

Dr. Sri Cahyo Wahyono, S.Si., M.Si.
Prof. Dr. Ir Ahmad Kurnain, M.Sc.
Prof. Ir. Iryanti Fatyasari Nata, S.T., M.T., Ph.D.
Dr. Ir. Mufidah Asyari, M.P.



PEMULIHAN LAHAN GAMBUT

Pendekatan Fisika, Kimia,
dan Kelistrikan Bumi



_____ Pemulihan _____

LAHAN GAMBUT

Pendekatan Fisika, Kimia, dan Kelistrikan Bumi

Dr. Sri Cahyo Wahyono, S.Si., M.Si.

Prof. Dr. Ir Ahmad Kurnain, M.Sc.

Prof. Ir. Iryanti Fatyasari Nata, S.T., M.T., Ph.D.

Dr. Ir. Mufidah Asyari, M.P.



PENERBIT KBM INDONESIA

adalah penerbit dengan misi memudahkan proses penerbitan buku-buku penulis di tanah air Indonesia, serta menjadi media *sharing* proses penerbitan buku.

PEMULIHAN LAHAN GAMBUT

Pendekatan Fisika, Kimia, dan Kelistrikan Bumi

Copyright @ 2026 By Dr. Sri Cahyo Wahyono, S.Si., M.Si., dkk

All right reserved

Penulis

Dr. Sri Cahyo Wahyono, S.Si., M.Si.

Prof. Dr. Ir Ahmad Kurnain, M.Sc.

Prof. Ir. Iryanti Fatyasari Nata, S.T., M.T., Ph.D.

Dr. Ir. Mufidah Asyari, M.P.

Desain Sampul

Eca Art

Tata Letak

Husnud Diniyah

Editor

Dr. Muhamad Husein Maruahey, Drs., M.Sc.

Background isi buku di ambil dari <https://www.freepik.com/>

Official

Depok, Sleman-Jogjakarta (Kantor)

Penerbit Karya Bakti Makmur (KBM) Indonesia

Anggota IKAPI/No. IKAPI 279/JTI/2021

081357517526 (Tlpn/WA)

Website

<https://penerbitkbm.com>

www.penerbitbukumurah.com

Email

naskah@penerbitkbm.com

Distributor

<https://penerbitkbm.com/toko-buku/>

Youtube

Penerbit KBM Sastrabook

Instagram

@penerbit.kbmindonesia

@penerbitbukujogja

ISBN: 978-634-278-269-9

Cetakan ke-1, April 2026

15,5 x 23 cm, iv + 122 halaman

Isi buku diluar tanggungjawab penerbit
Hak cipta merek KBM Indonesia sudah terdaftar di DJKI-Kemenkumham
dan isi buku dilindungi undang-undang.

Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau
memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini
tanpa seizin penerbit karena beresiko sengketa hukum

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

Undang-Undang No. 28 Tahun 2014 Tentang Hak Cipta

- i. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 100. 000. 000 (seratus juta rupiah).
- ii. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 500. 000. 000,00 (lima ratus juta rupiah).
- iii. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 1. 000. 000. 000,00 (satu miliar rupiah).
- iv. Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 4. 000. 000. 000,00 (empat miliar rupiah).

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penyusunan buku yang mengupas dinamika pemulihan lahan gambut ini dapat diselesaikan dengan baik.

Indonesia kerap dihadapkan pada tantangan besar berupa kebakaran hutan dan lahan gambut, terutama saat musim kemarau ekstrem. Peristiwa ini tidak hanya berdampak buruk pada aspek ekologi, ekonomi, dan sosial, tetapi juga memberikan efek lintas negara berupa paparan asap. Lahan gambut sendiri memiliki peran yang sangat krusial dalam ekosistem global karena tersusun dari material heterogen dengan proses kimiawi yang kompleks. Kebakaran secara signifikan mampu merombak karakteristik fisik dan kimia tanah tersebut, yang bermuara pada terganggunya produktivitas dan fungsi lingkungan.

Buku ini hadir untuk menyajikan kajian komprehensif mengenai laju pemulihan (*recovery*) tanah gambut pasca-kebakaran, dengan mengambil fokus pengamatan di Kesatuan Hidrologis Gambut (KHG) Sungai Balangan – Sungai Batangalai, Kalimantan Selatan. Melalui serangkaian analisis mendalam yang dilakukan secara bertahap (mulai dari lima, tujuh, hingga delapan tahun pasca-kejadian), karya ini menelaah secara rinci perubahan unsur kimia seperti kadar karbon, nitrogen, fosfor, kalium, dan pH, serta sifat fisika tanah yang meliputi *Bulk Density* (BD), kadar air, kadar serat, dan kadar abu.

Salah satu pendekatan menarik yang ditawarkan dalam buku ini adalah pemanfaatan pemetaan menggunakan sifat kelistrikan bumi. Dengan menganalisis nilai resistivitas tanah, kondisi bawah permukaan pada area yang luas dapat dipetakan secara presisi, sehingga sifat fisik dan kimia lahan gambut dapat diproyeksikan secara penampang vertikal.

Secara garis besar, kajian ini memberikan titik terang bahwa proses pemulihan lahan gambut di kawasan tersebut pada dasarnya menunjukkan tren yang positif dan relatif cepat. Namun, terdapat catatan kritis yang perlu menjadi perhatian bersama: lahan yang memiliki riwayat kebakaran berulang terbukti mengalami perlambatan laju pemulihan yang cukup drastis dibandingkan lahan yang hanya terbakar satu kali.

Penulis menyadari bahwa rampungnya penyusunan karya ini tidak lepas dari dukungan, bimbingan, serta kontribusi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, ucapan terima kasih yang setulus-tulusnya disampaikan kepada semua pihak yang telah memfasilitasi dan mendampingi kelancaran proses penyusunan buku ini.

Semoga buku ini dapat memperkaya khazanah literatur, serta menjadi rujukan referensi yang bermanfaat bagi akademisi, praktisi lingkungan, dan pemangku kebijakan dalam upaya pelestarian maupun restorasi lahan gambut di Indonesia. Penulis senantiasa menantikan kritik dan saran yang membangun demi penyempurnaan karya-karya di masa mendatang.

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii

Bab 01

LAHAN GAMBUT	1
A. Definisi dan Pembentukan Lahan Gambut ..	1
B. Karakteristik Ekosistem Gambut	10
C. Urgensi Pemulihan Lahan Gambut	16

Bab 02

SIFAT FISIKA LAHAN GAMBUT	23
A. Berat Volume/Berat Isi/ <i>Bulk Density</i> (BD) ..	27
B. Kadar Air	31
C. Kadar Abu	33
D. Kadar Serat	38
E. Derajat Keasaman (pH)	41

Bab 03

SIFAT KIMIA LAHAN GAMBUT	47
A. Kadar Karbon (C)	48
B. Kadar Nitrogen (N)	53
C. Kadar Fosfor (P)	59
D. Kadar Kalium (K)	64

Bab 04

TEORI KELISTRIKAN BUMI	69
A. Konsep Dasar Kelistrikan Bumi (Geolistrik) ..	69
B. Hubungan Sifat Fisika-Kimia Gambut dengan Parameter Kelistrikan	77

Bab
05

KESATUAN HIDROLOGIS GAMBUT (KHG) _____ 81

- A. Konsep dan Batasan Kesatuan Hidrologis Gambut (KHG) _____ 81
- B. Dinamika Fisika, Kimia, dan Kelistrikan dalam Lanskap KHG _____ 86

Bab
06

PENUTUP _____ 93

DAFTAR PUSTAKA _____ 97

PROFIL PENULIS _____ 119

Bab 01



LAHAN GAMBUT

A. Definisi dan Pembentukan Lahan Gambut

Lahan gambut merupakan lahan yang kurang bernilai ekonomis tetapi memiliki fungsi ekologis yang sangat penting, seperti fungsi hidrologi yang berperan dalam mengatur aliran dan menyimpan air. Kemampuannya menyerap air yang tinggi menjadikan rawa gambut berperan penting dalam mencegah dan mengurangi banjir. Tanah gambut tropika terbentuk melalui proses paludifikasi, yaitu penebalan gambut karena tumpukan bahan organik dalam keadaan tergenang air. Bahan utama gambut tropika adalah biomassa tumbuhan dengan proses pembentukan yang khas, maka sifat tanah gambut sangat berbeda dari sifat tanah mineral. Gambut didefinisikan sebagai tanah organik dan bercampur secara heterogen sisa tanaman yang sebagian membusuk, dengan beberapa kandungan pasir, lanau dan lempung dalam kondisi lembab. Proses laju dekomposisi bahan organik tersebut sangat lambat karena kondisi anaerob. Gambut terbentuk pada suatu cekungan dari adanya proses pengendapan bahan organik akibat penumpukan sisa tanaman yang membusuk.

Lahan gambut adalah suatu lahan yang memiliki kandungan bahan organik (C-organik > 18 %) dengan ketebalan 50 cm atau lebih. Bahan organik penyusun tanah gambut terbentuk dari sisa-sisa

tanaman yang belum melapuk sempurna karena kondisi lingkungan jenuh air dan miskin hara. Lahan gambut banyak dijumpai di daerah rawa belakang (*back swamp*) atau daerah cekungan yang drainasenya buruk.

Gambut terbentuk oleh timbunan sisa tanaman yang telah mati, baik yang sudah lapuk maupun belum. Proses dekomposisi yang lambat karena rendahnya biota pengurai anaerob, maka terjadilah timbunan yang terus bertambah. Pembentukan tanah gambut merupakan proses geogenik, yaitu pembentukan tanah yang disebabkan oleh proses deposisi dan transportasi, berbeda dengan proses pembentukan tanah mineral yang pada umumnya merupakan proses pedogenik.

