun cuaca]

Foto belum disisipkan — silakan lengkapi dengan foto asli berlisensi bebas/berizin.

Kata kunci Google Images: "hygrometer psychrometer wet bulb dry bulb weather station"

5.4 Kelembapan Udara dalam Ekosistem Hutan

Salah satu ciri khas ekosistem hutan hujan tropis adalah kelembapan udara yang tinggi dan relatif stabil sepanjang hari, terutama di bawah tajuk yang rapat. Proses evapotranspirasi dari jutaan daun yang melepaskan uap air ke atmosfer, ditambah rendahnya sirkulasi udara di bawah tajuk yang menghambat pertukaran udara dengan lapisan atas, menciptakan lingkungan mikro dengan kelembapan relatif yang sering bertahan di atas 80 hingga 90 persen sepanjang hari.

Kondisi lembap ini menjadi prasyarat penting bagi kehidupan berbagai organisme yang sensitif terhadap kekeringan, mulai dari lumut dan paku-pakuan epifit, hingga amfibi dan berbagai jenis serangga. Ketika tutupan hutan hilang akibat penebangan atau kebakaran, kelembapan udara di area tersebut dapat turun drastis dalam hitungan bulan, mengubah karakter mikroklimat secara mendasar dan menyulitkan regenerasi alami vegetasi hutan aslinya.

KATA KUNCI

Kelembapan Relatif • Kelembapan Absolut • Higrometer • Psikrometer • Evapotranspirasi

RINGKASAN BAB

Bab ini menjelaskan berbagai cara menyatakan kelembapan udara, alasan perubahan kelembapan relatif sepanjang hari, contoh perhitungan sederhana, serta karakteristik kelembapan tinggi yang menjadi ciri khas ekosistem hutan hujan tropis.

Latihan / Evaluasi

1. Hitung kelembapan relatif apabila tekanan uap aktual 24 hPa dan tekanan uap jenuh pada suhu tersebut 32 hPa.

2. Jelaskan mengapa kelembapan relatif pagi hari cenderung lebih tinggi dibandingkan siang hari meski kandungan uap air aktual relatif sama.

Soal Diskusi

Diskusikan bagaimana hilangnya tutupan hutan dapat memengaruhi kelembapan udara suatu kawasan dalam jangka pendek dan panjang.

Refleksi

Refleksikan mengapa banyak jenis lumut dan paku-pakuan hanya dapat ditemukan di dalam hutan yang lembap, bukan di lahan terbuka.

Tugas Individu

Ukur kelembapan relatif menggunakan higrometer sederhana pada pagi dan siang hari di lokasi yang sama, kemudian bandingkan hasilnya.

Tugas Kelompok

Diskusikan dampak penurunan kelembapan udara terhadap kerentanan kebakaran lahan gambut yang telah terdegradasi.

BAB 6

TEKANAN UDARA DAN ANGIN

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menjelaskan konsep tekanan udara, pembentukan angin, serta pengaruhnya terhadap ekosistem hutan.

6.1 Tekanan Udara: Berat Atmosfer di Atas Kepala Kita

Tekanan udara pada dasarnya adalah berat kolom udara yang menekan suatu titik di permukaan bumi. Semakin tinggi suatu tempat, semakin sedikit massa udara di atasnya, sehingga tekanan udara pun semakin rendah. Di permukaan laut, tekanan udara rata-rata adalah 1013,25 hektopascal (hPa), sementara di puncak gunung yang tinggi tekanan dapat turun hingga separuh dari nilai tersebut.

Perbedaan tekanan udara antara satu wilayah dengan wilayah lain, meski kecil, adalah penggerak utama terbentuknya angin. Udara secara alami mengalir dari daerah bertekanan tinggi menuju daerah bertekanan rendah, sama seperti air yang mengalir dari tempat tinggi ke tempat rendah. Semakin besar perbedaan tekanan pada jarak tertentu (disebut gradien tekanan), semakin kencang pula angin yang dihasilkan.

6.2 Bagaimana Angin Terbentuk

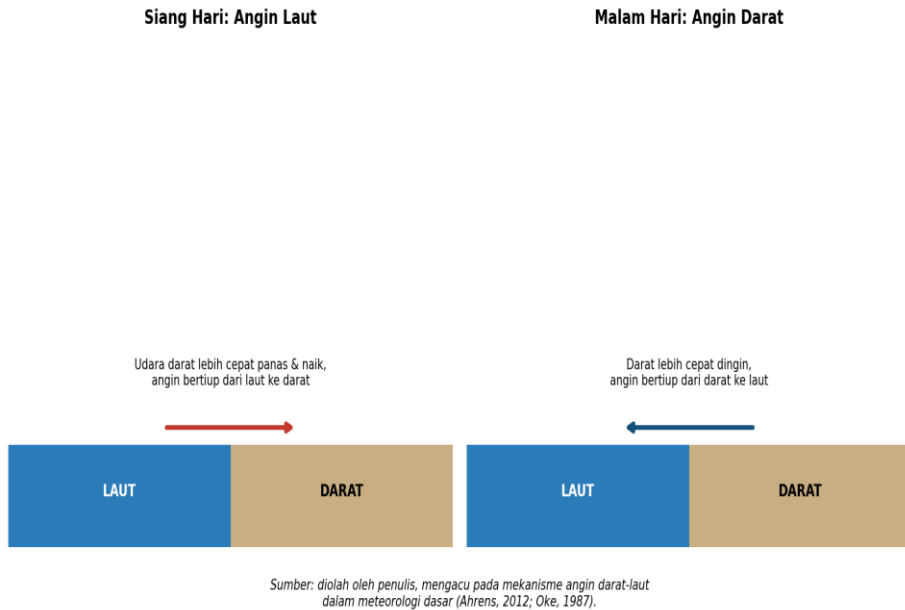
Pemanasan matahari yang tidak merata di permukaan bumi menciptakan perbedaan tekanan udara yang terus-menerus berubah sepanjang hari dan sepanjang tahun. Selain gradien tekanan, arah dan kecepatan angin juga dipengaruhi oleh efek Coriolis akibat rotasi bumi, yang membelokkan arah angin ke kanan di belahan bumi utara dan ke kiri di belahan bumi selatan, serta oleh gesekan (friksi) dengan permukaan bumi yang memperlambat kecepatan angin dekat tanah.

Di wilayah ekuator seperti Kalimantan, efek Coriolis relatif lemah karena kecepatan rotasi efektif bumi pada garis lintang rendah mendekati nol, sehingga pola angin lokal justru lebih banyak dipengaruhi oleh perbedaan pemanasan permukaan (darat-laut, dataran-pegunungan) dibandingkan efek pembelokan akibat rotasi bumi.

6.3 Angin Lokal: Darat-Laut dan Lembah-Gunung

Pada skala lokal, dua pola angin yang paling sering dijumpai adalah angin darat-laut dan angin lembah-gunung. Pada siang hari, daratan memanaskan lebih cepat dibandingkan lautan karena kapasitas panas air yang jauh lebih besar, sehingga udara di atas daratan naik dan digantikan oleh udara dari laut yang lebih dingin, menciptakan angin laut yang bertiup ke arah daratan. Pada malam hari, pola ini berbalik: daratan mendingin lebih cepat dibandingkan laut, sehingga angin darat bertiup dari daratan menuju laut.

Pola serupa juga terjadi antara lembah dan pegunungan, di mana pada siang hari lereng gunung yang terkena sinar matahari memanaskan lebih cepat, memicu angin lembah yang bertiup naik ke arah puncak (*upslope wind*), sementara pada malam hari udara dingin dari puncak mengalir turun ke lembah (*downslope wind* atau *angin gunung*). Pola angin lokal semacam ini penting dipahami rimbawan yang bekerja di kawasan berbukit, karena memengaruhi pola penyebaran asap kebakaran maupun penyebaran serbuk sari dan biji tanaman.



Gambar 6.1 Skema pembentukan angin darat dan angin laut

Sumber: diolah oleh penulis, mengacu pada mekanisme angin darat-laut dalam meteorologi dasar (Ahrens, 2012; Oke, 1987).

6.4 Pengaruh Angin terhadap Ekosistem Hutan

Angin memiliki peran ekologis yang sering luput dari perhatian, mulai dari membantu penyerbukan dan penyebaran biji beberapa jenis pohon (anemokori), mempercepat proses evapotranspirasi melalui pergantian udara di sekitar daun, hingga berperan dalam penyebaran api saat terjadi kebakaran lahan. Angin kencang yang berkepanjangan pada musim kemarau menjadi salah satu faktor yang mempercepat perambatan api kebakaran hutan dan lahan, karena memasok oksigen tambahan sekaligus membawa bara api ke area yang belum terbakar.

Di sisi lain, angin kencang juga dapat menjadi ancaman fisik bagi tegakan hutan, terutama pada pohon-pohon tinggi dengan sistem perakaran dangkal seperti yang umum dijumpai pada hutan rawa gambut. Fenomena tumbang pohon akibat angin kencang (windthrow) dapat menciptakan celah tajuk (canopy gap) yang justru berperan penting dalam dinamika regenerasi alami hutan,

memberi kesempatan bagi spesies pionir untuk tumbuh memanfaatkan cahaya matahari yang tiba-tiba tersedia.

6.5 Pengukuran Kecepatan dan Arah Angin

Kecepatan angin lazimnya diukur menggunakan anemometer, yang paling umum berbentuk mangkuk (cup anemometer) berputar mengikuti kecepatan angin, atau anemometer baling-baling (propeller anemometer) yang sekaligus dapat mengukur arah angin. Satuan yang digunakan bervariasi tergantung konteks, mulai dari meter per detik, kilometer per jam, hingga knot untuk keperluan penerbangan dan pelayaran.

Arah angin diukur menggunakan bendera angin (wind vane) dan dinyatakan berdasarkan arah datangnya angin, bukan arah tujuannya. Sebagai contoh, 'angin timur' berarti angin yang bertiup dari arah timur menuju barat. Pada stasiun klimatologi otomatis modern, anemometer dan wind vane telah terintegrasi dalam satu unit sensor yang dapat mencatat data kecepatan dan arah angin secara kontinu dan mengirimkannya secara otomatis ke pusat data.

[Gambar 6.5 Anemometer mangkuk dan wind vane pada menara stasiun cuaca]

Foto belum disisipkan — silakan lengkapi dengan foto asli berlisensi bebas/berizin.

Kata kunci Google Images: "cup anemometer wind vane weather station tower"

KATA KUNCI

Tekanan Udara • Angin • Efek Coriolis • Angin Darat-Laut • Anemometer

RINGKASAN BAB

Bab ini membahas konsep tekanan udara sebagai penggerak angin, mekanisme pembentukan angin lokal darat-laut dan lembah-gunung, peran

angin dalam ekosistem hutan termasuk penyebaran api kebakaran, serta metode pengukuran kecepatan dan arah angin.

Latihan / Evaluasi

1. Jelaskan mengapa angin laut bertiup pada siang hari, sementara angin darat bertiup pada malam hari.
2. Sebutkan dua peran ekologis angin bagi ekosistem hutan.

Soal Diskusi

Diskusikan bagaimana pola angin lokal dapat memengaruhi arah penyebaran asap kebakaran lahan gambut di suatu wilayah.

Refleksi

Refleksikan pengalaman Anda merasakan angin yang berbeda kecepatannya di dalam hutan dibandingkan area terbuka.

Tugas Individu

Amati dan catat arah angin pada pagi, siang, dan sore hari di lokasi tempat tinggal Anda selama tiga hari berturut-turut.

Tugas Kelompok

Diskusikan potensi risiko windthrow (tumbang pohon akibat angin) pada tegakan hutan rawa gambut dan cara mitigasinya.

BAB 7

PRESIPITASI

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menjelaskan proses pembentukan hujan, tipe presipitasi, pengukurannya, serta pola curah hujan Kalimantan.