Gambut terbentuk pada 10.000-5.000 tahun yang lalu (pada periode Holosin) dan gambut di Indonesia terbentuk antara 6.800-4.200 tahun yang lalu. Endapan gambut di Serawak dan Sumatera telah terakumulasi dalam 5.000 tahun terakhir, sedangkan gambut di Muara Kaman Kalimantan Timur umurnya 3.850-4.400 tahun. Umur gambut menggunakan teknik radio isotop di Kalimantan Tengah yaitu 6.230 tahun pada kedalaman 100 cm dan 8.260 tahun pada kedalaman 5 m. Pada lokasi Sungai Sebangau, Kalimantan Tengah berdasarkan dating karbon ^{14}C terdapat dua jenis, yaitu gambut muda (< 2.000 tahun yang lalu) dan gambut tua (6.000 tahun yang lalu). Penyusun gambut tropika terdiri atas tumbuhan berkayu atau pohon yang kaya kandungan selulosa dan lignin, sedangkan gambut beriklim sedang terdiri atas tanaman air (*sphagnum*) yang kandungan selulosa dan ligninnya rendah. Regenerasi gambut tropika lebih lambat dibandingkan pertumbuhan gambut beriklim sedang. Gambaran tersebut dapat dipahami bahwa pembentukan gambut memerlukan waktu yang sangat panjang.

Klasifikasi tanah gambut secara umum dikenal sebagai Organosol atau Histosols. Histosol jenuh mempunyai potensi air kurang dari 30 hari kumulatif selama tahun-tahun normal (dan tidak dikeringkan secara artifisial). Histosol lain yang memiliki potensi air positif di permukaan tanah selama lebih dari 21 jam setiap hari sepanjang tahun. Tanah gambut ini lebih tebal bahan tanah berserat daripada jenis bahan tanah organik lainnya.

Berdasarkan tingkat kematangannya, gambut dibedakan menjadi:

1. Gambut Saprik (Matang)

Gambut saprik (matang) adalah gambut yang sudah melapuk lanjut dan bahan asalnya tidak dikenali, berwarna coklat tua sampai hitam, dan bila diremas kandungan seratnya < 15 %.

Gambut saprik mewakili fase paling akhir dari proses dekomposisi material organik di lahan gambut. Pada tahap ini, sisa-sisa tumbuhan purba atau vegetasi pembentuknya telah terurai secara menyeluruh sehingga struktur aslinya hancur dan tidak dapat diidentifikasi lagi secara visual. Tingkat pelapukan yang sangat lanjut ini menghasilkan material yang bertekstur lebih halus, padat, dan menyatu mirip seperti lumpur pekat. Warna coklat tua hingga hitam yang mendominasi merupakan indikator tingginya proses humifikasi yang telah terjadi selama waktu yang sangat lama. Karena sebagian besar serat telah hancur menjadi partikel mikroskopis, saat tanah ini diambil dan diremas kuat, material yang tersisa di telapak tangan sangat sedikit (kurang dari 15 persen). Karakteristik fisik ini membuat gambut saprik memiliki daya dukung yang relatif lebih stabil dibandingkan dengan jenis gambut mentah, meskipun sifat menahan airnya tetap khas.

2. Gambut Hemik (Setengah Matang)

Gambut hemik (setengah matang) adalah gambut setengah lapuk, sebagian bahan asalnya masih bisa dikenali, berwarna coklat, dan bila diremas, bahan seratnya 15 – 75 %.

Gambut hemik berada pada fase transisi atau peralihan yang dinamis antara kondisi mentah dan matang. Proses penguraian materi organik pada lapisan ini berlangsung secara parsial. Oleh karena itu, jika diamati secara seksama, beberapa bentuk fisik dari material penyusun aslinya—seperti potongan kecil ranting, sisa akar, atau helaian daun mati—masih dapat dikenali dengan mata telanjang meskipun wujudnya sudah mulai rapuh dan lunak. Secara visual, warnanya umumnya didominasi oleh rona coklat menengah. Ketika dilakukan uji fisik dengan cara meremasnya, kepadatan serat kasar yang tertinggal di

tangan berkisar pada persentase pertengahan, yaitu antara 15 hingga 75 persen. Kondisi setengah matang ini menunjukkan bahwa aktivitas mikroorganisme dalam mengurai bahan organik sedang berlangsung perlahan akibat pembatasan oksigen di lingkungan yang basah.

3. Gambut Fibrik (Mentah)

Gambut fibrik (mentah) adalah gambut yang belum melapuk, bahan asalnya masih bisa dikenali, berwarna coklat, dan bila diremas >75 % seratnya masih tersisa.

Gambut fibrik merupakan wujud paling awal dan paling murni dari siklus pembentukan tanah gambut. Pada lapisan ini, tumpukan material organik nyaris belum mengalami proses pelapukan secara berarti. Lingkungan alami yang selalu tergenang air menghambat pasokan oksigen secara drastis, sehingga bakteri maupun jamur pengurai tidak dapat bekerja secara optimal untuk menghancurkan biomassa. Akibatnya, struktur bahan asal pembentuknya seperti serasah daun, dahan, dan bongkahan kayu masih terlihat sangat jelas, utuh, dan kasar. Warnanya cenderung lebih cerah, umumnya cokelat muda hingga kecokelatan kusam. Karakteristik utamanya sangat terlihat dari tingginya kandungan serat kasar; ketika segenggam gambut mentah ini diremas, air akan mengalir keluar dengan mudah layaknya spons, namun ampas serat yang tertinggal di telapak tangan sangat masif, yakni melampaui 75 persen. Tekstur sarang (berongga besar) ini membuat gambut fibrik memiliki tingkat porositas yang sangat tinggi dan berfungsi sebagai penyimpan cadangan air yang luar biasa besar.

Berdasarkan tingkat kesuburannya, gambut dibedakan menjadi:

1. Gambut Eutrofik

Gambut eutrofik adalah gambut yang subur yang kaya akan bahan mineral dan basa-basa serta unsur hara lainnya. Gambut yang relatif subur biasanya adalah gambut yang tipis dan dipengaruhi oleh sedimen sungai atau laut,

Gambut eutrofik merupakan jenis gambut yang memiliki nilai agronomis paling menjanjikan karena kandungan nutrisinya yang relatif

melimpah. Kesuburan ini sebenarnya tidak muncul secara mandiri dari material gambut itu sendiri, melainkan berasal dari adanya proses pengayaan material eksternal secara berkesinambungan. Area gambut ini biasanya terbentuk di kawasan pinggiran yang berbatasan langsung dengan aliran sungai besar atau kawasan pesisir. Luapan air sungai yang membawa lumpur aluvial atau pengaruh pergerakan pasang surut air laut secara berkala membawa endapan mineral, basa-basa (seperti kalsium dan magnesium), serta unsur hara penting yang kemudian menyusup dan memperkaya lapisan gambut. Berkat proses pengayaan sedimen alami ini, lapisan gambutnya cenderung tipis (dangkal), memungkinkan sistem perakaran tanaman untuk menembus dan menjangkau lapisan tanah mineral subur yang berada tepat di bawahnya.

2. Gambut Mesotrofik

Gambut mesotrofik adalah gambut yang agak subur karena memiliki kandungan mineral dan basa sedang. Gambut mesotrofik menduduki posisi pertengahan atau transisi dalam skala tingkat kesuburan alami lahan gambut. Tingkat pasokan nutrisinya tergolong moderat; tidak selimpah eutrofik, namun kondisinya jauh lebih baik dibandingkan kawasan yang sepenuhnya miskin hara. Situasi lingkungan ini umumnya terbentuk karena lokasi lahan mulai bergeser menjauh dari sumber utama pembawa sedimen mineral, namun secara topografis masih sesekali menerima limpasan air permukaan yang membawa sedikit unsur hara tambahan dari wilayah sekitarnya. Akibatnya, kandungan mineral, ketersediaan basa, dan tingkat keasamannya berada pada level yang seimbang atau sedang. Lingkungan ini masih cukup memadai untuk menyokong kehidupan berbagai jenis tanaman hutan rawa spesifik, meskipun produktivitas alaminya membutuhkan pengelolaan tersendiri jika ingin dimaksimalkan.

3. Gambut Oligotrofik

Gambut oligotrofik adalah gambut yang tidak subur karena miskin mineral dan basa. Gambut oligotrofik merepresentasikan ekosistem lahan gambut yang paling ekstrem dan rapuh dengan tingkat kesuburan

alami yang paling rendah. Kawasan ini umumnya berada jauh di bagian pedalaman lanskap, sering kali membentuk formasi menyerupai kubah tebal yang bagian tengahnya lebih tinggi dari permukaan air tanah atau sungai di sekitarnya. Karena posisinya yang terisolasi dan lebih tinggi tersebut, lapisan gambut ini terputus sama sekali dari suplai sedimen kaya mineral maupun aliran air permukaan. Satu-satunya sumber air dan input nutrisi bagi ekosistem ini bergantung mutlak pada air hujan yang turun (ombrogen), yang secara alami memang sangat miskin unsur hara. Akibat minimnya kandungan mineral makro dan ketiadaan kation basa penetral, gambut oligotrofik memiliki tingkat keasaman yang sangat tinggi. Kondisi lingkungan yang keras ini menjadikannya hanya mampu ditumbuhi oleh vegetasi khusus yang telah berevolusi dan beradaptasi secara luar biasa terhadap kondisi defisit nutrisi.

Tingkat kesuburan gambut ditentukan oleh kandungan bahan mineral dan basa, bahan substratum/dasar gambut dan ketebalan lapisan gambut. Gambut di Sumatra relatif lebih subur dibandingkan dengan gambut di Kalimantan. Berdasarkan lingkungan pembentukannya, gambut dibedakan atas:

- a. gambut ombrogen yaitu gambut yang terbentuk pada lingkungan yang hanya dipengaruhi oleh air hujan,
- b. gambut topogen yaitu gambut yang terbentuk di lingkungan yang mendapat pengayaan air pasang. Dengan demikian gambut topogen akan lebih kaya mineral dan lebih subur dibandingkan dengan gambut ombrogen.

Berdasarkan kedalamannya gambut dibedakan menjadi:

1. Gambut Dangkal (50 – 100 cm),

Gambut dangkal merupakan klasifikasi lahan gambut yang lapisan material organik relatif tipis, yakni hanya berkisar antara setengah hingga satu meter sebelum menyentuh lapisan tanah mineral (substrat) di bawahnya. Karena ketebalannya yang terbatas ini, karakteristik fisik dan kimia gambut dangkal sangat kuat dipengaruhi oleh jenis tanah mineral yang menjadi dasarnya, baik itu berupa tanah liat, pasir, maupun endapan aluvial. Akar tanaman, terutama jenis

tanaman tahunan atau pohon, dapat dengan mudah menembus lapisan gambut ini dan mengisap unsur hara langsung dari tanah mineral di bawahnya.

Dari segi pemanfaatan dan pengelolaan, gambut dangkal sering kali dianggap sebagai lahan yang paling ideal dan produktif untuk kegiatan pertanian atau perkebunan dibandingkan kelas kedalaman lainnya. Ketersediaan unsur hara yang disumbangkan oleh lapisan bawahnya membuat tanah ini secara alami lebih subur. Meski demikian, pengelolaan tata air (hidrologi) tetap harus dilakukan secara hati-hati agar lapisan organik yang tipis ini tidak cepat mengalami penyusutan (*subsidence*) atau teroksidasi yang berujung pada kerusakan lahan.

2. Gambut Sedang (100 – 200 cm),

Gambut sedang memiliki ketebalan lapisan organik yang mencapai satu hingga dua meter. Pada tingkat kedalaman ini, pengaruh dari tanah mineral di bawahnya mulai berkurang secara signifikan, terutama bagi tanaman dengan sistem perakaran dangkal atau tanaman semusim. Bagian permukaan gambut sedang cenderung mulai menunjukkan sifat asli gambut yang miskin unsur hara dan memiliki tingkat keasaman (pH) yang cukup tinggi, karena jaraknya yang semakin jauh dari sumber mineral penyubur di dasar cekungan.

Dalam konteks budi daya, pemanfaatan gambut sedang membutuhkan intervensi teknologi pertanian yang lebih intensif, seperti pemberian amelioran (bahan pembenah tanah seperti kapur atau abu) dan pemupukan yang terukur. Selain itu, pembuatan sistem drainase atau kanal pembasah (*canal blocking*) menjadi sangat krusial di lahan ini. Jika tata air tidak dijaga, gambut sedang sangat rentan terhadap kekeringan di musim kemarau, yang menjadikannya material bahan bakar yang sangat mudah tersulut dan memicu kebakaran bawah permukaan (*ground fire*).

3. Gambut Dalam (200 – 300 cm), dan

Gambut dalam adalah formasi lahan basah dengan akumulasi materi organik yang sangat tebal, mencapai dua hingga tiga meter. Pada

fase ini, ekosistem gambut sepenuhnya terisolasi dari lapisan tanah mineral di dasar. Secara hidrologis dan nutrisi, permukaan gambut dalam sangat bergantung pada air hujan (*ombrogen*). Hal ini menyebabkan lingkungan tanahnya menjadi sangat asam (oligotrofik) dan minim unsur hara makro maupun mikro, sehingga secara alami hanya mampu ditumbuhi oleh vegetasi hutan rawa gambut spesifik yang telah beradaptasi dengan kondisi ekstrem tersebut.

Mengingat ketebalannya, gambut dalam memegang peran ekologis yang sangat vital sebagai penyimpan cadangan karbon organik yang masif serta sebagai penyangga tata air (hidrologi) bagi wilayah di sekitarnya. Oleh karena itu, pembukaan lahan atau konversi besar-besaran pada kawasan gambut dalam sangat tidak dianjurkan. Gangguan pada lapisan ini tidak hanya akan melepaskan emisi gas rumah kaca dalam jumlah raksasa, tetapi juga dapat memicu bencana ekologis berupa banjir di musim hujan dan kekeringan hebat di musim kemarau.

4. Gambut Sangat Dalam (> 300 cm).

Gambut sangat dalam merupakan akumulasi material organik ekstrem yang ketebalannya melampaui tiga meter, bahkan di beberapa wilayah di Indonesia dapat mencapai kedalaman belasan meter. Area ini biasanya membentuk morfologi berupa kubah gambut (*peat dome*) yang posisinya lebih tinggi dari permukaan air sungai di sekitarnya. Formasi raksasa ini merupakan hasil dari proses penumpukan materi organik yang berlangsung tanpa jeda selama ribuan hingga puluhan ribu tahun, menjadikannya salah satu artefak ekologi tertua dan paling rapuh di muka bumi.

Secara regulasi di Indonesia, kawasan gambut dengan kedalaman lebih dari tiga meter secara mutlak ditetapkan sebagai kawasan lindung yang tidak boleh dialihfungsikan untuk kegiatan budi daya komersial. Perlindungan ketat ini didasari oleh fungsinya yang tak tergantikan sebagai "paru-paru" penyimpan karbon global dan regulator siklus air raksasa. Jika kubah gambut ini dikeringkan atau dirusak, dampaknya akan menciptakan kerusakan ekosistem yang bersifat permanen

(*irreversible*) dan memicu laju penurunan permukaan tanah yang drastis.

Berdasarkan proses dan lokasi pembentukannya, gambut dibagi menjadi:

1. Gambut Pantai

gambut pantai adalah gambut yang terbentuk dekat pantai laut dan mendapat pengayaan mineral dari air laut. Gambut pantai merupakan ekosistem lahan basah yang berlokasi di kawasan pesisir atau di sepanjang muara sungai yang berdekatan dengan laut. Proses pembentukannya sangat dinamis karena secara berkala mendapat pengaruh dari fluktuasi pasang surut air laut. Limpasan air laut ini membawa masuk berbagai material sedimen, mineral, dan kation basa yang kemudian mengendap dan memperkaya lapisan materi organik gambut.

Adanya pengayaan mineral maritim ini membuat gambut pantai umumnya memiliki tingkat kesuburan yang jauh lebih baik (eutrofik hingga mesotrofik) dan tingkat keasaman (pH) yang lebih netral dibandingkan jenis gambut lainnya. Namun, satu karakteristik khas sekaligus risiko dari gambut pantai adalah keberadaan lapisan pirit (besi sulfida) di bawahnya. Jika lahan ini didrainase secara berlebihan sehingga lapisan pirit terekspos oksigen, pirit tersebut akan teroksidasi dan menghasilkan asam sulfat yang sangat beracun bagi tanaman, mengubah lahan menjadi sangat asam dan mematikan.

2. Gambut Pedalaman

gambut pedalaman adalah gambut yang terbentuk di daerah yang tidak dipengaruhi oleh pasang surut air laut tetapi hanya oleh air hujan. Gambut pedalaman adalah formasi gambut yang terletak jauh dari garis pantai, biasanya berada di cekungan-cekungan dataran rendah, rawa-rawa belakang (*backswamp*), atau dataran banjir sungai di hulu. Karena posisinya yang terisolasi dari pengaruh hidrologi laut, ekosistem ini sepenuhnya mengandalkan presipitasi atau curah hujan sebagai satu-satunya sumber pasokan air dan nutrisi (*ombrotrofik*). Ketiadaan suplai

sedimen mineral dari luar membuat tumpukan bahan organik di sini menebal secara konstan dari waktu ke waktu.

Karakteristik utama dari gambut pedalaman adalah tingkat keasamannya yang sangat tinggi dan defisit unsur hara yang ekstrem. Di wilayah ini sering kali terbentuk kubah gambut (*peat dome*) yang sangat tebal. Hutan rawa gambut yang tumbuh di atasnya memiliki fungsi kunci dalam menyerap dan menahan air hujan layaknya tandon raksasa, sehingga mencegah banjir bandang di kawasan hilir pada saat musim penghujan dan melepaskan cadangan air secara perlahan saat kemarau panjang melanda.

3. Gambut Transisi

gambut transisi adalah gambut yang terbentuk di antara kedua wilayah tersebut, yang secara tidak langsung dipengaruhi oleh air pasang laut. Gambut transisi menempati zona ekologis perantara atau titik temu antara kawasan pesisir (pantai) dan kawasan daratan jauh (pedalaman). Lokasinya biasanya berada di sepanjang daerah aliran sungai bagian tengah atau wilayah yang jaraknya cukup moderat dari garis pantai. Karakteristik lahan ini merepresentasikan perpaduan atau kombinasi sifat dari gambut pantai dan gambut pedalaman, bergantung pada seberapa kuat dominasi pengaruh hidrologi di wilayah tersebut pada musim-musim tertentu.

Meskipun tidak tergenang air laut secara langsung setiap hari, gambut transisi masih menerima pengaruh tidak langsung, misalnya berupa intrusi air payau saat pasang tertinggi (*spring tide*) atau menerima endapan lumpur halus yang terbawa oleh arus balik sungai saat debit air laut naik. Hasilnya, lahan ini memiliki tingkat kesuburan yang bervariasi—tidak sesubur gambut pantai, namun masih jauh lebih baik nutrisinya dibandingkan gambut pedalaman yang sepenuhnya bergantung pada air hujan.

B. Karakteristik Ekosistem Gambut

Tanah gambut mempunyai karakteristik yang khas dan spesifik, terkait dengan kandungan bahan penyusun, ketebalan, kematangan,

dan lingkungan sekitarnya yang berbeda. Karakteristik spesifik dari tanah gambut yang membedakan dengan tanah mineral umumnya , antara lain:

1. Sudah Mengalami Kering Tak Balik (*Irreversible Drying*)

Sifat kering tak balik (*irreversible drying*) merupakan salah satu karakteristik fisik paling kritis dan berbahaya yang dapat terjadi pada lahan gambut yang mengalami kerusakan atau pengeringan ekstrem. Pada kondisi alaminya, gambut berfungsi layaknya spons raksasa yang mampu menyerap dan menahan air dalam jumlah yang sangat masif, bahkan hingga mencapai 900 persen dari bobot keringnya. Namun, ketika lapisan gambut ini didrainase secara berlebihan—misalnya melalui pembuatan kanal buatan—atau terpapar musim kemarau panjang hingga melampaui batas kritis kelembapannya, koloid organik penyusun gambut akan mengalami perubahan struktur secara permanen.

Perubahan struktur permanen ini menyebabkan gambut berubah sifat menjadi hidrofobik, yaitu menolak atau tidak lagi mampu menyerap air. Partikel-partikel organik yang awalnya lunak dan berongga akan menyusut, mengeras, dan mengkristal menyerupai arang atau briket batu bara yang ringan. Meskipun pada musim hujan kawasan tersebut kembali digenangi air, lapisan gambut yang telah mengalami kering tak balik ini tetap kering di bagian dalamnya dan tidak akan bisa kembali ke bentuk spons alaminya.