7.1 Dari Uap Air Menjadi Tetes Hujan

Presipitasi adalah segala bentuk air yang jatuh dari atmosfer ke permukaan bumi, baik berupa hujan, salju, hujan es, maupun embun beku, meski untuk wilayah tropis seperti Kalimantan praktis seluruh presipitasi berbentuk hujan. Proses pembentukannya dimulai ketika udara lembap naik ke lapisan atmosfer yang lebih tinggi dan mengalami pendinginan, menyebabkan uap air mengembun menjadi butiran air atau kristal es sangat kecil yang membentuk awan.

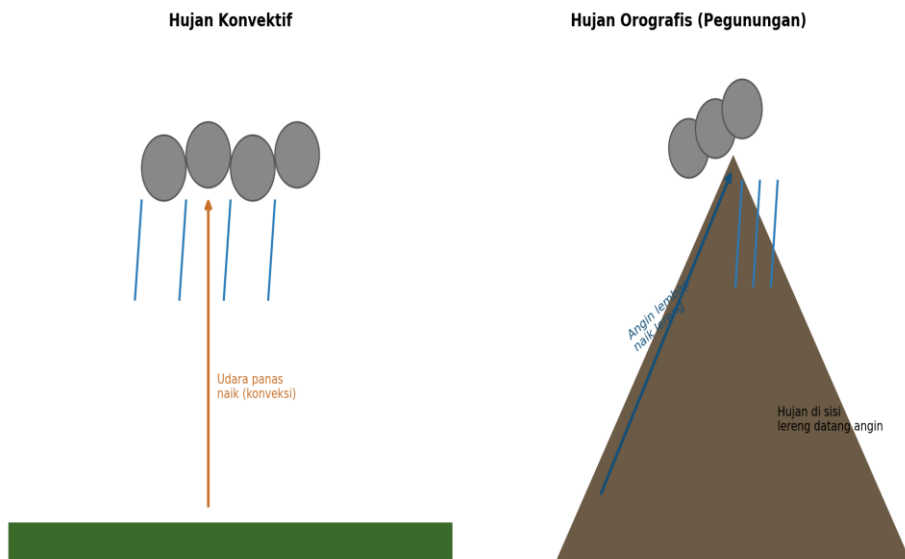
Butiran air dalam awan pada mulanya berukuran sangat kecil, hanya beberapa mikrometer, sehingga terlalu ringan untuk jatuh sebagai hujan dan justru melayang di udara. Hujan baru terjadi ketika butiran-butiran kecil tersebut bergabung satu sama lain (proses koalesensi) hingga cukup besar dan berat untuk mengatasi gaya angkat udara, kemudian jatuh ke permukaan bumi sebagai tetes hujan.

7.2 Tiga Tipe Utama Pembentukan Hujan

Berdasarkan mekanisme pengangkatan udaranya, hujan dapat dikelompokkan menjadi tiga tipe utama. Hujan konvektif terbentuk ketika udara dekat permukaan memanaskan secara lokal dan naik dengan cepat, umum terjadi pada siang hingga sore hari di wilayah tropis dengan pemanasan matahari yang intensif, biasanya disertai petir dan berlangsung dalam durasi singkat namun intensitas tinggi. Hujan orografis terbentuk ketika massa udara lembap dipaksa

naik melewati rintangan topografi seperti pegunungan, sehingga curah hujan cenderung lebih tinggi pada sisi lereng yang menghadap arah datangnya angin.

Tipe ketiga adalah hujan frontal, yang terbentuk pada pertemuan dua massa udara dengan karakteristik suhu dan kelembapan berbeda, lebih umum dijumpai di wilayah lintang menengah dibandingkan wilayah tropis. Di Kalimantan Tengah, hujan konvektif merupakan tipe yang paling dominan, terutama pada musim hujan ketika pemanasan permukaan yang intensif memicu pembentukan awan kumulonimbus pada siang hingga sore hari.



Sumber: diolah oleh penulis, mengacu pada mekanisme pembentukan hujan dalam meteorologi dasar (Ahrens, 2012; Oke, 1987).

Gambar 7.1 Perbandingan mekanisme hujan konvektif dan hujan orografis

Sumber: diolah oleh penulis, mengacu pada mekanisme pembentukan hujan dalam meteorologi dasar (Ahrens, 2012; Oke, 1987).

7.3 Pengukuran Curah Hujan

Curah hujan diukur menggunakan alat yang disebut ombrometer atau penakar hujan (rain gauge), dengan satuan milimeter yang menyatakan tinggi genangan air hujan apabila ditampung pada permukaan datar seluas satu meter

persegi tanpa meresap atau menguap. Ombrometer manual seperti tipe observatorium memerlukan pembacaan dan pencatatan harian oleh petugas, sementara ombrometer otomatis tipe tipping bucket dapat mencatat data secara kontinu dan mengirimkannya langsung ke sistem penyimpanan data digital.

Penempatan ombrometer memerlukan perhatian khusus terhadap lingkungan sekitarnya. Alat harus ditempatkan pada area terbuka, jauh dari pohon atau bangunan yang dapat menghalangi jatuhnya air hujan atau justru menambah tetesan air dari daun atau atap di sekitarnya, sehingga data yang tercatat benar-benar mencerminkan curah hujan alami di wilayah tersebut.

[Gambar 7.3 Ombrometer tipe observatorium di taman alat stasiun klimatologi]

Foto belum disisipkan — silakan lengkapi dengan foto asli berlisensi bebas/berizin.

Kata kunci Google Images: "rain gauge ombrometer weather station Indonesia"

7.4 Pola Curah Hujan di Kalimantan Tengah

Data historis BMKG menunjukkan bahwa Kalimantan Tengah, termasuk Kota Palangka Raya, memiliki curah hujan tahunan rata-rata yang cukup tinggi, umumnya berkisar 2.200 hingga 3.000 milimeter per tahun, tergolong dalam kategori iklim tropis basah. Meski demikian, pola curah hujan tidak merata sepanjang tahun: bulan-bulan basah dengan curah hujan tinggi umumnya terjadi pada Oktober hingga April, sementara bulan-bulan kering dengan curah hujan lebih rendah terjadi pada Juni hingga September.

Variasi antar-tahun juga cukup signifikan, terutama dipengaruhi fenomena El Nino dan La Nina. Pada tahun-tahun El Nino kuat seperti 2015 dan 2019, musim kemarau di Kalimantan Tengah dapat berlangsung jauh lebih panjang dan

lebih kering dari kondisi normal, menciptakan kondisi yang sangat rawan kebakaran lahan gambut yang sudah terdegradasi akibat drainase berlebihan.

7.5 Contoh Analisis Data Curah Hujan Sederhana

Sebagai latihan sederhana, misalkan tercatat data curah hujan bulanan suatu stasiun pengamatan di Kalimantan Tengah sebagai berikut: Januari 280 mm, Februari 240 mm, Maret 260 mm, hingga total curah hujan tahunan 2.640 mm. Untuk menentukan apakah suatu bulan tergolong bulan basah atau bulan kering menurut kriteria klasifikasi Schmidt-Ferguson, digunakan batas curah hujan 100 mm untuk bulan basah dan 60 mm untuk bulan kering.

Dengan kriteria tersebut, seluruh contoh bulan di atas (masing-masing di atas 100 mm) tergolong bulan basah. Perhitungan semacam ini menjadi dasar bagi penentuan nilai Q (perbandingan rata-rata bulan kering dengan bulan basah) yang akan dibahas lebih mendalam pada Bab 11 mengenai klasifikasi iklim.

KATA KUNCI

Presipitasi • Hujan Konvektif • Hujan Orografis • Ombrometer • Curah Hujan

RINGKASAN BAB

Bab ini menjelaskan proses fisis pembentukan hujan, tiga tipe utama presipitasi, metode pengukuran curah hujan, pola curah hujan tahunan Kalimantan Tengah, serta contoh analisis data curah hujan sederhana untuk penentuan bulan basah dan kering.

Latihan / Evaluasi

1. Jelaskan perbedaan mekanisme pembentukan hujan konvektif dan hujan orografis.

2. Berdasarkan kriteria Schmidt-Ferguson, tentukan kategori bulan (basah/lembap/kering) apabila curah hujan tercatat 85 mm.

Soal Diskusi

Diskusikan mengapa hujan konvektif menjadi tipe hujan yang paling dominan di wilayah Kalimantan Tengah.

Refleksi

Refleksikan bagaimana pola musim hujan dan kemarau memengaruhi kegiatan sehari-hari masyarakat di lingkungan Anda.

Tugas Individu

Kumpulkan data curah hujan bulanan Kota Palangka Raya selama satu tahun terakhir dari situs BMKG, lalu identifikasi bulan basah dan bulan keringnya.

Tugas Kelompok

Diskusikan dan rancang lokasi ideal penempatan ombrometer di lingkungan kampus yang memenuhi standar pengamatan klimatologi.

BAB 8

EVAPOTRANSPIRASI DAN NERACA AIR

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menjelaskan konsep evapotranspirasi, metode pendugaannya, serta menyusun neraca air lahan hutan sederhana.

8.1 Evaporasi, Transpirasi, dan Evapotranspirasi

Evaporasi adalah proses penguapan air dari permukaan bebas seperti sungai, danau, tanah lembap, maupun permukaan daun yang basah setelah hujan. Transpirasi adalah proses pelepasan uap air oleh tumbuhan melalui stomata daun, sebagai bagian dari mekanisme fisiologis pengambilan karbon dioksida untuk fotosintesis sekaligus pengaturan suhu daun. Karena di lapangan sulit memisahkan kedua proses ini secara terpisah, klimatologi biasa menggunakan istilah gabungan evapotranspirasi untuk menyatakan total kehilangan air dari suatu permukaan lahan bervegetasi ke atmosfer.

Hutan hujan tropis dikenal memiliki laju evapotranspirasi yang sangat tinggi dibandingkan tipe vegetasi lain, karena luas permukaan daun total (indeks luas daun) yang besar serta ketersediaan air tanah yang umumnya melimpah sepanjang tahun. Sebagian ilmuwan bahkan menyebut hutan hujan Amazon dan Kalimantan sebagai 'pompa biotik' karena kemampuannya mendaur ulang uap air dalam jumlah masif kembali ke atmosfer.

8.2 Metode Pendugaan Evapotranspirasi

Karena pengukuran evapotranspirasi secara langsung memerlukan peralatan yang rumit dan mahal seperti lisimeter atau menara eddy covariance, para peneliti dan praktisi kehutanan lebih sering menggunakan metode pendugaan (estimasi) berdasarkan data iklim yang lebih mudah diperoleh. Metode Penman-Monteith, yang direkomendasikan oleh Food and Agriculture

Organization (FAO), menjadi salah satu metode pendugaan evapotranspirasi acuan yang paling banyak digunakan secara internasional karena mempertimbangkan berbagai variabel iklim sekaligus: radiasi matahari, suhu, kelembapan, dan kecepatan angin.

Metode lain yang lebih sederhana, seperti metode Thornthwaite, hanya memerlukan data suhu udara bulanan sebagai input utama, sehingga lebih mudah diterapkan pada wilayah dengan keterbatasan data iklim, meski tingkat akurasi relatif lebih rendah dibandingkan metode Penman-Monteith.

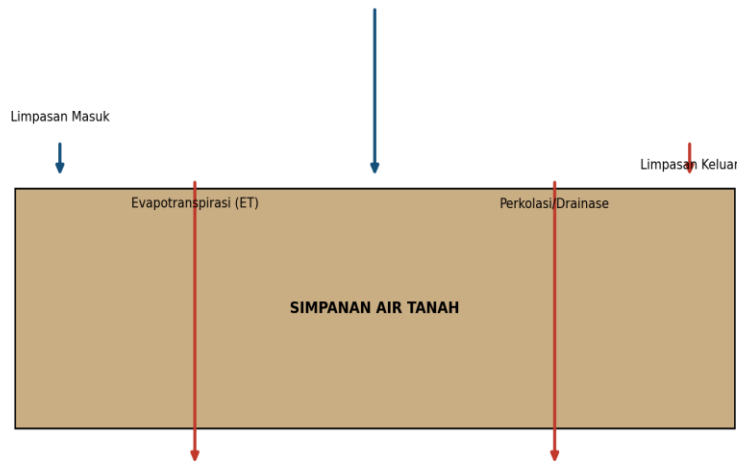
8.3 Menyusun Neraca Air Lahan Hutan

Neraca air adalah perhitungan yang membandingkan input air (curah hujan, limpasan masuk) dengan output air (evapotranspirasi, limpasan keluar, perkolasi ke tanah lebih dalam) pada suatu bidang lahan dalam periode waktu tertentu. Secara matematis dapat dituliskan sebagai $P = ET + RO + D \pm \Delta S$, dengan P adalah presipitasi, ET adalah evapotranspirasi, RO adalah limpasan permukaan (runoff), D adalah drainase/perkolasi, dan ΔS adalah perubahan simpanan air tanah.

Neraca air ini menjadi alat penting bagi rimbawan untuk memahami ketersediaan air suatu kawasan sepanjang tahun, mengidentifikasi periode surplus air (ketika curah hujan melebihi evapotranspirasi) maupun periode defisit air (ketika evapotranspirasi melebihi curah hujan), yang sangat relevan bagi perencanaan pengelolaan daerah aliran sungai maupun kajian risiko kekeringan pada lahan gambut.

Ilustrasi Komponen Neraca Air Lahan Hutan

Sumber: diolah oleh penulis, mengacu pada konsep neraca air Thornthwaite (1948) dan prinsip hidrologi hutan umum.



$$\text{Neraca Air: } P = ET + \text{Limpasan} + \text{Perkolasi} \pm \Delta \text{Simpanan}$$

Gambar 8.1 Ilustrasi komponen neraca air lahan hutan

Sumber: diolah oleh penulis, mengacu pada konsep neraca air Thornthwaite (1948) dan prinsip hidrologi hutan umum.

8.4 Contoh Perhitungan Neraca Air Sederhana

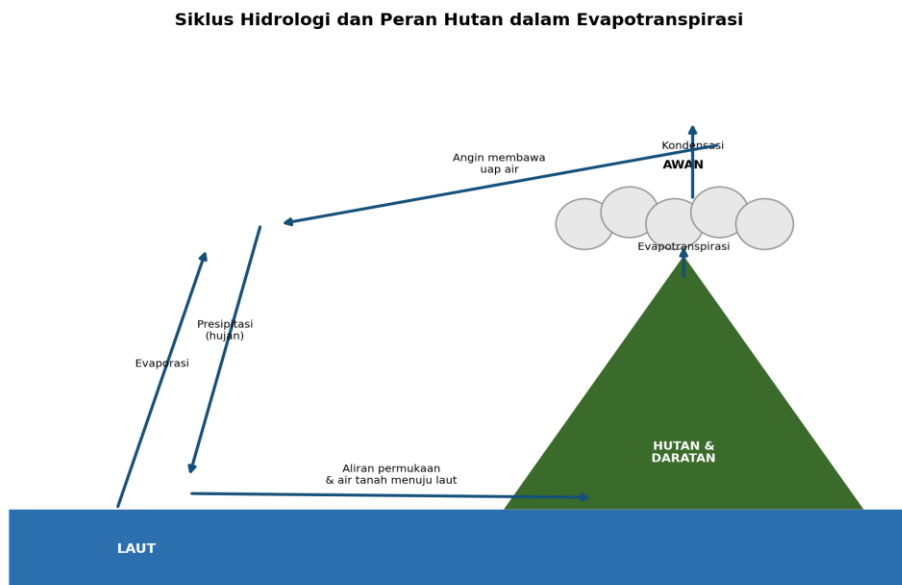
Sebagai ilustrasi, misalkan pada suatu bulan tercatat curah hujan (P) sebesar 220 mm, evapotranspirasi potensial (ETP) diduga sebesar 130 mm berdasarkan metode Thornthwaite, dan limpasan permukaan (RO) diperkirakan 40 mm berdasarkan karakteristik lahan. Maka perubahan simpanan air tanah dapat dihitung: $\Delta S = P - ET - RO = 220 - 130 - 40 = 50$ mm, yang berarti terjadi surplus air sebesar 50 mm pada bulan tersebut, mengindikasikan kondisi lahan yang cukup basah dan berpotensi menyumbang limpasan tambahan ke sungai di sekitarnya.

Sebaliknya, apabila pada bulan kemarau curah hujan hanya 60 mm sementara evapotranspirasi potensial tetap tinggi di angka 130 mm akibat radiasi matahari yang intensif, maka neraca air menjadi negatif (defisit), yang berarti tanaman harus mengandalkan cadangan air tanah untuk memenuhi kebutuhan

transpirasinya, dan apabila defisit ini berlangsung lama, dapat memicu stres kekeringan pada vegetasi maupun peningkatan risiko kebakaran pada lahan gambut yang kering.

8.5 Peran Hutan dalam Siklus Hidrologi

Hutan bukan sekadar penerima air hujan pasif, melainkan turut berperan aktif menggerakkan siklus hidrologi melalui evapotranspirasi masif yang kemudian berkontribusi terhadap pembentukan awan dan hujan, baik di lokasi yang sama maupun di wilayah lain yang jauh melalui pergerakan massa udara. Fenomena ini dikenal sebagai daur ulang presipitasi (*precipitation recycling*), yang pada kawasan hutan tropis luas seperti Kalimantan dapat menyumbang porsi signifikan terhadap total curah hujan regional.



Sumber: diolah oleh penulis, mengacu pada konsep siklus hidrologi umum (USGS Water Cycle, 2019; Bonan, 2008).

Gambar 8.2 Siklus hidrologi dan peran hutan dalam evapotranspirasi

Sumber: diolah oleh penulis, mengacu pada konsep siklus hidrologi umum (USGS Water Cycle, 2019; Bonan, 2008).

Evapotranspirasi • Neraca Air • Metode Penman-Monteith • Metode Thornthwaite • Defisit Air

RINGKASAN BAB

Bab ini menjelaskan konsep evaporasi, transpirasi, dan evapotranspirasi, metode pendugaannya, cara menyusun neraca air lahan hutan, contoh perhitungan sederhana neraca air bulanan, serta peran hutan sebagai penggerak siklus hidrologi regional.

Latihan / Evaluasi

1. Hitung perubahan simpanan air tanah apabila curah hujan 180 mm, evapotranspirasi 110 mm, dan limpasan 30 mm dalam satu bulan.
2. Jelaskan mengapa hutan hujan tropis disebut sebagai 'pompa biotik'.

Soal Diskusi

Diskusikan implikasi neraca air negatif (defisit) yang berkepanjangan terhadap kerentanan kebakaran lahan gambut.

Refleksi

Refleksikan bagaimana konsep neraca air dapat diterapkan untuk merencanakan program rehabilitasi lahan kritis di daerah Anda.

Tugas Individu

Hitung neraca air sederhana untuk tiga bulan berturut-turut menggunakan data curah hujan dan estimasi evapotranspirasi yang Anda peroleh.

Tugas Kelompok

Diskusikan dan bandingkan metode Penman-Monteith dan Thornthwaite dari segi kemudahan data dan tingkat akurasi.

BAB 9

MIKROKLIMAT HUTAN

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menjelaskan konsep mikroklimat, gradien vertikal tajuk, dan metode pengukurannya pada ekosistem hutan.

9.1 Mikroklimat: Iklim dalam Skala yang Lebih Intim

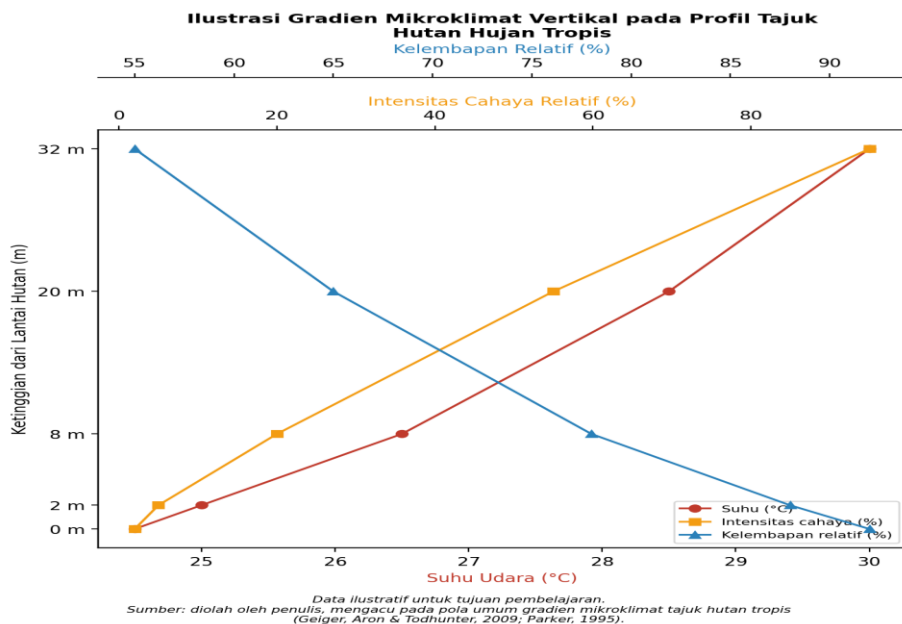
Jika klimatologi umum berbicara tentang kondisi atmosfer pada skala wilayah luas, mikroklimat berbicara tentang kondisi iklim pada skala yang jauh lebih kecil dan spesifik, bisa hanya beberapa meter atau bahkan beberapa sentimeter saja. Perbedaan suhu, kelembapan, dan intensitas cahaya antara permukaan tanah berumput terbuka dengan permukaan tanah yang tertutup serasah tebal di dalam hutan adalah salah satu contoh sederhana dari variasi mikroklimat.

Bagi mahasiswa kehutanan, memahami mikroklimat menjadi sangat penting karena sebagian besar interaksi ekologis, mulai dari perkecambahan biji, pertumbuhan semai, hingga aktivitas fauna tanah, berlangsung pada skala mikroklimat ini, bukan pada skala iklim regional yang lebih luas.

9.2 Struktur Tajuk dan Gradien Vertikal Mikroklimat

Hutan hujan tropis matang umumnya memiliki struktur tajuk berlapis yang kompleks, mulai dari lapisan emergent (pohon-pohon tertinggi yang menjulang di atas tajuk utama), tajuk utama (upper canopy), tajuk tengah (middle canopy), lapisan understory, hingga lantai hutan. Setiap lapisan ini memiliki karakteristik mikroklimat yang berbeda, dengan suhu yang cenderung meningkat dan kelembapan yang menurun seiring bertambahnya ketinggian mendekati puncak tajuk yang terpapar langsung sinar matahari dan angin.

Sebagai gambaran umum berdasarkan berbagai penelitian mikroklimat hutan tropis, suhu udara pada lantai hutan dapat lebih rendah tiga hingga lima derajat Celsius dibandingkan puncak tajuk pada siang hari, sementara kelembapan relatif pada lantai hutan dapat lebih tinggi dua puluh hingga tiga puluh persen dibandingkan area terbuka di atas tajuk. Gradien inilah yang menciptakan berbagai relung ekologis (niche) yang memungkinkan beragam spesies hidup berdampingan pada satu kolom vertikal hutan yang sama.



Gambar 9.1 Ilustrasi gradien mikroklimat vertikal pada profil tajuk hutan hujan tropis

Sumber: diolah oleh penulis, mengacu pada pola umum gradien mikroklimat tajuk hutan tropis (Geiger, Aron & Todhunter, 2009; Parker, 1995).

[Gambar 9.2 Kanopi berlapis hutan hujan tropis Kalimantan dilihat dari menara pengamatan]

Foto belum disisipkan — silakan lengkapi dengan foto asli berlisensi bebas/berizin.

Kata kunci Google Images: "tropical rainforest canopy layers Borneo tower"

9.3 Mikroklimat Bawah Tegakan dan Serasah

Lapisan serasah yang menutupi lantai hutan juga berperan penting dalam mengatur mikroklimat tanah, bekerja layaknya selimut alami yang menjaga kelembapan tanah tetap tinggi dan meredam fluktuasi suhu harian. Pada hutan yang kehilangan lapisan serasahnya akibat kebakaran atau pembersihan lahan, suhu permukaan tanah pada siang hari dapat meningkat drastis, bahkan pada kondisi ekstrem dapat mencapai suhu yang membahayakan bagi organisme tanah dan biji-biji yang tersimpan di dalamnya.