Dampak ekologis dari fenomena ini sangatlah fatal. Material gambut yang telah mengering dan mengeras ini menjadi bahan bakar yang sangat ideal dan mudah tersulut. Hal inilah yang menjadi pemicu utama mengapa kebakaran di lahan gambut sangat sulit dipadamkan; api dapat menjalar dan membara di bawah permukaan tanah (*ground fire*) memakan partikel organik kering tersebut selama berminggu-minggu, meskipun di permukaan tidak terlihat kobaran api yang besar.

Selain memicu bencana kebakaran, kondisi *irreversible drying* juga sangat merugikan bagi upaya pemulihan lahan dan pertanian. Tanah yang tidak mampu menahan air akan membuat sistem perakaran

tanaman kesulitan mendapatkan pasokan kelembapan yang dibutuhkan. Lapisan permukaan yang mengering ini juga sangat rapuh, mudah hancur menjadi debu halus, sehingga sangat rentan tererosi baik oleh embusan angin maupun hanyut terbawa aliran air permukaan saat hujan turun.

2. Sudah Ambles (*Subsidence*)

Amblesan atau subsiden (*subsidence*) adalah fenomena penurunan elevasi atau permukaan tanah gambut yang terjadi secara terus-menerus akibat hilangnya volume dan massa tanah. Proses ini umumnya bermula ketika ekosistem gambut mulai dikeringkan atau didrainase untuk keperluan pembukaan lahan. Penurunan permukaan tanah ini merupakan kombinasi dari tiga proses fisik dan kimiawi utama, yakni penyusutan (*shrinkage*), pemadatan (*consolidation*), dan oksidasi biologis bahan organik.

Proses pemadatan fisik (*consolidation*) terjadi sesaat setelah air ditarik keluar dari pori-pori gambut. Tanpa adanya daya apung dari air yang sebelumnya mengisi rongga-rongga tersebut, lapisan serat organik penyusun gambut akan kehilangan daya sangganya. Akibatnya, material gambut akan saling menekan dan memadat ke bawah akibat bobotnya sendiri maupun beban apa pun yang ada di atas permukaannya.

Namun, penyebab paling signifikan dan berkelanjutan dari amblesnya lahan gambut adalah proses oksidasi biologis. Ketika lapisan gambut yang sebelumnya tergenang air (kondisi anaerob) menjadi kering dan terpapar oksigen secara langsung, aktivitas mikroorganisme pengurai aerobik akan melonjak drastis. Mikroorganisme ini akan memakan dan menguraikan material organik gambut dengan sangat cepat, mengubah karbon padat yang tersimpan selama ribuan tahun menjadi emisi gas karbon dioksida (CO_2) yang terlepas ke atmosfer.

Hilangnya massa organik melalui penguapan gas inilah yang membuat lapisan gambut terus menipis dan permukaannya perlahan-lahan merosot turun. Laju amblesan ini bervariasi, namun pada tahun-tahun pertama setelah lahan didrainase, penurunannya bisa mencapai

puluhan sentimeter per tahun. Dampak jangka panjang dari subsiden ini sangat merusak; kawasan tersebut akan kehilangan fungsi hidrologisnya, infrastruktur seperti jalan atau bangunan akan retak dan ambruk, serta sistem drainase akan menjadi tidak berfungsi, yang pada akhirnya menjadikan kawasan tersebut sangat rentan terhadap banjir berkepanjangan saat musim hujan.

3. Rendahnya Daya Dukung (*Bearing Capacity*) Lahan Terhadap Tekanan

Rendahnya daya dukung (*bearing capacity*) merupakan salah satu hambatan teknis terbesar dalam pengelolaan lahan gambut, baik untuk kepentingan infrastruktur maupun budi daya pertanian. Berbeda dengan tanah mineral yang tersusun dari partikel padat seperti pasir, debu, dan liat yang saling mengunci, tanah gambut murni terbentuk dari tumpukan sisa-sisa material tumbuhan yang membusuk sebagian, berongga besar, dan sangat lembek. Struktur "sarang" ini tidak memiliki rangka mineral padat untuk menahan beban mekanik.

Karakteristik fisik yang didominasi oleh rongga udara dan air ini membuat tanah gambut sangat kompresibel atau mudah terkompresi. Apabila lahan gambut menerima tekanan beban dari atas, baik itu berupa kendaraan berat, material timbunan jalan, maupun fondasi bangunan, tanah ini akan langsung melesak dan ambles. Beban tersebut memeras air keluar dari pori-pori gambut, menyebabkan material organik penyusunnya hancur dan memadat ke bawah tanpa mampu memberikan gaya perlawanan yang stabil.

Dalam konteks kehutanan atau perkebunan, rendahnya daya dukung ini juga memunculkan fenomena fisiologis yang unik pada tanaman. Pohon-pohon keras atau tanaman budi daya yang memiliki tajuk besar sering kali tumbuh condong atau sangat rentan tumbang saat diterpa angin kencang. Hal ini terjadi karena perakaran tanaman tidak memiliki jangkar pijakan yang kokoh; akar hanya melilit pada material organik yang gembur dan terapung di atas air, sehingga tidak mampu menopang bobot tubuh tanaman itu sendiri seiring bertambahnya usia.

Oleh karena itu, intervensi rekayasa yang sangat spesifik dan berbiaya mahal mutlak diperlukan jika ingin melakukan aktivitas konstruksi di atas lahan gambut. Penggunaan cerucuk kayu, sistem fondasi cakar ayam khusus, pemasangan geotekstil untuk menyebarkan beban, atau sistem jalan pelampung (*corduroy road*) adalah metode-metode standar yang harus diterapkan guna meniasati ketiadaan daya dukung tanah yang ekstrem ini.

4. Rendahnya Kandungan Hara Kimia dan Kesuburannya (*Nutrient*)

Karakteristik tanah gambut, khususnya gambut ombrogen (gambut pedalaman), sangat identik dengan tingkat kesuburan alami yang sangat rendah. Tanah ini utamanya hanya tersusun atas unsur karbon (C), hidrogen (H), dan oksigen (O) dari sisa jaringan tumbuhan purba. Sebaliknya, elemen-elemen hara makro yang sangat esensial bagi pertumbuhan tanaman secara umum, seperti nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), kalsium (Ca), dan magnesium (Mg), tersedia dalam jumlah yang sangat minim dan sering kali dalam bentuk yang tidak dapat langsung diserap oleh akar.

Penyebab utama dari defisit hara ini adalah ketiadaan material induk batuan yang melapuk seperti halnya pada proses pembentukan tanah mineral. Ekosistem gambut pedalaman hanya mengandalkan air hujan yang pada dasarnya miskin mineral sebagai satu-satunya sumber masukan nutrisi. Di samping itu, pencucian hara (*leaching*) akibat tingginya curah hujan turut memperparah kondisi kemiskinan unsur hara pada lapisan permukaan gambut tempat akar tanaman mencari makan.

Kemiskinan hara ini semakin diperparah oleh derajat keasaman (pH) tanah yang sangat ekstrem, yang sering kali berada di bawah angka 4,0. Kondisi sangat asam ini ditimbulkan oleh akumulasi asam-asam organik seperti asam humat dan asam fulvat hasil dekomposisi parsial. Pada pH serendah ini, ketersediaan unsur hara kunci seperti fosfor menjadi terikat kuat dan tidak tersedia bagi tanaman, sementara kelarutan unsur-unsur mikro beracun seperti aluminium dan besi justru meningkat dan dapat meracuni sistem perakaran.

Bagi upaya pemulihan lahan maupun pertanian, karakteristik kimiawi yang buruk ini menuntut upaya perbaikan atau ameliorasi yang sangat masif. Pemberian kapur pertanian (dolomit) dalam dosis besar wajib dilakukan untuk menetralkan keasaman tanah sekaligus menyumbang kalsium dan magnesium. Selain itu, input pupuk makro dan mikro, baik secara organik maupun anorganik, harus diberikan secara terus-menerus dan terukur agar tanaman mampu tumbuh optimal di lahan yang sejatinya defisit nutrisi ini.

5. Terbatasnya Jumlah Mikroorganisme

Lingkungan alami lahan gambut merepresentasikan ekosistem tanah yang sangat keras dan kurang bersahabat bagi kehidupan dan proliferasi sebagian besar mikroorganisme tanah yang menguntungkan. Jika dibandingkan dengan tanah mineral yang sehat dan subur, populasi dan keanekaragaman bakteri, aktinomisetes, dan fauna tanah pengurai lainnya di dalam tanah gambut sangatlah rendah dan terbatas jumlahnya.

Terdapat tiga faktor pembatas utama yang menghambat perkembangan mikroorganisme di lahan gambut alaminya. Pertama, kondisi lahan yang selalu tergenang air memutus suplai oksigen, menciptakan kondisi anaerobik yang mencekik sebagian besar bakteri aerob. Kedua, tingkat keasaman (pH) yang terlampau tinggi bertindak sebagai agen antimikroba alami yang menghambat reproduksi bakteri tanah. Ketiga, minimnya ketersediaan unsur hara penting memaksa mikroba untuk bersaing ketat sekadar untuk mempertahankan hidup, apalagi untuk berkembang biak.

Dalam kondisi yang sangat masam dan basah tersebut, kelompok mikroorganisme yang mampu bertahan hidup dan mendominasi biasanya terbatas pada jenis-jenis jamur (*fungi*) tertentu. Namun demikian, kinerja jamur ini dalam melakukan dekomposisi material organik juga berjalan dengan ritme yang sangat lambat. Keterbatasan aktivitas biologis inilah yang sebenarnya menjadi kunci utama bagaimana lapisan gambut dapat menebal dan menumpuk material organiknya selama ribuan tahun tanpa hancur terurai secara sempurna.

Meskipun demikian, dinamika populasi mikroorganisme ini dapat berubah secara drastis apabila lahan gambut mengalami gangguan seperti pengeringan atau pembakaran. Ketika tata air diubah dan lahan menjadi kering, oksigen akan masuk dan memicu ledakan populasi mikroba aerob yang tiba-tiba menemukan lingkungan yang sesuai. Peningkatan populasi mikroba secara tidak wajar inilah yang akan mempercepat hancurnya material gambut melalui proses oksidasi, yang pada akhirnya memicu pelepasan emisi karbon dan amblesnya permukaan tanah.