Kondisi mikroklimat bawah tegakan juga sangat dipengaruhi oleh kerapatan tajuk. Tegakan hutan sekunder muda dengan tajuk yang belum menutup sempurna umumnya memiliki fluktuasi suhu dan kelembapan yang lebih tajam dibandingkan hutan primer dengan tajuk rapat, menjadikan kondisi mikroklimatnya lebih menantang bagi regenerasi jenis-jenis pohon klimaks yang cenderung toleran naungan.

9.4 Pengukuran Mikroklimat Hutan di Lapangan

Pengukuran mikroklimat hutan biasanya memerlukan pendekatan berbeda dari pengukuran iklim regional, karena harus dilakukan pada berbagai titik dan ketinggian secara simultan untuk menangkap variasi spasial yang terjadi. Peneliti biasanya memasang serangkaian sensor suhu dan kelembapan (data logger) pada berbagai ketinggian tajuk menggunakan menara kanopi (canopy tower) atau sistem tali panjat, serta sensor tambahan di lantai hutan sebagai titik pembanding.

Selain data logger otomatis, pengukuran sederhana menggunakan termometer dan higrometer portabel yang dibawa berkeliling pada jalur transek

tertentu juga masih banyak dipraktikkan dalam kegiatan praktikum lapangan mahasiswa kehutanan, karena lebih terjangkau meski memerlukan ketelitian ekstra dalam pencatatan waktu dan lokasi pengukuran.

KATA KUNCI

Mikroklimat • Gradien Vertikal Tajuk • Efek Tepi • Serasah • Struktur Tajuk

RINGKASAN BAB

Bab ini menjelaskan konsep mikroklimat pada skala ruang sempit, struktur tajuk berlapis hutan hujan tropis dan gradien mikroklimat vertikalnya, peran lapisan serasah dalam mengatur mikroklimat tanah, serta metode pengukuran mikroklimat hutan di lapangan.

Latihan / Evaluasi

1. Jelaskan mengapa suhu udara pada lantai hutan cenderung lebih rendah dibandingkan puncak tajuk pada siang hari.
2. Sebutkan lapisan-lapisan struktur tajuk hutan hujan tropis dari bawah ke atas.

Soal Diskusi

Diskusikan bagaimana hilangnya lapisan serasah akibat kebakaran dapat memengaruhi mikroklimat tanah dan organisme di dalamnya.

Refleksi

Refleksikan pengalaman Anda mengamati perbedaan suhu dan kelembapan saat berjalan dari area terbuka menuju bagian dalam hutan.

Tugas Individu

Buatlah sketsa profil vertikal tajuk hutan beserta perkiraan perubahan suhu dan kelembapan pada setiap lapisannya.

Tugas Kelompok

Rancang desain sederhana penelitian mikroklimat bawah tegakan menggunakan alat yang tersedia di lingkungan kampus.

BAB 10

INTERAKSI VEGETASI DAN IKLIM

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menjelaskan mekanisme umpan balik antara vegetasi hutan dan sistem iklim, termasuk dampak deforestasi.

10.1 Hutan sebagai Pelaku Aktif, Bukan Penonton Pasif

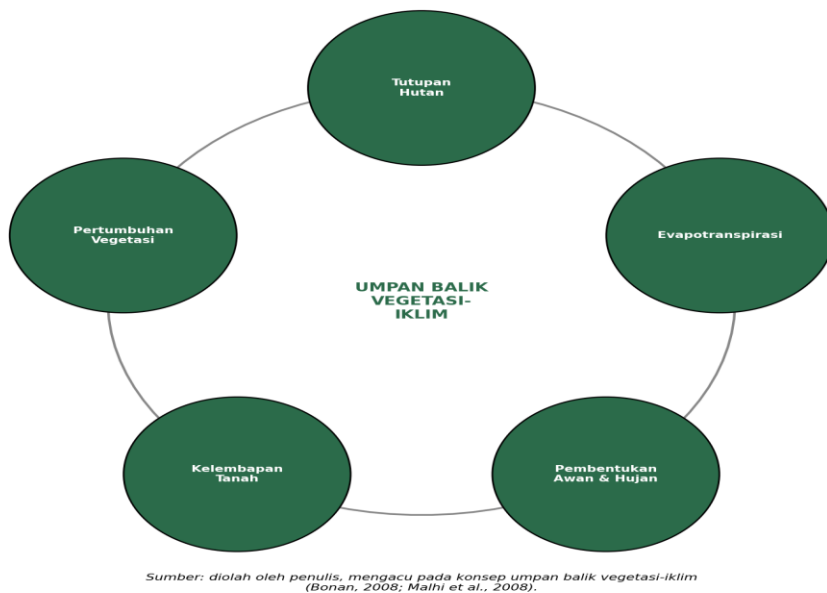
Selama bertahun-tahun, hutan sering dipandang hanya sebagai 'korban' perubahan iklim, padahal hubungan sesungguhnya berlangsung dua arah. Vegetasi hutan tidak sekadar merespons kondisi iklim yang ada, tetapi turut membentuk dan memodifikasi iklim di sekitarnya, mulai dari skala mikro hingga skala regional. Kanopi hutan memengaruhi albedo permukaan bumi, akar-akar pohon memengaruhi siklus air tanah, dan proses evapotranspirasi memengaruhi kelembapan atmosfer serta pembentukan awan.

Memahami interaksi dua arah ini penting agar mahasiswa kehutanan tidak terjebak pada cara pandang yang terlalu sederhana, seolah-olah hutan hanya menerima dampak dari perubahan iklim tanpa berkontribusi terhadap dinamika iklim itu sendiri.

10.2 Umpan Balik Vegetasi-Iklim

Salah satu mekanisme umpan balik yang paling banyak dikaji adalah bagaimana tutupan hutan memengaruhi evapotranspirasi, yang kemudian memengaruhi pembentukan awan dan curah hujan, yang pada gilirannya memengaruhi kelembapan tanah dan pertumbuhan vegetasi itu sendiri. Siklus ini dapat berjalan sebagai umpan balik positif yang saling menguatkan: hutan yang sehat menghasilkan lebih banyak hujan, hujan yang cukup mendukung pertumbuhan hutan yang lebih sehat.

Namun siklus ini juga dapat berbalik arah menjadi lingkaran yang merugikan ketika deforestasi terjadi dalam skala luas. Berkurangnya tutupan hutan menurunkan evapotranspirasi regional, yang berpotensi mengurangi pembentukan awan dan curah hujan, sehingga kondisi menjadi lebih kering, meningkatkan risiko kebakaran, yang pada gilirannya semakin mengurangi tutupan hutan yang tersisa.



Gambar 10.1 Diagram umpan balik interaksi vegetasi dan iklim

Sumber: diolah oleh penulis, mengacu pada konsep umpan balik vegetasi-iklim (Bonan, 2008; Malhi et al., 2008).

10.3 Deforestasi dan Perubahan Iklim Lokal

Berbagai penelitian di kawasan hutan tropis, termasuk Amazon dan Kalimantan, menunjukkan bahwa deforestasi berskala luas dapat mengubah pola curah hujan lokal, umumnya menurunkan curah hujan pada musim kemarau dan memperpanjang durasinya. Perubahan ini terjadi karena hilangnya sumber evapotranspirasi utama yang selama ini menyumbang uap air ke atmosfer lokal,

ditambah perubahan albedo permukaan dari tajuk hutan yang gelap menjadi lahan terbuka yang lebih terang dan memantulkan lebih banyak radiasi matahari.

Di Kalimantan Tengah, konversi hutan rawa gambut menjadi lahan pertanian atau perkebunan tidak hanya menghilangkan fungsi penyimpanan karbon, tetapi juga berpotensi mengubah pola iklim mikro dan meso di sekitarnya, meski penelitian mengenai besaran dampak spesifik pada skala lokal Kalimantan masih terus berkembang dan memerlukan kajian lebih lanjut.

[Gambar 10.3 Perbandingan hutan utuh dan lahan hasil deforestasi dari udara, Kalimantan]

*Foto belum disisipkan — silakan lengkapi dengan foto asli berlisensi bebas/berizin.
Kata kunci Google Images: "deforestation aerial view Borneo forest clearing"*

10.4 Studi Kasus: Fragmentasi Hutan dan Efek Tepi (Edge Effect)

Fragmentasi hutan, yaitu terpecahnya kawasan hutan luas menjadi petak-petak kecil akibat pembukaan lahan, menciptakan fenomena yang disebut efek tepi (edge effect), yaitu perubahan iklim mikro pada zona perbatasan antara hutan dan area terbuka. Zona tepi ini umumnya memiliki suhu udara yang lebih tinggi, kelembapan yang lebih rendah, dan angin yang lebih kencang dibandingkan bagian dalam hutan, dengan pengaruh yang dapat menjalar hingga puluhan bahkan ratusan meter ke dalam kawasan hutan tergantung tingkat keterbukaan lahan di sekitarnya.

Semakin kecil dan terfragmentasi suatu petak hutan, semakin besar proporsi luasnya yang terpengaruh efek tepi, sehingga kualitas iklim mikro interior hutan yang dibutuhkan spesies-spesies sensitif semakin menyusut. Fenomena ini menjadi salah satu argumen penting mengapa konservasi hutan dalam bentuk

kawasan luas dan menyatu (bukan sekadar petak-petak kecil terpisah) jauh lebih efektif menjaga fungsi ekologis dan iklim mikro hutan secara keseluruhan.

KATA KUNCI

Umpan Balik Vegetasi-Iklim • Deforestasi • Efek Tepi • Daur Ulang Presipitasi • Albedo Permukaan

RINGKASAN BAB

Bab ini membahas interaksi dua arah antara vegetasi hutan dan iklim, mekanisme umpan balik vegetasi-iklim yang dapat bersifat positif maupun negatif, dampak deforestasi terhadap iklim lokal, serta fenomena efek tepi akibat fragmentasi hutan.

Latihan / Evaluasi

1. Jelaskan bagaimana deforestasi dapat memicu lingkaran umpan balik yang memperburuk kekeringan regional.
2. Apa yang dimaksud dengan efek tepi (edge effect) dan mengapa fragmentasi hutan memperbesar dampaknya?

Soal Diskusi

Diskusikan mengapa konservasi hutan dalam bentuk kawasan luas dan menyatu dinilai lebih efektif dibandingkan petak-petak kecil terpisah.

Refleksi

Refleksikan bagaimana Anda akan menjelaskan konsep 'hutan memengaruhi iklim' kepada masyarakat awam yang belum familier dengan istilah ilmiah.

Tugas Individu

Cari satu contoh berita atau laporan mengenai dampak deforestasi terhadap perubahan pola hujan di suatu wilayah, lalu buat ringkasannya.

Tugas Kelompok

Diskusikan dan gambarkan diagram umpan balik vegetasi-iklim versi kelompok Anda sendiri berdasarkan pemahaman yang telah diperoleh.

BAB 11

KLASIFIKASI IKLIM

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menjelaskan dan menerapkan sistem klasifikasi iklim Koppen, Schmidt-Ferguson, dan Oldeman pada data wilayah tertentu.

11.1 Mengapa Iklim Perlu Diklasifikasikan

Bumi memiliki keragaman kondisi iklim yang sangat luas, sehingga para ilmuwan mengembangkan berbagai sistem klasifikasi untuk menyederhanakan dan mengelompokkan wilayah-wilayah dengan karakteristik iklim serupa. Klasifikasi iklim bermanfaat praktis bagi kehutanan dan pertanian, karena memberikan gambaran cepat mengenai jenis vegetasi apa yang berpotensi tumbuh baik di suatu wilayah tanpa harus menganalisis data iklim mentah yang rumit satu per satu.

Di Indonesia, tiga sistem klasifikasi yang paling sering digunakan adalah klasifikasi Koppen yang bersifat global, klasifikasi Schmidt-Ferguson yang dikembangkan khusus berdasarkan kondisi iklim Indonesia, serta klasifikasi Oldeman yang berorientasi pada kebutuhan pertanian dan penentuan masa tanam.