Tanah merupakan suatu substrat mineral primer kompleks dan berkembang yang dipengaruhi oleh faktor fisik, kimia, dan biologis. Degradasi fisika melalui proses dan bentuk morfometrik yang sangat berbeda, terutama deformasi struktur tanah karena pemadatan dan dampak kimiawi seperti salinisasi, terutama alkalinisasi. Pori-pori tanah sangat berperan dalam sistem aerasi tanah, konduktivitas air dan juga merupakan ruang hidup organisme tanah, terutama organisme yang tidak dapat membuat ruang sendiri di dalam tanah. Degradasi pada pori-pori tanah akan mempengaruhi kondisi proses anaerobik tanah secara kimia dan biologi.

C. Urgensi Pemulihan Lahan Gambut

Degradasi lahan gambut akan menimbulkan kerusakan biofisik, seperti subsiden atau penurunan gambut; perubahan sifat fisika dan kimia tanah; serta lahan gambut akan kehilangan fungsi alaminya. Fungsi lahan gambut adalah sebagai penyimpan dan penyerap karbon, daerah resapan air, serta hilangnya keanekaragaman hayati dalam ekosistem gambut. Degradasi secara fisika berupa pemadatan, pergerakan, ketidakseimbangan air, terhalangnya aerasi dan drainase, dan kerusakan struktur tanah. Degradasi kimiawi berupa asidifikasi, pengurasan dan pencucian hara, ketidakseimbangan unsur hara dan keracunan, salinisasi, pemasaman dan alkanisasi, serta polusi (pencemaran). Degradasi biologis meliputi penurunan karbon organik tanah, penurunan keanekaragaman hayati tanah dan vegetasi, serta penurunan karbon biomasa. Penyebab degradasi lahan gambut

sebagian besar di Indonesia berupa pengalihfungsian, pengeringan dan pembakaran liar pada lahan gambut.

Ekosistem lahan gambut yang terdegradasi membuat dekomposisi gambut yang dipercepat sehingga akan mengakibatkan lebih rentan terhadap bahaya kebakaran tahunan. Degradasi lahan gambut Indonesia yang diakibatkan oleh deforestasi dan drainase mengakibatkan kebakaran terutama pada tahun-tahun El Niño. Kebakaran hebat telah terjadi di lahan gambut Sumatera dan Kalimantan pada saat kondisi El Niño ekstrim. Pada lokasi yang mengalami degradasi parah akibat kebakaran dan lokasi pertanian dapat dipengaruhi oleh sifat bara api yang terjadi pada suhu tinggi dan dalam waktu yang lama pada proses kebakaran gambut, dan mirip seperti proses pirolisis biochar.

Perubahan sifat fisika dan kimia pada lahan gambut yang telah dialihfungsikan akan mengalami penurunan fungsi alami, yaitu dengan adanya peningkatan drainase, penyusutan gambut, pemadatan dan konsolidasi yang mengakibatkan penurunan permukaan gambut dan peningkatan *Bulk Density* (*BD*) gambut yang dialami di Finlandia; Kalimantan Tengah; Asia Tenggara. Lahan gambut yang terdegradasi menunjukkan adanya peningkatan *BD* dan konsentrasi kation basa, abu, Fe dan C; penurunan konsentrasi N dan ukuran partikel secara umum, dan di daerah Turki. Pengukuran konsentrasi karbon organik terlarut (*DOC*) dan karbon organik partikulat (*POC*) dan laju debit air di Kanada. Pengukuran karakteristik lahan gambut berdasarkan sifat fisika yaitu kedalaman muka air tanah, kadar serat, *BD* dan kadar air di daerah Riau.

Kebakaran hutan dan lahan berpengaruh negatif terhadap ekologis yang menyebabkan kerusakan lingkungan sebagai konsekuensi dari perubahan tutupan lahan dan efek yang terakumulasi dari gangguan antropogenik. Untuk kepentingan hal tersebut diperlukan data karakteristik gambut secara sifat fisika, kimia dan kelistrikan bumi. Ketersediaan data karakteristik tersebut digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam program pemantauan jangka pendek maupun jangka panjang. Program pembasahan, revegetasi dan revitalisasi yang sedang berlangsung untuk lahan gambut di Indonesia, yang pada

akhirnya akan berkontribusi pada mata pencaharian berkelanjutan bagi masyarakat lokal dan mengurangi dampak terhadap iklim regional.

Kelistrikan bumi mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi dan dideteksi di atas permukaan bumi. kelistrikan bumi tidak merusak dan hanya perlu injeksi arus listrik ke dalam bumi melalui dua elektroda arus. Akibat dua aliran arus diinjeksikan tadi, maka terjadi beda potensial yang dapat diukur melalui dua elektroda potensial. Hasil pengukuran arus dan beda potensial untuk setiap jarak elektroda yang berbeda kemudian dapat diturunkan variasi harga hambatan jenis masing-masing lapisan di bawah titik ukur. Hal ini sering digunakan dalam lebih banyak digunakan dalam penentuan kedalaman litologi batuan, batuan dasar (bedrock), pencarian lapisan akuifer, monitoring pencemaran tanah dan air, deteksi tanah longsor, eksplorasi batuan dan mineral serta eksplorasi panas bumi, kelistrikan bumi dalam mempelajari karakteristik lahan gambut.

Membedah lebih jauh dampak kebakaran hutan dan lahan (karhutla), peristiwa ini memicu kerusakan ekologis yang sangat masif, seperti dinamika pemulihan yang secara intensif dikaji pada lanskap gambut di Kalimantan Selatan pasca kebakaran. Saat api melahap lapisan organik, terjadi pelepasan emisi karbon dalam jumlah raksasa ke atmosfer, yang secara instan merombak struktur kanopi hutan dan memusnahkan habitat keanekaragaman hayati endemik. Kehilangan tutupan lahan ini membuat permukaan gambut terpapar langsung oleh radiasi matahari, memicu kekeringan lanjutan yang memperburuk laju degradasi lahan.

Rentetan kerusakan ini tidak terjadi dalam semalam, melainkan merupakan akumulasi dari gangguan antropogenik yang sistematis dari waktu ke waktu. Aktivitas manusia seperti pembukaan lahan dengan metode tebang-bakar secara masif, serta pembuatan jaringan kanal-kanal drainase (parit) yang tidak terkendali, telah menguras habis cadangan air alami di dalam kubah gambut. Hamparan gambut yang sejatinya adalah ekosistem rawa basah berubah drastis menjadi material kering kerontang yang sangat mudah tersulut api, menciptakan

sebuah siklus bencana tahunan yang sulit diputus jika akar masalah hidrologisnya tidak ditangani.

Untuk memitigasi dan memulihkan rentetan kerusakan tersebut, diperlukan sebuah basis data komprehensif yang memetakan karakteristik gambut dari berbagai disiplin ilmu yang terintegrasi. Evaluasi visual di atas permukaan saja sangat tidak memadai; para ahli tata lingkungan membutuhkan data kuantitatif yang presisi mengenai sifat fisika, sifat kimiawi, dan struktur bawah permukaan melalui metode kelistrikan bumi. Ketiga pilar data analitis ini menjadi fondasi empiris yang mutlak diperlukan untuk mendiagnosis tingkat keparahan ekosistem gambut sebelum resep pemulihan lahan dapat diformulasikan.

Dari segi fisika, tanah gambut pasca-kebakaran akan mengalami perubahan struktural yang sangat drastis, mulai dari penyusutan volume lapisan hingga memicu fenomena amblesan (*subsidence*). Material organik yang hangus terbakar seringkali mengalami malfungsi dan kehilangan kemampuannya untuk menyerap air kembali secara normal (hidrofobisitas), membuat bentang alam tersebut menjadi rapuh, berdebu pekat di musim kemarau, dan rentan tergenang banjir ekstrem di musim hujan. Data uji fisika seperti tingkat porositas, berat isi, dan laju permeabilitas menjadi indikator penting untuk mengevaluasi seberapa jauh kerusakan pada pori-pori penyimpanan air.

Sementara itu, karakteristik kimiawi tanah gambut yang hangus terbakar juga mengalami fluktuasi yang radikal dan seringkali mengecoh pengamatan sekilas. Sisa-sisa pembakaran hutan meninggalkan tumpukan abu tebal yang kaya akan mineral basa, yang secara temporal melonjakkan pH tanah gambut dari yang aslinya sangat asam menjadi lebih netral. Namun, kondisi alkalis ini seringkali menipu; lonjakan unsur hara ini bersifat sangat sementara karena mudah tercuci oleh curah hujan, meninggalkan lahan yang kemudian menjadi sangat miskin unsur hara makro maupun mikro, serta merusak habitat populasi mikroorganisme pengurai alami.

Di titik kompleksitas inilah metode kelistrikan bumi, atau yang lazim dikenal di kalangan akademisi sebagai survei geolistrik resistivitas,

mengambil peran krusial sebagai alat diagnostik non-destruktif. Dibandingkan dengan metode pengeboran (*coring*) manual yang menelan biaya besar, memakan waktu lama, dan berisiko merusak struktur titik sampel, geolistrik menawarkan pemetaan struktur bawah tanah secara spasial secara dua dimensi (2D) maupun tiga dimensi (3D). Metode pencitraan ini bekerja layaknya alat pemindaian medis untuk bumi, mendeteksi material apa saja yang tersembunyi jauh di bawah permukaan lapisan gambut tanpa harus merusaknya.

Secara teknis fisika, laju injeksi arus listrik ke dalam ekosistem gambut sangat bergantung pada volume kandungan air yang terperangkap di dalam pori-pori tanah. Air gambut yang secara alamiah bersifat asam memiliki nilai konduktivitas spesifik yang sangat membedakannya dengan material padat atau udara. Dengan mengatur tata letak spasi antar elektroda di permukaan—menggunakan variasi konfigurasi standar seperti *Wenner* atau *Schlumberger*—peneliti dapat mengontrol seberapa dalam penetrasi arus listrik tersebut menembus lapisan bumi, mulai dari gambut fibrik di lapisan atas hingga menyentuh substratum mineral keras di dasar paling bawah.

Nilai hambatan jenis (resistivitas) yang terekam dari perbedaan potensial tersebut kemudian diolah secara komputasi menggunakan perangkat lunak inversi matematis untuk menghasilkan penampang stratigrafi berwarna. Area dengan nilai resistivitas yang sangat tinggi biasanya merupakan indikasi kuat adanya rongga udara, hamparan gambut yang terdegradasi parah dan sangat kering, atau sisa-sisa bongkahan kayu keras yang belum melapuk sempurna. Sebaliknya, pembacaan nilai resistivitas yang rendah secara konsisten selalu menunjukkan keberadaan zona jenuh air yang berfungsi optimal sebagai akuifer penyimpanan cadangan air tanah.