11.2 Klasifikasi Koppen

Sistem klasifikasi Koppen, pertama kali dikembangkan oleh Wladimir Koppen pada awal abad ke-20 dan terus disempurnakan hingga kini, mengelompokkan iklim dunia menjadi lima kategori utama berdasarkan kombinasi suhu dan curah hujan: A (Tropis), B (Kering/Arid), C (Sedang/Temperate), D (Kontinental), dan E (Kutub/Polar). Setiap kategori utama masih dibagi lagi menjadi subkategori yang lebih spesifik menggunakan huruf tambahan.

Indonesia, termasuk seluruh wilayah Kalimantan Tengah, tergolong dalam kategori Af (Tropis Basah/Hutan Hujan Tropis) menurut sistem Koppen, dicirikan oleh suhu bulan terdingin di atas 18 derajat Celsius sepanjang tahun serta curah hujan bulan terkering yang tetap di atas 60 milimeter, tanpa musim kering yang benar-benar ekstrem seperti pada kategori Aw (Tropis dengan musim kering).



Catatan: Indonesia, termasuk Kalimantan Tengah, umumnya tergolong Tipe A (Af - Tropis Basah).
Sumber: diolah oleh penulis, mengacu pada klasifikasi Koppen-Geiger (Kottek et al., 2006; Beck et al., 2018).

Gambar 11.1 Kategori utama klasifikasi iklim Koppen

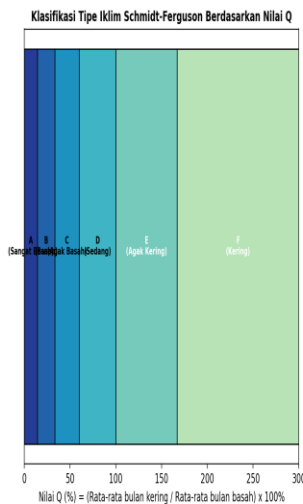
Sumber: diolah oleh penulis, mengacu pada klasifikasi Koppen-Geiger (Kottek et al., 2006; Beck et al., 2018).

11.3 Klasifikasi Schmidt-Ferguson

Berbeda dari Koppen yang bersifat global, sistem klasifikasi yang dikembangkan Schmidt dan Ferguson pada 1951 dirancang khusus untuk kondisi iklim Indonesia, dengan fokus utama pada rasio antara bulan basah dan bulan kering dalam setahun. Suatu bulan dikategorikan basah apabila curah hujannya melebihi 100 milimeter, dan dikategorikan kering apabila curah

hujannya kurang dari 60 milimeter; bulan dengan curah hujan di antara keduanya dikategorikan sebagai bulan lembap.

Nilai Q dihitung sebagai perbandingan rata-rata jumlah bulan kering dengan rata-rata jumlah bulan basah, dikalikan seratus persen. Berdasarkan nilai Q ini, iklim dikelompokkan menjadi delapan tipe dari A (sangat basah, Q kurang dari 14,3%) hingga H (kering ekstrem, Q lebih dari 700%). Sebagian besar wilayah Kalimantan Tengah tergolong tipe A atau B menurut sistem ini, mencerminkan kondisi iklim yang basah sepanjang tahun dengan bulan kering yang jarang terjadi.



Bulan kering: curah hujan < 60 mm; Bulan basah: curah hujan > 100 mm.
Sumber: diolah oleh penulis, mengacu pada Schmidt & Ferguson (1951).

Gambar 11.2 Klasifikasi tipe iklim Schmidt-Ferguson berdasarkan nilai Q

Sumber: diolah oleh penulis, mengacu pada Schmidt & Ferguson (1951).

11.4 Klasifikasi Oldeman

Klasifikasi Oldeman dikembangkan dengan orientasi praktis bagi sektor pertanian, khususnya untuk menentukan pola tanam yang sesuai berdasarkan panjang periode bulan basah berturut-turut (curah hujan di atas 200 milimeter)

dan bulan kering berturut-turut (curah hujan di bawah 100 milimeter) dalam setahun. Sistem ini membagi iklim menjadi lima zona utama (A hingga E) berdasarkan jumlah bulan basah berturut-turut, dengan subzona tambahan berdasarkan jumlah bulan kering berturut-turut.

Meski awalnya dirancang untuk pertanian tanaman pangan, klasifikasi Oldeman juga relevan bagi kehutanan, khususnya dalam menentukan waktu tanam yang optimal bagi persemaian dan penanaman bibit pohon, karena periode bulan basah berturut-turut yang panjang memberikan jaminan ketersediaan air yang lebih baik bagi pertumbuhan awal bibit sebelum akarnya cukup dalam untuk mengakses air tanah secara mandiri.

11.5 Perbandingan Ketiga Sistem Klasifikasi

Ketiga sistem klasifikasi ini memiliki penekanan yang berbeda meski sama-sama menggunakan data suhu dan curah hujan sebagai dasar. Koppen lebih menekankan perbandingan iklim dalam skala global, Schmidt-Ferguson lebih menekankan rasio bulan basah-kering yang relevan bagi kondisi tropis Indonesia, sementara Oldeman lebih menekankan pola berurutan bulan basah dan kering yang relevan bagi perencanaan pertanian dan kehutanan.

Tabel 11.1 Perbandingan Tiga Sistem Klasifikasi Iklim yang Umum Digunakan di Indonesia

Sistem	Dasar Perhitungan	Orientasi Penggunaan
Koppen	Kombinasi suhu & curah hujan tahunan	Perbandingan iklim skala global
Schmidt-Ferguson	Rasio rata-rata bulan kering/basah (nilai Q)	Karakterisasi iklim tropis Indonesia
Oldeman	Jumlah bulan basah/kering berturut-turut	Perencanaan pola tanam pertanian & kehutanan

KATA KUNCI

Klasifikasi Iklim • Koppen • Schmidt-Ferguson • Oldeman • Nilai Q

RINGKASAN BAB

Bab ini menjelaskan tiga sistem klasifikasi iklim yang umum digunakan di Indonesia yaitu Koppen, Schmidt-Ferguson, dan Oldeman, beserta dasar perhitungan dan orientasi penggunaannya masing-masing, serta penerapannya pada karakterisasi iklim Kalimantan Tengah.

Latihan / Evaluasi

1. Hitung nilai Q Schmidt-Ferguson apabila rata-rata bulan kering 2 dan rata-rata bulan basah 9 dalam data 10 tahun.
2. Jelaskan mengapa Kalimantan Tengah tergolong tipe iklim Af menurut Koppen.

Soal Diskusi

Diskusikan kelebihan dan kekurangan masing-masing sistem klasifikasi iklim (Koppen, Schmidt-Ferguson, Oldeman) untuk keperluan kehutanan.

Refleksi

Refleksikan mengapa Indonesia memerlukan sistem klasifikasi iklim tersendiri (Schmidt-Ferguson) selain sistem global Koppen.

Tugas Individu

Tentukan tipe iklim Schmidt-Ferguson untuk data curah hujan wilayah tempat tinggal Anda menggunakan data 10 tahun terakhir.

Tugas Kelompok

Diskusikan dan presentasikan perbandingan tipe iklim tiga wilayah berbeda di Indonesia menggunakan ketiga sistem klasifikasi yang telah dipelajari.

BAB 12

PERUBAHAN IKLIM GLOBAL DAN FENOMENA EL NINO-LA NINA

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menjelaskan bukti ilmiah perubahan iklim global serta mekanisme fenomena El Nino dan La Nina.

12.1 Apa yang Dimaksud Perubahan Iklim

Perubahan iklim merujuk pada perubahan jangka panjang pada pola rata-rata cuaca suatu wilayah atau bumi secara keseluruhan, yang berlangsung selama beberapa dekade hingga jutaan tahun. Perubahan iklim dapat terjadi secara alami, misalnya akibat siklus orbit bumi atau aktivitas vulkanik besar, namun perubahan iklim yang menjadi perhatian dunia saat ini adalah perubahan yang dipicu secara dominan oleh aktivitas manusia, terutama pembakaran bahan bakar fosil dan deforestasi yang meningkatkan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer.

Laporan Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Assessment Report ke-6 yang dirilis pada 2021 menyatakan dengan tingkat keyakinan sangat tinggi bahwa pengaruh manusia telah menghangatkan atmosfer, lautan, dan daratan bumi, dengan suhu rata-rata global pada dekade 2011-2020 tercatat sekitar 1,1 derajat Celsius lebih tinggi dibandingkan periode pra-industri.

12.2 Bukti Ilmiah Perubahan Iklim

Sejumlah bukti ilmiah yang konsisten menunjukkan terjadinya perubahan iklim global, di antaranya peningkatan suhu rata-rata permukaan bumi, mencairnya gletser dan lapisan es di kutub, kenaikan permukaan air laut, serta perubahan pola curah hujan di berbagai belahan dunia. Data konsentrasi karbon dioksida atmosfer yang direkam sejak akhir 1950-an di Observatorium Mauna

Loa menunjukkan peningkatan yang konsisten, dari sekitar 315 part per million (ppm) pada 1958 menjadi lebih dari 420 ppm pada pertengahan dekade 2020-an.

Di Indonesia, Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) mencatat kecenderungan peningkatan suhu udara rata-rata serta perubahan pola curah hujan pada berbagai wilayah pengamatan dalam beberapa dekade terakhir, meski variasi antar-wilayah cukup besar mengingat luasnya wilayah kepulauan Indonesia.

[Gambar 12.2 Pencairan es kutub sebagai indikator visual pemanasan global]

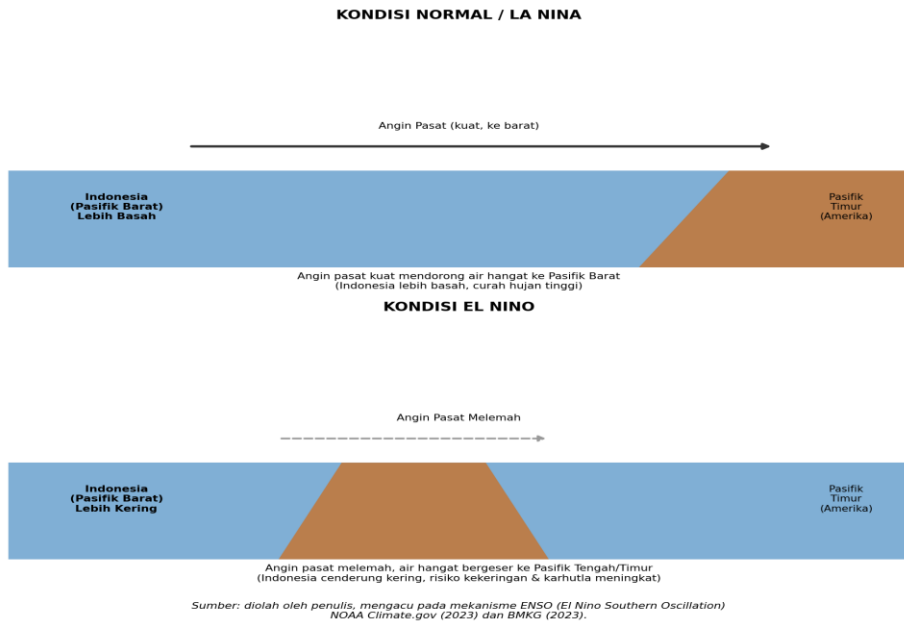
*Foto belum disisipkan — silakan lengkapi dengan foto asli berlisensi bebas/berizin.
Kata kunci Google Images: "melting glacier ice climate change global warming"*

12.3 Fenomena El Nino dan La Nina

El Nino Southern Oscillation (ENSO) adalah fenomena interaksi laut-atmosfer di Samudra Pasifik yang menjadi salah satu penyebab utama variabilitas iklim antar-tahun di Indonesia. Pada kondisi normal, angin pasat yang bertiup dari timur ke barat mendorong massa air hangat menumpuk di Pasifik bagian barat, termasuk perairan sekitar Indonesia, sehingga mendukung pembentukan awan dan curah hujan yang cukup di wilayah tersebut.

Pada kondisi El Nino, angin pasat melemah bahkan dapat berbalik arah, menyebabkan massa air hangat bergeser ke Pasifik tengah dan timur, sehingga wilayah Indonesia kehilangan salah satu sumber utama uap air pembentuk hujan dan cenderung mengalami musim kemarau yang lebih panjang dan lebih kering dari kondisi normal. Sebaliknya, pada kondisi La Nina, angin pasat justru

menguat, memperkuat penumpukan air hangat di Pasifik barat, sehingga Indonesia cenderung mengalami curah hujan yang lebih tinggi dari normal.



Gambar 12.1 Skema mekanisme fenomena El Nino dan La Nina di Samudra Pasifik

Sumber: diolah oleh penulis, mengacu pada mekanisme ENSO NOAA Climate.gov (2023) dan BMKG (2023).

12.4 Dampak El Nino terhadap Kalimantan Tengah

Kalimantan Tengah termasuk wilayah yang sangat sensitif terhadap fenomena El Nino, karena musim kemarau yang lebih panjang dan lebih kering secara langsung meningkatkan kerentanan lahan gambut terhadap kekeringan dan kebakaran. Peristiwa El Nino kuat pada 1997/1998, 2015, dan 2019 semuanya bertepatan dengan kejadian kebakaran hutan dan lahan berskala besar di Kalimantan Tengah, yang menegaskan keterkaitan erat antara fenomena iklim global ini dengan bencana lingkungan di tingkat lokal.

Pemahaman terhadap prediksi El Nino/La Nina yang secara rutin dirilis BMKG dan lembaga internasional seperti NOAA menjadi alat penting bagi

perencanaan mitigasi kebakaran hutan dan lahan di Kalimantan Tengah, memungkinkan pemerintah daerah dan masyarakat bersiap lebih dini ketika prediksi menunjukkan potensi El Nino kuat pada tahun mendatang.

KATA KUNCI

Perubahan Iklim • IPCC • Gas Rumah Kaca • El Nino • La Nina

RINGKASAN BAB

Bab ini menjelaskan konsep dan bukti ilmiah perubahan iklim global berdasarkan laporan IPCC, mekanisme fenomena El Nino dan La Nina di Samudra Pasifik, serta dampaknya yang signifikan terhadap kerentanan kebakaran lahan di Kalimantan Tengah.

Latihan / Evaluasi

1. Jelaskan mekanisme terjadinya El Nino dan dampaknya terhadap musim kemarau di Indonesia.
2. Sebutkan tiga bukti ilmiah yang menunjukkan terjadinya perubahan iklim global.

Soal Diskusi

Diskusikan mengapa peristiwa El Nino tahun 2015 dan 2019 sama-sama memicu kebakaran besar di Kalimantan Tengah.

Refleksi

Refleksikan bagaimana prediksi El Nino/La Nina dari BMKG dapat dimanfaatkan secara praktis oleh instansi kehutanan daerah.

Tugas Individu

Cari data historis kejadian El Nino dan La Nina dalam 20 tahun terakhir, lalu bandingkan dengan data kejadian karhutla di Kalimantan Tengah pada tahun yang sama.

Tugas Kelompok

Diskusikan dan susun rekomendasi kesiapsiagaan kebakaran lahan yang sebaiknya dilakukan pemerintah daerah ketika BMKG memprediksi El Nino kuat.

BAB 13

DAMPAK PERUBAHAN IKLIM TERHADAP HUTAN

SERTA ADAPTASI DAN MITIGASI

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menganalisis dampak perubahan iklim terhadap ekosistem hutan serta merumuskan strategi adaptasi dan mitigasi.

13.1 Dampak terhadap Struktur dan Fungsi Hutan

Perubahan iklim memengaruhi hutan melalui berbagai jalur, mulai dari peningkatan suhu yang dapat mempercepat laju respirasi tumbuhan (berpotensi mengurangi pertumbuhan neto), perubahan pola curah hujan yang memengaruhi ketersediaan air, hingga peningkatan frekuensi kejadian iklim ekstrem seperti kekeringan panjang dan curah hujan sangat tinggi dalam waktu singkat. Perubahan-perubahan ini secara kumulatif dapat mengubah struktur dan komposisi jenis hutan dalam jangka panjang.

Beberapa penelitian jangka panjang di kawasan hutan tropis menunjukkan indikasi pergeseran komposisi jenis, di mana spesies yang lebih toleran kekeringan cenderung meningkat proporsinya dibandingkan spesies yang membutuhkan kelembapan tinggi secara konsisten, meski proses pergeseran ini berlangsung dalam skala waktu puluhan tahun dan memerlukan pemantauan jangka panjang untuk dipastikan.

13.2 Kebakaran Hutan dan Lahan sebagai Dampak Nyata

Di antara berbagai dampak perubahan iklim terhadap hutan, kebakaran hutan dan lahan adalah yang paling nyata dirasakan masyarakat Kalimantan Tengah. Kombinasi antara musim kemarau yang lebih panjang akibat perubahan iklim, lahan gambut yang telah terdegradasi akibat drainase berlebihan, dan

praktik pembukaan lahan dengan cara dibakar menciptakan kondisi yang sangat rentan terhadap kebakaran berskala besar, sebagaimana terjadi berulang pada 1997, 2015, dan 2019.

Kebakaran lahan gambut memiliki karakteristik yang berbeda dari kebakaran vegetasi pada tanah mineral, karena api dapat menjalar dan membara di bawah permukaan gambut yang kering (smouldering fire), sulit dideteksi secara visual, dan sangat sulit dipadamkan karena oksigen tersedia dari rongga-rongga gambut yang mengering. Kebakaran semacam ini dapat berlangsung berminggu-minggu dan melepaskan emisi karbon dalam jumlah sangat besar ke atmosfer.

[Gambar 13.2 Kebakaran lahan gambut dan kabut asap di Kalimantan Tengah]

*Foto belum disisipkan — silakan lengkapi dengan foto asli berlisensi bebas/berizin.
Kata kunci Google Images: "peatland fire haze Central Kalimantan Indonesia"*

13.3 Dampak terhadap Keanekaragaman Hayati

Perubahan iklim dan kebakaran hutan berdampak langsung terhadap keanekaragaman hayati, terutama spesies yang habitatnya sangat spesifik seperti orangutan Kalimantan (*Pongo pygmaeus*) yang bergantung pada hutan rawa gambut yang sehat. Kebakaran besar tahun 2015 dan 2019 dilaporkan menyebabkan kematian dan perpindahan paksa sejumlah individu orangutan serta satwa liar lainnya akibat hilangnya habitat dan sumber pakan secara mendadak.

Selain dampak langsung kebakaran, perubahan pola musim juga dapat mengganggu siklus fenologi tumbuhan, seperti waktu berbunga dan berbuah

yang selama ini menjadi sumber pakan penting bagi satwa liar. Pergeseran waktu fenologi yang tidak sinkron antara tumbuhan dan satwa yang bergantung padanya (fenomena mismatch) berpotensi mengganggu keseimbangan ekologis jangka panjang.

13.4 Strategi Adaptasi Sektor Kehutanan

Adaptasi merujuk pada upaya penyesuaian terhadap dampak perubahan iklim yang sudah dan akan terjadi, berbeda dengan mitigasi yang berfokus mengurangi penyebab perubahan iklim itu sendiri. Dalam sektor kehutanan, strategi adaptasi dapat mencakup pemilihan jenis pohon yang lebih tahan kekeringan untuk program rehabilitasi lahan, pengelolaan tata air gambut yang lebih baik untuk mengurangi kerentanan kebakaran, serta penguatan sistem deteksi dini dan respons cepat terhadap titik panas kebakaran.

Pada tingkat masyarakat, program Desa Peduli Gambut dan pembentukan kelompok Masyarakat Peduli Api (MPA) menjadi contoh nyata strategi adaptasi berbasis komunitas yang telah diterapkan di berbagai wilayah Kalimantan Tengah, melibatkan masyarakat lokal dalam pemantauan dan penanganan dini kebakaran lahan gambut di wilayah mereka.

13.5 Mitigasi Berbasis Hutan

Mitigasi berbasis hutan mencakup berbagai upaya menjaga dan meningkatkan kapasitas hutan sebagai penyerap karbon, termasuk melalui skema Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD+) yang memberikan insentif bagi upaya pengurangan deforestasi dan degradasi hutan, restorasi lahan gambut terdegradasi melalui pembasahan

kembali (rewetting) dan revegetasi, serta pengelolaan hutan lestari yang mempertahankan fungsi penyerapan karbon jangka panjang.

Indonesia telah menetapkan target penurunan emisi Gas Rumah Kaca dalam dokumen Nationally Determined Contribution (NDC), dengan sektor kehutanan dan penggunaan lahan menjadi salah satu kontributor utama pencapaian target tersebut, mengingat besarnya potensi penyerapan karbon dari hutan tropis Indonesia, termasuk hutan dan lahan gambut Kalimantan Tengah yang menyimpan cadangan karbon dalam jumlah sangat besar.

KATA KUNCI

Adaptasi • Mitigasi • REDD+ • Kebakaran Gambut • Masyarakat Peduli Api

RINGKASAN BAB

Bab ini membahas dampak perubahan iklim terhadap struktur, fungsi, dan keanekaragaman hayati hutan, karakteristik khas kebakaran lahan gambut, serta strategi adaptasi dan mitigasi berbasis hutan termasuk skema REDD+ dan program berbasis masyarakat.

Latihan / Evaluasi

1. Jelaskan perbedaan mendasar antara strategi adaptasi dan mitigasi perubahan iklim.
2. Mengapa kebakaran lahan gambut lebih sulit dipadamkan dibandingkan kebakaran pada tanah mineral?

Soal Diskusi

Diskusikan efektivitas program Masyarakat Peduli Api (MPA) sebagai strategi adaptasi berbasis komunitas di Kalimantan Tengah.

Refleksi

Refleksikan peran apa yang dapat Anda ambil sebagai calon rimbawan dalam mendukung upaya mitigasi perubahan iklim berbasis hutan.

Tugas Individu

Identifikasi satu program adaptasi atau mitigasi perubahan iklim sektor kehutanan yang berjalan di Kalimantan Tengah, lalu jelaskan mekanismenya.

Tugas Kelompok

Diskusikan dan rancang usulan sederhana program mitigasi kebakaran lahan gambut berbasis kearifan lokal untuk suatu desa contoh.

BAB 14

KLIMATOLOGI HUTAN TROPIS DAN KALIMANTAN TENGAH

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu menjelaskan karakteristik iklim hutan hujan tropis serta studi kasus klimatologi Kalimantan Tengah.

14.1 Karakteristik Iklim Hutan Hujan Tropis

Hutan hujan tropis, sebagaimana namanya, tumbuh pada wilayah dengan curah hujan tinggi dan merata sepanjang tahun serta suhu udara yang hangat dan relatif stabil. Kriteria umum yang sering digunakan untuk mengidentifikasi kawasan hutan hujan tropis adalah curah hujan tahunan minimal 2.000 milimeter dengan tidak lebih dari satu hingga dua bulan kering dalam setahun, serta suhu rata-rata bulanan yang jarang turun di bawah 18 derajat Celsius.

Kombinasi kondisi iklim yang stabil dan mendukung sepanjang tahun inilah yang memungkinkan hutan hujan tropis mencapai tingkat keanekaragaman hayati tertinggi di antara seluruh bioma daratan bumi, dengan estimasi lebih dari separuh spesies tumbuhan dan hewan darat dunia ditemukan pada bioma ini, meski luasnya hanya sekitar tujuh persen dari total daratan bumi.

[Gambar 14.1 Hutan hujan tropis dataran rendah Kalimantan dengan kabut pagi]

Foto belum disisipkan — silakan lengkapi dengan foto asli berlisensi bebas/berizin.