Aplikasi paling strategis dari ilmu kelistrikan bumi dalam studi lahan gambut modern adalah kemampuannya yang luar biasa untuk memetakan total ketebalan gambut dan topografi batuan dasar (*bedrock* atau lapisan mineral substratum di bawah gambut) dalam skala lanskap yang luas. Mengetahui lekuk topografi lapisan bawah ini sangat vital karena bentuk cekungan batuan dasar itulah yang akan

menentukan arah aliran hidrologi air tanah bawah permukaan, sebuah informasi krusial yang tidak bisa didapatkan hanya dengan melakukan pemetaan topografi hamparan vegetasi di atasnya.

Keseluruhan sintesis data karakteristik (fisika, kimia, dan kelistrikan bumi) ini kemudian diintegrasikan secara langsung sebagai landasan operasional dalam menyukseskan program 3R nasional: Pembasahan (*Rewetting*), Revegetasi, dan Revitalisasi. Khusus untuk program pembasahan, data penampang geolistrik akan memandu secara presisi para insinyur hidrologi dalam menentukan titik paling optimal untuk membangun infrastruktur sekat kanal (*canal blocking*) atau penempatan sumur bor. Tujuannya adalah untuk menahan laju air buangan dan menaikkan kembali tinggi muka air tanah agar hamparan gambut kembali basah sehingga resisten terhadap ancaman titik api baru.

Setelah sistem tata air lingkungan berangsur membaik, tahapan program Revegetasi dapat dijalankan dengan tingkat keberhasilan yang lebih presisi. Pemilihan jenis bibit pohon dan tanaman peneduh tidak lagi dilakukan secara serampangan, melainkan didasarkan pada kesesuaian data pH, tingkat kedalaman lapisan gambut, dan rasio ketersediaan hara kimia yang telah dipetakan sebelumnya. Tanaman endemik khas ekosistem hutan rawa gambut seperti pohon Jelutung, Belangeran, atau Ramin umumnya diprioritaskan karena memiliki profil genetika daya adaptasi alami yang sangat tinggi terhadap kondisi ekstrem di lahan basah pasca-kebakaran.

Lebih jauh lagi, dimensi pemulihan ekologis ini harus diselaraskan secara saksama dengan program Revitalisasi ekonomi masyarakat lokal yang bermukim di sekitarnya. Lahan gambut yang telah berhasil dibasahi tidak boleh lagi dieksploitasi untuk ditanami komoditas komersial yang rakus air atau membutuhkan lahan kering. Sebagai alternatif yang berkelanjutan, dikembangkanlah konsep sistem paludikultur (pertanian lahan basah), seperti budidaya tanaman sagu, rumput purun untuk kerajinan, atau penangkaran ikan air tawar lokal. Pendekatan adaptif ini memastikan masyarakat tetap mendapatkan

mata pencaharian yang mapan secara perokonomian tanpa harus mengeringkan dan memicu kebakaran lahan kembali.

Pada akhirnya, integrasi berkelanjutan dari pemantauan karakteristik fisik, kelayakan kimiawi, dan pencitraan kelistrikan bumi ini merupakan sebuah siklus evaluasi jangka panjang untuk mengawal indikator keberhasilan restorasi. Pemulihan fungsi hidrologi dan ekologi ekosistem gambut yang hancur bukanlah sebuah proyek rekayasa sesaat, melainkan komitmen restorasi lintas generasi yang memakan waktu berdekade-dekade. Keberhasilan inisiatif pemantauan komprehensif ini tidak hanya menyelamatkan bentang alam lokal dan menyejahterakan masyarakat di sekitarnya, tetapi juga berkontribusi secara nyata di kancah global dalam menekan laju emisi gas rumah kaca dan memitigasi percepatan krisis perubahan iklim regional.

DAFTAR PUSTAKA

- Abrams, J. F., Hohn, S., Rixen, T., Baum, A., & Merico, A. (2016). The impact of Indonesian peatland degradation on downstream marine ecosystems and the global carbon cycle. *Global Change Biology*, 22(1), 325–337. <https://doi.org/10.1111/gcb.13108>
- Adam, S. S., Rindarjono, M. G., & Karyanto, P. (2019). Sistem Informasi Geografi untuk Zonasi Kerentanan Kebakaran Lahan dan Hutan di Kecamatan Malifut, Halmahera Utara. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 6(5), 559. <https://doi.org/10.25126/jtiik.2019651674>
- Adinugroho, W. C., Syriadiputra, I. N. N., Suharjo, B. H., & Siboro, L. (2005). *Panduan Pengendalian Kebakaran Hutan dan Lahan Gambut* (B. H. Saharjo (ed.)). Proyek Climate Change, Forests and Peatlands in Indonesia. Wetlands International – Indonesia Programme dan Wildlife Habitat Canada. https://www.academia.edu/1860810/Panduan_Pengendalian_Kebakaran_Hutan_dan_Lahan_Gambut
- Adji, F. F., Damanik, Z., Yulianti, N., Birawa, C., Handayani, F., Sinaga, A. N., Teguh, R., & Dohong, S. (2015). Dampak Alih Fungsi Lahan Terhadap Sifat Fisik Tanah dan Emisi Karbon Gambut Transisi di Desa Kanamit Barat Kalimantan Tengah. *Jurnal Pedon Tropika*, 3(1), 79–88.
- Agus, Fahmuddin, Hairiah, K., & Mulyani, A. (2011). *Pengukuran cadangan karbon tanah gambut*. World Agroforestry Centre dan Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian.
- Agus, Fahmuddin, Yustika, R. D., & Haryati, U. (2006). Penetapan Berat Volume Tanah. In U. Kurnia, F. Agus, A. Adimihardja, & A. Dariah

- (Eds.), *Sifat Fisik Tanah dan Metode Analisanya* (pp. 25–34). Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Departemen Pertanian. http://balittanah.litbang.pertanian.go.id/ind/dokumentasi/buku/buku_sifat_fisik_tanah/03penetapan_berat_vol_tanah.pdf
- Agus, Fahrudin, & Subiksa, I. G. M. (2008). Lahan Gambut : Potensi untuk Pertanian dan Aspek Lingkungan. In *Balai Penelitian Tanah dan World Agroforestry Centre (ICRAF)*. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.08.031>
- Agus, Faruddin, & Subiksa, I. G. M. (2008). Lahan Gambut : Potensi untuk Pertanian dan Aspek Lingkungan. In *Balai Penelitian Tanah dan World Agroforestry Centre (ICRAF)*. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.08.031>
- Ahmad-Shah, A., Radzi-Abbas, M., & Mohd-Jamil, A. S. (1992). Characteristics of tropical peat under a secondary forest and an oil palm plantation in Selangor, Malaysia. *Proceedings of The 9th International Peat Congress*, 256–269.
- Alcañiz, M., Outeiro, L., Francos, M., & Úbeda, X. (2018). Effects of prescribed fires on soil properties: A review. *Science of the Total Environment*, 613–614, 944–957. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.144>
- Anshari, G. Z., Afifudin, M., Nuriman, M., Gusmayanti, E., Arianie, L., Susana, R., Nusantara, R. W., Sugardjito, J., & Rafiastanto, A. (2010). Drainage and land use impacts on changes in selected peat properties and peat degradation in West Kalimantan Province, Indonesia. *Biogeosciences*, 7(11), 3403–3419. <https://doi.org/10.5194/bg-7-3403-2010>
- Anwar, S., Wahyono, S. C., & Fahrudin. (2020). Identifikasi Lapisan Akuifer Tertekan dengan Metode Geolistrik di Desa Lok Rawa, Kecamatan Mandastana, Kabupaten Barito Kuala, Kalimantan Selatan. *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*, 8(2), 151–157. <http://dx.doi.org/10.23960%2Fjtaf.v8i2.2447>
- Arisanty, D., Anis, M. Z. A., Putro, H. P. N., Muhaimin, M., & Syarifuddin.

- (2020). *Kebakaran Lahan Gambut Faktor Penyebab dan Mitigasinya*. <http://eprints.ulm.ac.id/9594/1/2>. Kebakaran Lahan Gambut-Faktor Penyebab dan Mitigasinya.pdf
- ASTM D 1997. (2020). *Standard Test Method for Laboratory Determination of the Fiber Content of Peat and Organic Soils by Dry Mass*. Astm.Org. <https://www.astm.org/Standards/D1997.htm>
- ASTM D 2974. (2020). *Standard Test Methods for Determining the Water (Moisture) Content, Ash Content, and Organic Material of Peat and Other Organic Soils*. Astm.Org. <https://doi.org/10.1520/D2974-20E01>
- ASTM D 2976. (2015). *Standard Test Method for pH of Peat Materials*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D2976-15>
- Aswandi, A., Sadono, R., Supriyo, H., & Hartono, H. (2017). Carbon Loss from Drainaged and Degradation of Tropical Peatland in Trumon and Singkil, Aceh. *Jurnal Manusia Dan Lingkungan*, 23(3), 334. <https://doi.org/10.22146/jml.18807>
- Azizi, M., Sandhyavitri, A., & Yusa, M. (2020). Analisis Kadar Air Perlapisan Tanah di Lahan Gambut Untuk Menentukan Fire Danger Rating System (FDR). *Jom FTEKNIK*, VII(1), 1–8.
- BB Litbang SDLP. (2013). *Laporan Tahunan BBSDLP 2013, Inovasi Sumberdaya Lahan untuk Pertanian Berkelanjutan*.
- Bechtel, T. D., & Goldscheider, N. (2017). Geoelectrical Fingerprinting of Two Contrasting Ecohydrological Peatland Types in the Alps. *Wetlands*, 37(5), 875–884. <https://doi.org/10.1007/s13157-017-0921-5>
- Bertermann, D., & Schwarz, H. (2018). Bulk density and water content-dependent electrical resistivity analyses of different soil classes on a laboratory scale. *Environmental Earth Sciences*, 77(16), 0. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7745-3>
- Bhatt, S., & Jain, P. K. (2014). Correlation between electrical resistivity and water content of sand – a statistical approach. *American International Journal of Research in Science, Technology*,

Engineering & Mathematics, 6(2), 115–121.

- Blodau, C., & Moore, T. R. (2002). Macroporosity affects water movement and pore water sampling in peat soils. *Soil Science*, 167(2), 98–109. <https://doi.org/10.1097/00010694-200202000-00002>
- Blum, W. E. H. (2011). Physical Degradation of Soils, Risks and Threats. In *Encyclopedia of Agrophysics. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer* (pp. 562–563). Encyclopedia of Agrophysics. Encyclopedia of Earth Sciences Series. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-90-481-3585-1_111
- Boelter, D. H. (1968). Important Physical Properties of Peat Materials. *Proc. of the Third International Peat Congress*, 150–154. <https://doi.org/10.1007/s11554-014-0474-2>
- BRGM RI. (2024). *Peta Gambut Indonesia*. Badan Restorasi Gambut Dan Mangrove Republik Indonesia. <https://primis.brg.go.id/peta?>
- Campos, J. R. da R., Silva, A. C., Fernandes, J. S. C., Ferreira, M. M., & Silva, D. V. (2011). Water retention in a peatland with organic matter in different decomposition stages. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 35(4), 1217–1227. <https://doi.org/10.1590/s0100-06832011000400015>
- Certini, G. (2005). Effects of fire on properties of forest soils: A review. *Oecologia*, 143(1), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s00442-004-1788-8>
- Chen, T., Xu, M., Tu, J., Wang, H., & Niu, X. (2018). Relationship between Omnibus and Post-hoc Tests: An Investigation of performance of the F test in ANOVA. *Shanghai Archives of Psychiatry*, 30(1), 60–64. <https://doi.org/10.11919/j.issn.1002-0829.218014>
- Cochrane, M. A. (2001). Synergistic interactions between habitat fragmentation and fire in evergreen tropical forests. *Conservation Biology*, 15(6), 1515–1521. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2001.01091.x>
- Dariah, A., Maftuah, E., & Maswar. (2013). Karakteristik Lahan Gambut. In *Panduan Pengelolaan Berkelanjutan Lahan Gambut Terdegradasi*

- (pp. 16–29).
- Delsiyanti, Widjajanto, D., & Rajamuddin, U. A. (2016). Sifat Fisik Tanah Pada Beberapa Penggunaan Lahan. *J. Agrotekbis*, 4(3), 227–234.
- Dikici, H., & Yilmaz, C. H. (2006). Peat Fire Effects on Some Properties of an Artificially Drained Peatland. *Journal of Environmental Quality*, 35(3), 866–870. <https://doi.org/10.2134/jeq2005.0170>
- Dohong, A., Aziz, A. A., & Dargusch, P. (2017). A review of the drivers of tropical peatland degradation in South-East Asia. *Land Use Policy*, 69(September), 349–360. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.09.035>
- Dohong, S. (1999). *Peningkatan produktivitas tanah gambut yang disawahkan dengan pemberian bahan amelioran tanah mineral berkadar besi tinggi* [IPB University]. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/1671>
- Dripp, W. (2019a). *Unsur-unsur Hara MAKRO dan Karakteristiknya*. Info@bumikita.id. <https://bumikita.id/artikel/detail/Unsur-unsur-Hara-MAKRO-dan-Karakteristiknya>
- Dripp, W. (2019b). *Unsur-unsur Hara MIKRO dan Peranannya*. Info@bumikita.id. <https://bumikita.id/artikel/detail/Unsur-unsur-Hara-MIKRO-dan-Peranannya>
- Ekwue, E. I., & Harrilal, A. (2010). Effect of soil type, peat, slope, compaction effort and their interactions on infiltration, runoff and raindrop erosion of some Trinidadian soils. *Biosystems Engineering*, 105(1), 112–118. <https://doi.org/10.1016/j.biosyseng.2009.10.001>
- Endrawati, Purwanto, J., Nugroho, S., & S, R. A. (2016). Identifikasi Areal Bekas Kebakaran Hutan Dan Lahan Menggunakan Analisis Semi Otomatis Citra Satelit. *Seminar Nasional Geomatika 2017: Inovasi Teknologi Penyediaan Informasi Geospasial Untuk Pembangunan Berkelanjutan*, 273–282.
- Esterle, J. S., & Ferm, J. C. (1994). Spatial variability in modern tropical peat deposits from Sarawak, Malaysia and Sumatra, Indonesia: analogues for coal. *International Journal of Coal Geology*, 26(1–2),

- 1–41. [https://doi.org/10.1016/0166-5162\(94\)90030-2](https://doi.org/10.1016/0166-5162(94)90030-2)
- Ezzati, S., Najafi, A., Rab, M. A., & Zenner, E. K. (2012). Recovery of soil bulk density, porosity and rutting from ground skidding over a 20-year period after timber harvesting in Iran. *Silva Fennica*, 46(4), 521–538. <https://doi.org/10.14214/sf.908>
- Fahmi, A., & Radjagukguk, B. (2013). Peran Gambut Terhadap Nitrogen Total Tanah Di Lahan Rawa. *Jurnal Berita Biologi*, 12(2), 223–230.
- Fahmi, A., & Wakhid, N. (2018). Karakteristik lahan rawa. <https://www.researchgate.net/publication/328800813>, November, 28. <https://www.researchgate.net/publication/328800813>
- Ferreira, C. J. B., Tormena, C. A., Severiano, E. D. C., Zotarelli, L., & Betioli Júnior, E. (2021). Soil compaction influences soil physical quality and soybean yield under long-term no-tillage. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 67(3), 383–396. <https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1733535>
- Firmansyah, I., & Sumarni, N. (2016). Pengaruh Dosis Pupuk N dan Varietas Terhadap pH Tanah, N-Total Tanah, Serapan N, dan Hasil Umbi Bawang Merah (*Allium ascalonicum* L.) pada Tanah Entisols-Brebes Jawa Tengah. *Jurnal Hortikultura*, 23(4), 358. <https://doi.org/10.21082/jhort.v23n4.2013.p358-364>
- Foth, H. D. (1990). *Fundamental of Soil Science* (8th ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- Gischa, S. (2020). *Kesuburan Tanah: Ciri dan Cara Merawatnya*. Kompas.Com. <https://www.kompas.com/skola/read/2020/01/20/100000769/kesuburan-tanah-ciri-dan-cara-merawatnya?page=all>
- Granged, A. J. P., Zavala, L. M., Jordán, A., & Bárcenas-Moreno, G. (2011). Post-fire evolution of soil properties and vegetation cover in a Mediterranean heathland after experimental burning: A 3-year study. *Geoderma*, 164(1–2), 85–94.
- Grossman, R. B., & Reinsch, T. G. (2002). The Solid Phase 2.1. Bulk density and linear extensibility. Chapter 2. 'Methods of soil

- analysis. Part 4. Physical methods'. In *Soil Science Society American Book* (pp. 210–228). (SSSA Inc: Madison, WI).
- Hadden, R. M., Rein, G., & Belcher, C. M. (2013). Study of the competing chemical reactions in the initiation and spread of smouldering combustion in peat. *Proceedings of the Combustion Institute*, 34(2), 2547–2553. <https://doi.org/10.1016/j.proci.2012.05.060>
- Hikmatullah, ., & Sukarman, . (2015). Physical and Chemical Properties of Cultivated Peat Soils in Four Trial Sites of ICCTF in Kalimantan and Sumatra, Indonesia. *Journal of Tropical Soils*, 19(3), 131. <https://doi.org/10.5400/jts.2014.v19i3.131-141>
- 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. <https://doi.org/10.5194/bg-9-1053-2012>
- Hoscilo, A., Page, S. E., Tansey, K. J., & Rieley, J. O. (2011). Effect of repeated fires on land-cover change on peatland in southern Central Kalimantan, Indonesia, from 1973 to 2005. *International Journal of Wildland Fire*, 20(4), 578–588. <https://doi.org/10.1071/WF10029>
- Hutchinson, C. S. (2005). Geology of North-West Borneo: Sarawak, Brunei and Sabah. In *Elsevier* (Vol. 52, Issue 1, pp. 1–5).
- Ismawi, S. M., Gandaseca¹, S., & Ahmed, O. H. (2012). Effects of deforestation on soil major macro-nutrient and other selected chemical properties of secondary tropical peat swamp forest. *International Journal of the Physical Sciences*, 7(14), 2225–2228. <https://doi.org/10.5897/ijps11.596>
- Johari, N. N., Bakar, I., Razali, S. N. M., & Wahab, N. (2016). Fiber Effects on Compressibility of Peat. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 136(1), 1–9. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/136/1/012036>
- Joosten, H., Tol, M.-L. T.-B., & Tol, S. (2012). Peatlands - Guidance for climate change mitigation through conservation, rehabilitation and sustainable use. In *The Food and Agriculture Organization of the*

- United Nations and Wetlands International* (2nd ed.). Mitigation of Climate Change in Agriculture (MICCA) Programme. <http://www.fao.org/3/an762e/an762e.pdf>
- Kepmen KLHK-RI. (2017). Penetapan Peta Kesatuan Hidrologis Gambut Nasional. In *Sk.129/Menlhk/Setjen/Pkl.0/2/2017*. http://pkgppkl.menlhk.go.id/v0/wp-content/uploads/2018/10/buku-sk-menlhk-no.129-th2017_Penetapan-Peta-KHG-Nasional.pdf
- Klemedtsson, L., Von Arnold, K., Weslien, P., & Gundersen, P. (2005). Soil CN ratio as a scalar parameter to predict nitrous oxide emissions. *Global Change Biology*, 11(7), 1142–1147. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.00973.x>
- KLHK-RI. (2015). *Peta Kesatuan Hidrologis Gambut Provinsi Kalimantan Selatan Region Kalimantan*.
- Könönen, M., Jauhiainen, J., Laiho, R., Kusin, K., & Vasander, H. (2015a). Physical and chemical properties of tropical peat under stabilised land uses. *Mires and Peat*, 16(October), 1–13.
- Könönen, M., Jauhiainen, J., Laiho, R., Kusin, K., & Vasander, H. (2015b). Physical and chemical properties of tropical peat under stabilised land uses. *Mires and Peat*, 16, 1–13.
- Konsorsium Central Kalimantan Peatlands Project (CKPP). (2008). *Tanya & Jawab: Seputar Gambut di Asia Tenggara, Khususnya di Indonesia*. http://wetlands.or.id/PDF/buku_saku_gambut.pdf
- Kool, D. M., Buurman, P., & Hoekman, D. H. (2006). Oxidation and compaction of a collapsed peat dome in Central Kalimantan. *Geoderma*, 137(1–2), 217–225. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.08.021>
- Kowalczyk, S., Zukowska, K. A., Mendecki, M. J., & Łukasiak, D. (2017). Application of electrical resistivity imaging (ERI) for the assessment of peat properties: A case study of the Catowanie Fen, Central Poland. *Acta Geophysica*, 65(1), 223–235. <https://doi.org/10.1007/s11600-017-0018-9>
- Kranz, C. N., McLaughlin, R. A., Johnson, A., Miller, G., & Heitman, J. L. (2020). The effects of compost incorporation on soil physical