Kata kunci Google Images: "tropical rainforest Borneo morning mist lowland"

14.2 Iklim dan Ekosistem Gambut Kalimantan Tengah

Kalimantan Tengah memiliki kekhasan tersendiri karena sebagian besar kawasan hutannya tumbuh di atas lahan gambut, sebuah ekosistem yang terbentuk dari akumulasi bahan organik selama ribuan tahun akibat kondisi

tergenang air yang persisten. Iklim tropis basah dengan curah hujan tinggi menjadi prasyarat utama terbentuknya dan bertahannya ekosistem gambut, karena gambut memerlukan pasokan air yang konsisten untuk mempertahankan kondisi anaerobik yang mencegah dekomposisi sempurna bahan organik.

Hubungan antara iklim dan gambut ini bersifat dua arah: iklim basah menjaga kelestarian gambut, sementara gambut yang sehat turut menjaga kestabilan iklim mikro dan regional melalui fungsi penyimpanan air dan karbon dalam jumlah masif. Ketika keseimbangan ini terganggu, baik akibat perubahan iklim maupun aktivitas drainase manusia, dampaknya dapat berlangsung dalam skala yang jauh lebih luas dari yang dibayangkan.

14.3 Studi Kasus: Kabut Asap dan Karhutla Kalimantan Tengah

Peristiwa kabut asap besar yang melanda Kalimantan Tengah pada 2015 dan 2019 menjadi salah satu studi kasus paling penting dalam memahami interaksi kompleks antara iklim, lahan gambut, dan aktivitas manusia. Kedua peristiwa tersebut terjadi bertepatan dengan kondisi El Nino kuat yang memperpanjang musim kemarau, ditambah kondisi lahan gambut eks-PLG yang telah terdrainase sejak akhir 1990-an sehingga sangat rentan terbakar.

Data pemantauan titik panas (hotspot) dari satelit selama periode tersebut menunjukkan konsentrasi kejadian kebakaran yang sangat tinggi di kawasan eks-PLG Kabupaten Kapuas dan Pulang Pisau, mengonfirmasi keterkaitan antara riwayat drainase gambut dengan tingkat kerentanan kebakaran. Pembelajaran dari kedua peristiwa ini mendorong percepatan program restorasi gambut nasional melalui pembentukan Badan Restorasi Gambut pada 2016.

14.4 Studi Kasus: Restorasi Gambut dan Perbaikan Iklim Mikro

Program restorasi gambut melalui pendekatan 3R (Rewetting, Revegetation, Revitalization) yang dijalankan di berbagai kawasan Kalimantan Tengah menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam memperbaiki kondisi iklim mikro kawasan gambut terdegradasi. Pembangunan sekat kanal untuk menaikkan muka air tanah gambut tidak hanya mengurangi risiko kebakaran, tetapi juga secara bertahap memulihkan kelembapan mikroklimat kawasan yang sebelumnya mengering akibat drainase berlebihan.

Pemantauan pada beberapa lokasi restorasi menunjukkan bahwa kawasan yang berhasil direstorasi cenderung memiliki suhu udara siang hari yang lebih rendah dan kelembapan yang lebih tinggi dibandingkan kawasan gambut terdegradasi di sekitarnya yang belum direstorasi, mengindikasikan mulai pulihnya fungsi mikroklimat alami kawasan tersebut seiring perbaikan tata air gambut.

[Gambar 14.4 Kegiatan restorasi gambut dan sekat kanal di Kalimantan Tengah]

Foto belum disisipkan — silakan lengkapi dengan foto asli berlisensi bebas/berizin.

Kata kunci Google Images: "peatland restoration canal blocking Kalimantan"

KATA KUNCI

Hutan Hujan Tropis • Ekosistem Gambut • Kabut Asap • Karhutla • Restorasi Gambut

RINGKASAN BAB

Bab ini menguraikan karakteristik iklim hutan hujan tropis, hubungan erat antara iklim dan ekosistem gambut Kalimantan Tengah, studi kasus kabut asap

dan karhutla 2015/2019, serta dampak positif restorasi gambut terhadap perbaikan iklim mikro kawasan.

Latihan / Evaluasi

1. Jelaskan kriteria iklim yang menjadi prasyarat terbentuknya hutan hujan tropis.
2. Uraikan keterkaitan antara riwayat drainase eks-PLG dengan kerentanan kebakaran Kalimantan Tengah.

Soal Diskusi

Diskusikan mengapa restorasi gambut dapat memperbaiki kondisi iklim mikro suatu kawasan, tidak hanya mengurangi risiko kebakaran.

Refleksi

Refleksikan bagaimana pengalaman Anda (atau cerita dari keluarga/masyarakat) mengenai peristiwa kabut asap yang pernah terjadi di Kalimantan Tengah.

Tugas Individu

Cari data luas kebakaran lahan Kalimantan Tengah pada 2015 dan 2019, lalu bandingkan dengan tahun-tahun non-El Nino.

Tugas Kelompok

Diskusikan dan susun peta pembelajaran (lessons learned) dari sejarah eks-PLG bagi kebijakan pengelolaan gambut saat ini.

BAB 15

PENGAMATAN DAN ANALISIS DATA IKLIM

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu mengoperasikan instrumen klimatologi dasar serta melakukan analisis data iklim secara sederhana.

15.1 Stasiun Klimatologi: Mata dan Telinga Kita terhadap Atmosfer

Stasiun klimatologi adalah lokasi pengamatan yang dilengkapi berbagai instrumen untuk mencatat unsur-unsur cuaca dan iklim secara sistematis dan berkelanjutan. Di Indonesia, jaringan stasiun klimatologi dikelola oleh Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), tersebar di berbagai wilayah termasuk Kalimantan Tengah, dengan stasiun utama berlokasi di sekitar Bandar Udara Tjilik Riwut, Palangka Raya.

Sebuah stasiun klimatologi standar umumnya dilengkapi taman alat (open area) yang berisi sangkar meteorologi berisi termometer dan higrometer, ombrometer, anemometer, alat pengukur lama penyinaran matahari, serta panci penguapan (evaporation pan) untuk mengukur laju evaporasi. Penempatan taman alat harus memenuhi standar tertentu, seperti area terbuka tanpa halangan bangunan atau pohon tinggi di sekitarnya, untuk memastikan data yang direkam representatif terhadap kondisi atmosfer wilayah tersebut.

[Gambar 15.1 Taman alat stasiun klimatologi BMKG dengan berbagai instrumen pengukur cuaca]

*Foto belum disisipkan — silakan lengkapi dengan foto asli berlisensi bebas/berizin.
Kata kunci Google Images: "BMKG weather station instrument garden Indonesia"*

15.2 Sumber Data Iklim Selain Pengamatan Lapangan Langsung

Selain data dari stasiun pengamatan darat, perkembangan teknologi memungkinkan diperolehnya data iklim dari sumber lain yang memiliki cakupan

spasial jauh lebih luas. Data satelit cuaca, misalnya dari satelit Himawari milik Jepang yang datanya rutin digunakan BMKG, memungkinkan pemantauan tutupan awan, suhu permukaan, dan titik panas kebakaran secara hampir real-time di seluruh wilayah Indonesia, termasuk kawasan terpencil yang tidak memiliki stasiun pengamatan darat.

Data reanalysis, seperti yang disediakan oleh European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) melalui produk ERA5, juga semakin banyak dimanfaatkan peneliti kehutanan untuk memperoleh data iklim historis pada lokasi yang tidak memiliki stasiun pengamatan langsung, meski tetap memerlukan validasi terhadap data pengamatan lapangan setempat untuk memastikan akurasinya pada skala lokal.

15.3 Teknik Analisis Data Iklim Sederhana

Analisis data iklim untuk keperluan kehutanan tidak selalu memerlukan metode statistik yang rumit. Analisis sederhana seperti perhitungan rata-rata bulanan, penyusunan grafik curah hujan tahunan (biasa disebut diagram ombrotermik yang menggabungkan data suhu dan curah hujan dalam satu grafik), maupun perhitungan tren sederhana menggunakan regresi linear terhadap data deret waktu sudah cukup memberikan gambaran awal yang bermanfaat bagi perencanaan kehutanan.

Untuk analisis yang lebih mendalam, seperti deteksi anomali iklim atau analisis kejadian ekstrem, diperlukan pendekatan statistik yang lebih khusus, namun prinsip dasarnya tetap sama: data mentah yang berlimpah tidak banyak

bermanfaat apabila tidak diolah dan disajikan dalam bentuk yang mudah diinterpretasikan oleh pengambil keputusan di lapangan.

15.4 Contoh Sederhana Diagram Ombrothermik

Diagram ombrothermik menggabungkan data curah hujan (biasanya sebagai batang/bar) dan suhu udara (biasanya sebagai garis) dalam satu grafik dengan skala tertentu, umumnya skala curah hujan dibuat dua kali skala suhu (misalnya 20 mm curah hujan setara dengan 10°C suhu), sehingga periode ketika garis suhu berada di atas batang curah hujan dapat diinterpretasikan sebagai periode kering secara visual, mengikuti konvensi yang dikembangkan Henri Gaussen.

Sebagai latihan, mahasiswa dapat mencoba menyusun diagram ombrothermik sederhana menggunakan data curah hujan dan suhu bulanan Kota Palangka Raya yang dapat diperoleh dari situs resmi BMKG, kemudian menginterpretasikan pola musim basah dan musim kering yang tergambar, sebagai latihan awal sebelum melakukan analisis data iklim yang lebih kompleks pada tugas akhir maupun penelitian skripsi kelak.

KATA KUNCI

Stasiun Klimatologi • Data Satelit • Reanalysis • Diagram Ombrothermik • BMKG

RINGKASAN BAB

Bab ini menjelaskan fungsi dan kelengkapan stasiun klimatologi, sumber data iklim alternatif seperti data satelit dan reanalysis, teknik analisis data iklim sederhana, serta cara menyusun dan menginterpretasikan diagram ombrothermik.

Latihan / Evaluasi

1. Sebutkan instrumen yang umum terdapat pada taman alat stasiun klimatologi beserta fungsinya.
2. Jelaskan manfaat data reanalysis seperti ERA5 bagi penelitian kehutanan di wilayah tanpa stasiun pengamatan.

Soal Diskusi

Diskusikan kelebihan dan keterbatasan penggunaan data satelit dibandingkan data pengamatan lapangan langsung.

Refleksi

Refleksikan pentingnya keterampilan mengolah data iklim bagi rimbawan di era digital saat ini.

Tugas Individu

Unduh data curah hujan dan suhu bulanan Kota Palangka Raya dari BMKG, lalu susun diagram ombrothermik sederhana.

Tugas Kelompok

Diskusikan dan presentasikan cara mengakses serta menafsirkan data titik panas (hotspot) dari citra satelit untuk pemantauan karhutla.

BAB 16

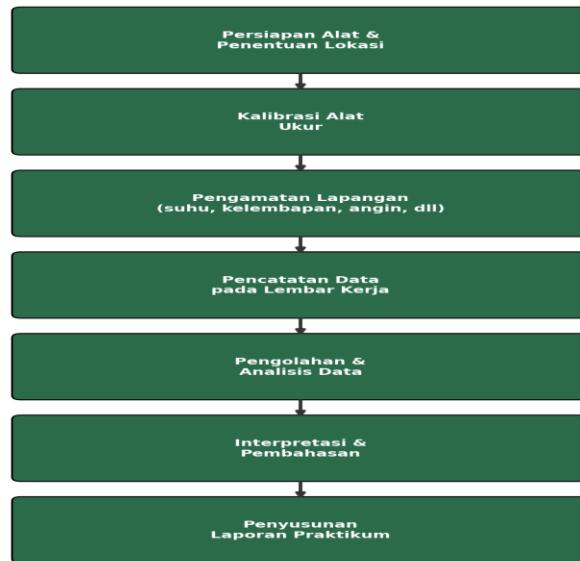
PRAKTIKUM KLIMATOLOGI HUTAN

Sub-CPMK: Mahasiswa mampu melaksanakan pengamatan lapangan unsur iklim dan menyusun laporan praktikum klimatologi hutan secara sistematis.

16.1 Tujuan dan Persiapan Umum Praktikum

Praktikum klimatologi hutan dirancang untuk memberikan pengalaman langsung kepada mahasiswa dalam mengoperasikan instrumen pengukuran cuaca dasar serta melatih kemampuan menganalisis data iklim dari kondisi lapangan yang sesungguhnya. Kegiatan praktikum sebaiknya dilaksanakan pada dua lokasi pembandingan, yaitu area terbuka (misalnya lapangan kampus) dan area bertajuk hutan (misalnya kawasan hutan pendidikan atau arboretum), untuk memungkinkan mahasiswa membandingkan langsung perbedaan mikroklimat antara kedua kondisi tersebut.

Persiapan praktikum meliputi pengecekan kalibrasi seluruh instrumen yang akan digunakan, penyusunan jadwal pengamatan pada beberapa waktu berbeda dalam sehari (misalnya pukul 07.00, 13.00, dan 17.00 waktu setempat) untuk menangkap variasi diurnal, serta penyiapan lembar kerja pencatatan data yang terstruktur.

Alur Kerja Praktikum Klimatologi Hutan Lapangan

Sumber: diolah oleh penulis, disarikan dari prosedur umum praktikum klimatologi/agroklimatologi perguruan tinggi kehutanan.

Gambar 16.1 Alur kerja praktikum klimatologi hutan lapangan

Sumber: diolah oleh penulis, disarikan dari prosedur umum praktikum klimatologi/agroklimatologi perguruan tinggi kehutanan.

16.2 Praktikum 1: Pengamatan Suhu dan Kelembapan Udara

Mahasiswa melakukan pengukuran suhu dan kelembapan udara menggunakan termometer bola basah-bola kering atau higrometer digital pada kedua lokasi pembandingan (area terbuka dan bawah tajuk hutan), pada tiga waktu pengamatan berbeda dalam sehari. Data yang diperoleh kemudian dibandingkan untuk menganalisis pengaruh tajuk hutan terhadap suhu dan kelembapan udara di bawahnya, serta pola variasi diurnal pada masing-masing lokasi.

16.3 Praktikum 2: Pengamatan Intensitas Cahaya

Menggunakan lux meter atau aplikasi pengukur cahaya pada telepon pintar yang telah dikalibrasi, mahasiswa mengukur intensitas cahaya pada berbagai titik di bawah tajuk hutan dengan tingkat kerapatan berbeda, dibandingkan dengan intensitas cahaya di area terbuka pada waktu yang sama. Data ini digunakan untuk menghitung persentase transmisi cahaya tajuk (canopy light

transmission), yaitu perbandingan intensitas cahaya di bawah tajuk terhadap intensitas cahaya di area terbuka, dikalikan seratus persen.

16.4 Praktikum 3: Pengamatan Angin dan Curah Hujan

Mahasiswa mengukur kecepatan dan arah angin menggunakan anemometer portabel pada beberapa titik pengamatan, termasuk perbandingan antara area terbuka dan bawah tajuk hutan yang biasanya menunjukkan penurunan kecepatan angin signifikan akibat efek penahan (buffering) oleh tajuk pohon. Untuk pengamatan curah hujan, mahasiswa dapat memasang ombrometer sederhana pada lokasi praktikum selama periode tertentu (misalnya satu minggu) untuk mencatat akumulasi curah hujan harian, sekaligus membandingkannya dengan data curah hujan resmi dari stasiun BMKG terdekat sebagai bahan validasi.

16.5 Praktikum 4: Analisis Data Sekunder BMKG

Selain pengamatan langsung, mahasiswa juga dilatih mengunduh dan mengolah data iklim historis dari basis data resmi BMKG untuk stasiun pengamatan terdekat, kemudian menyusun rekapitulasi data bulanan, grafik ombrothermik sederhana, serta melakukan klasifikasi tipe iklim menggunakan metode Schmidt-Ferguson atau Oldeman berdasarkan data yang diperoleh. Latihan ini penting untuk membekali mahasiswa dengan kemampuan mengakses dan mengolah data iklim resmi yang akan sangat berguna pada penelitian tugas akhir.

16.6 Praktikum 5: Analisis Mikroklimat Bawah Tegakan

Sebagai praktikum puncak yang mengintegrasikan seluruh keterampilan yang telah dipelajari, mahasiswa melakukan pengamatan simultan seluruh unsur

iklim (suhu, kelembapan, intensitas cahaya, kecepatan angin) pada transek yang membentang dari area terbuka menuju bagian dalam tegakan hutan, dengan titik pengamatan setiap interval jarak tertentu (misalnya setiap 10 meter). Data hasil pengamatan kemudian disajikan dalam bentuk grafik gradien mikroklimat yang menunjukkan bagaimana kondisi iklim berubah secara bertahap seiring semakin masuk ke dalam tegakan hutan.

16.7 Format Laporan Praktikum

Laporan praktikum disusun dengan sistematika baku yang mencakup: (1) Judul dan tujuan praktikum; (2) Waktu dan lokasi pelaksanaan; (3) Alat dan bahan yang digunakan beserta spesifikasinya; (4) Prosedur kerja/metode pengamatan; (5) Data hasil pengamatan dalam bentuk tabel; (6) Pengolahan dan analisis data, termasuk grafik atau perhitungan yang relevan; (7) Pembahasan yang menghubungkan hasil pengamatan dengan teori yang telah dipelajari; (8) Kesimpulan; serta (9) Dokumentasi kegiatan lapangan.

Laporan dikumpulkan dalam bentuk cetak maupun digital sesuai ketentuan yang ditetapkan dosen pengampu, dengan penilaian yang mempertimbangkan ketepatan data, kedalaman analisis, serta kemampuan mahasiswa menghubungkan hasil pengamatan lapangan dengan konsep teoretis yang telah dipelajari sepanjang perkuliahan.

KATA KUNCI

Praktikum • Instrumentasi • Transek Mikroklimat • Laporan Praktikum • Pengamatan Lapangan

RINGKASAN BAB

Bab ini memberikan panduan lengkap pelaksanaan tujuh kegiatan praktikum klimatologi hutan, mulai dari pengamatan suhu, kelembapan, cahaya, angin, curah hujan, analisis data sekunder BMKG, hingga analisis mikroklimat transek bawah tegakan, disertai format laporan praktikum yang sistematis.

Latihan / Evaluasi

1. Jelaskan tujuan dilakukannya pengamatan pada dua lokasi pembanding (terbuka dan bawah tajuk) dalam praktikum klimatologi hutan.
2. Sebutkan komponen utama yang harus ada dalam laporan praktikum klimatologi hutan.

Soal Diskusi

Diskusikan tantangan teknis yang mungkin dihadapi saat melakukan pengamatan mikroklimat pada transek panjang di dalam hutan.

Refleksi

Refleksikan keterampilan baru apa yang Anda peroleh setelah melaksanakan seluruh rangkaian praktikum klimatologi hutan ini.

Tugas Individu

Susun rencana kerja (jadwal dan pembagian tugas) pribadi untuk pelaksanaan salah satu praktikum yang telah dijelaskan pada bab ini.

Tugas Kelompok

Laksanakan salah satu praktikum secara berkelompok, lalu susun laporan lengkap sesuai format yang telah ditetapkan.

LAMPIRAN: RUBRIK PENILAIAN TUGAS DAN PRAKTIKUM

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

Aspek Penilaian	Bobot	Kriteria Nilai Baik (80-100)
Ketepatan Konsep & Data	30%	Konsep tepat, data/perhitungan benar, sumber jelas
Kedalaman Analisis	30%	Analisis kritis, menghubungkan teori dengan konteks lapangan
Keterampilan Praktikum	25%	Prosedur pengamatan benar, data lapangan akurat
Sistematika & Bahasa	15%	Terstruktur, bahasa ilmiah, sesuai format laporan

GLOSARIUM

Klimatologi

Cabang ilmu yang mempelajari kondisi rata-rata atmosfer suatu wilayah dalam jangka waktu panjang, umumnya minimal 30 tahun.

Meteorologi

Cabang ilmu yang mempelajari kondisi atmosfer jangka pendek, menjadi dasar peramalan cuaca.

Mikroklimat

Kondisi iklim pada skala ruang yang sangat sempit, seperti di bawah tajuk pohon atau permukaan tanah tertentu.

ITCZ

Intertropical Convergence Zone, zona pertemuan angin pasat yang memengaruhi pola musim di wilayah tropis.

Albedo

Persentase radiasi matahari yang dipantulkan kembali oleh suatu permukaan.

Evapotranspirasi

Gabungan proses evaporasi dari permukaan lahan/air dan transpirasi dari tumbuhan.

Lapse Rate

Laju penurunan suhu udara terhadap kenaikan ketinggian.

Inversi Suhu

Kondisi ketika suhu udara dekat permukaan lebih rendah dibandingkan lapisan di atasnya, berkebalikan dari kondisi normal.

ENSO

El Nino Southern Oscillation, fenomena interaksi laut-atmosfer di Samudra Pasifik yang memengaruhi variabilitas iklim antar-tahun.

Nilai Q

Perbandingan rata-rata bulan kering dengan rata-rata bulan basah dalam klasifikasi iklim Schmidt-Ferguson.

Smouldering Fire

Pembakaran membara tanpa nyala api yang terjadi di bawah permukaan gambut kering.

Edge Effect

Perubahan kondisi mikroklimat pada zona perbatasan antara hutan dan area terbuka akibat fragmentasi.

REDD+

Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation, skema insentif pengurangan emisi dari deforestasi dan degradasi hutan.

Diagram Ombrothermik

Grafik gabungan data curah hujan dan suhu bulanan untuk mengidentifikasi periode kering dan basah.

Sunfleck

Bercak cahaya matahari yang muncul sesaat di lantai hutan ketika celah tajuk terbuka akibat gerakan angin.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahrens, C.D. (2012). *Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment* (10th ed.). Cengage Learning.
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). (2023). *Buletin Analisis Hujan Bulanan dan Prakiraan Musim*. Jakarta: BMKG.
- Badan Restorasi Gambut dan Mangrove (BRGM). (2021). *Grand Design Restorasi Gambut dan Mangrove*. Jakarta: BRGM.
- Beck, H.E., Zimmermann, N.E., McVicar, T.R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E.F. (2018). Present and future Koppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*, 5, 180214.
- Bonan, G.B. (2008). Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *Science*, 320(5882), 1444-1449.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2020). *Global Forest Resources Assessment 2020: Main Report*. Rome: FAO.
- Geiger, R., Aron, R.H., & Todhunter, P. (2009). *The Climate Near the Ground* (7th ed.). Rowman & Littlefield.
- Hooijer, A., Page, S., Jauhiainen, J., Lee, W.A., Lu, X.X., Idris, A., & Anshari, G. (2012). Subsidence and carbon loss in drained tropical peatlands. *Biogeosciences*, 9(3), 1053-1071.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report*. Cambridge University Press.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia (KLHK). (2022). *Statistik Lingkungan Hidup dan Kehutanan Indonesia*. Jakarta: KLHK.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World Map of the Koppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3), 259-263.
- Malhi, Y., Roberts, J.T., Betts, R.A., Killeen, T.J., Li, W., & Nobre, C.A. (2008). Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. *Science*, 319(5860), 169-172.
- Oke, T.R. (1987). *Boundary Layer Climates* (2nd ed.). Routledge.

- Page, S.E., & Hooijer, A. (2016). In the line of fire: the peatlands of Southeast Asia. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 371(1696).
- Parker, G.G. (1995). Structure and microclimate of forest canopies. In *Forest Canopies* (pp. 73-106). Academic Press.
- Schmidt, F.H., & Ferguson, J.H.A. (1951). *Rainfall Types Based on Wet and Dry Period Ratios for Indonesia*. Jakarta: Kementerian Perhubungan.
- World Meteorological Organization (WMO). (2021). *State of the Global Climate 2020*. Geneva: WMO.

INDEKS

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

Albedo, 24
Atmosfer, 20-23
ENSO, 55
El Nino, 55, 57
Evapotranspirasi, 40-42
ITCZ, 22
Inversi suhu, 30
Kabut asap, 30, 60
Klasifikasi Koppen, 51
Klasifikasi Oldeman, 52
Klasifikasi Schmidt-Ferguson, 52
Mikroklimat, 44-46
Neraca air, 41
Neraca radiasi, 26
Presipitasi, 37
Radiasi matahari, 25-28

TENTANG PENULIS

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



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