- properties in urban soils – A concise review. *Journal of Environmental Management*, 261, 110209. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110209>
- Krüger, J. P., Leifeld, J., Glatzel, S., Szidat, S., & Alewell, C. (2015). Biogeochemical indicators of peatland degradation - A case study of a temperate bog in northern Germany. *Biogeosciences*, 12(10), 2861–2871. <https://doi.org/10.5194/bg-12-2861-2015>
- Kurnain, A, Notohadikusomo, T., Radgjagukguk, B., & Hastuti, S. (2001). Peat soil properties related to degree of decomposition under different land use systems. *International Peat Journal*, 11, 67–78.
- Kurnain, Ahmad. (2005). *Dampak Kegiatan Pertanian dan Kebakaran atas Watak Gambut Ombrogen*. UGM Yogyakarta.
- Kurnain, Ahmad. (2015). Moisture Release of Tropical Peat Soils As Decreasing Water Table. *Tropical Wetland Journal*, 1(1), 33–37. <https://doi.org/10.20527/twj.v1i1.15>
- Kurnain, Ahmad. (2019). Hydrophysical properties of ombrotrophic peat under drained peatlands. *International Agrophysics*, 33(3), 277–283. <https://doi.org/10.31545/intagr/110773>
- Kurnain, Ahmad, & Hayati, A. (2018). Characteristics of Water Retention of Ombrotropic Peats under Different Land Uses. *International Conference on Emerging Trends in Academic Research*, 3, 271–280. http://eprints.ulm.ac.id/3165/1/27_ETAR-16-152.pdf
- Kurnain, Ahmad, Notohadikusomo, T., Radgjagukguk, B., & Hastuti, S. (2001). Peat soil properties related to degree of decomposition under different land use systems. *International Peat Journal*, 11, 67–78.
- Kurnain, Ahmad, Notohadikusumo, T., & Radgjagukguk, B. (2006). Impact of development and cultivation on hydro-physical properties of tropical peat soils. *Tropics*, 15(4), 383–389. <https://doi.org/10.3759/tropics.15.383>
- Kurnain, Akhmad. (2005). *Dampak pertanian & kebakaran hutan terhadap gambut ombrogen*. Universitas Gadjah Mada.
- Laiho R, & Pearson M. (2016). Surface peat and its dynamics following

- drainage – do they facilitate estimation of carbon losses with the C/ash method? *Mires and Peat*, 17(8), 1–19. <https://doi.org/10.19189/MaP.2016.OMB.247>
- Lampela, M., Jauhiainen, J., & Vasander, H. (2014). Surface peat structure and chemistry in a tropical peat swamp forest. *Plant and Soil*, 382(1–2), 329–347. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2187-5>
- Lehmann, J., & Joseph, S. (2009). Biochar for Environmental Management: Science and Technology. In *Science and Technology*. Earthscan. [https://books.google.co.ke/books?hl=en&lr=&id=iqrksC-PT1kC&oi=fnd&pg=PA127&dq=Brown+R+\(2009\)+Biochar+production+technology.+In+'Biochar+for+environmental+management'+science+and+technology'+\(Eds+J+Lehmann,+S+Joseph\)+pp.+127-146.+\(](https://books.google.co.ke/books?hl=en&lr=&id=iqrksC-PT1kC&oi=fnd&pg=PA127&dq=Brown+R+(2009)+Biochar+production+technology.+In+'Biochar+for+environmental+management'+science+and+technology'+(Eds+J+Lehmann,+S+Joseph)+pp.+127-146.+()
- Leifeld, J., & Menichetti, L. (2018). The underappreciated potential of peatlands in global climate change mitigation strategies. *Nature Communications*, 9(1), 1–7. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03406-6>
- Leifeld, Jens, Klein, K., & Wüst-Galley, C. (2020). Soil organic matter stoichiometry as indicator for peatland degradation. *Scientific Reports*, 10(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-64275-y>
- Lennartz, B., & Liu, H. (2019). Hydraulic functions of peat soils and ecosystem service. *Frontiers in Environmental Science*, 7(JUN). <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00092>
- Liimatainen, M., Voigt, C., Martikainen, P. J., Hytönen, J., Regina, K., Óskarsson, H., & Maljanen, M. (2018). Factors controlling nitrous oxide emissions from managed northern peat soils with low carbon to nitrogen ratio. *Soil Biology and Biochemistry*, 122(November 2017), 186–195. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.04.006>
- Liu, H., Zak, D., Rezanezhad, F., & Lennartz, B. (2019). Soil degradation

- determines release of nitrous oxide and dissolved organic carbon from peatlands. *Environmental Research Letters*, 14(9), 094009. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab3947>
- Liu, Haojie, & Lennartz, B. (2019). Hydraulic properties of peat soils along a bulk density gradient—A meta study. *Hydrological Processes*, 33(1), 101–114. <https://doi.org/10.1002/hyp.13314>
- Liu, Haojie, Rezanezhad, F., & Lennartz, B. (2022). Impact of land management on available water capacity and water storage of peatlands. *Geoderma*, 406(January), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115521>
- Liu, Haojie, Zak, D., Zableckis, N., Cossmer, A., Langhammer, N., Meermann, B., & Lennartz, B. (2023). Water pollution risks by smoldering fires in degraded peatlands. *Science of the Total Environment*, 871(February 2023), 161979. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161979>
- Liu, L., Lu, Y., Fu, Y., Horton, R., & Ren, T. (2022). Estimating soil water suction from texture , bulk density , and electrical resistivity. *Geoderma*, 409(115630), 1–41. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115630>
- Loke, M. . (2000). *Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies. A practical guide to 2-D and 3-D surveys* (pp. 1–67). www.abem.se.
- Lundin, L., & Bergquist, B. (1990). Effects on water chemistry after drainage of a bog for forestry. *Hydrobiologia*, 196, 167–181.
- Maas, A. (1997). Pengelolaan lahan gambut yang berkelanjutan dan berwawasan lingkungan. *Jurnal Alami*, 2(1), 12–16.
- MacDonald, J. A., Dise, N. B., Matzner, E., Armbruster, M., Gundersen, P., & Forsius, M. (2002). Nitrogen input together with ecosystem nitrogen enrichment predict nitrate leaching from European forests. *Global Change Biology*, 8(10), 1028–1033. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2002.00532.x>
- Maftu'ah, E., Ma'as, A., & Purwanto, B. H. (2014). Journal Of Degraded And Mining L ands Management N , P and K storage efficiency on

- degraded peat soil through ameliorant application. *Journal of Defraded and Mining Lands Management*, 1(4), 187–196. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2014.014.187>
- Marcotte, A. L., Limpens, J., Stoof, C. R., & Stoorvogel, J. J. (2022). Can ash from smoldering fires increase peatland soil pH? *International Journal of Wildland Fire*, 31(6), 607–620. <https://doi.org/10.1071/WF21150>
- Marjuni, Wahyono, S. C., & Siregar, S. S. (2015). Identifikasi Litologi Bawah Permukaan dengan Metode Geolistrik Pada Jalan Trans Kalimantan yang Melewati Daerah Rawa di Kabupaten Banjar Kalimantan Selatan. *Jurnal Fisika FLUX*, 12(1), 53–62.
- Marudut, T., Sitinjak, T., Muhammad, J., & Dewi, R. (2024). Peatland aquifer zone modeling via Wenner and Schlumberger configuration geoelectric strategies in Tarai Bangun Village, Riau Province, Indonesia. *Science, Technology and Communication Journal*, 4(2), 47–56. <https://doi.org/10.59190/stc.v4i2.257>
- McEachern, P., Prepas, E. E., Gibson, J. J., & Dinsmore, W. P. (2000). Forest fire induced impacts on phosphorus, nitrogen, and chlorophyll a concentrations in boreal subarctic lakes of northern Alberta. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 57(SUPPL. 2), 73–81. <https://doi.org/10.1139/cjfas-57-s2-73>
- Miettinen, J. (2007). Burnt area mapping in insular Southeast Asia using medium resolution satellite imagery [University of Helsinki]. In *Dissertationes Forestales* (Vol. 2007, Issue 45). <https://doi.org/10.14214/df.45>
- Miettinen, J., Hooijer, A., Shi, C., Tollenaar, D., Vernimmen, R., Liew, S. C., Malins, C., & Page, S. E. (2012). Extent of industrial plantations on Southeast Asian peatlands in 2010 with analysis of historical expansion and future projections. *GCB Bioenergy*, 4(6), 908–918. <https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2012.01172.x>
- Miettinen, J., & Liew, S. C. (2010). Status of peatland degradation and development in Sumatra and Kalimantan. *Ambio*, 39(5), 394–401. <https://doi.org/10.1007/s13280-010-0051-2>

- Miettinen, J., Shi, C., & Liew, S. C. (2017). Fire Distribution in Peninsular Malaysia, Sumatra and Borneo in 2015 with Special Emphasis on Peatland Fires. *Environmental Management*, 60(4), 747–757. <https://doi.org/10.1007/s00267-017-0911-7>
- Miller, J. D., Anderson, H. A., Ferrier, R. C., & Walker, T. A. B. (1990). Hydrochemical fluxes and their effects on stream acidity in two forested catchments in central Scotland. *Forestry*, 63, 311–330.
- Minkinen, K., & Laine, J. (1998). Effect of forest drainage on the peat bulk density of pine mires in Finland. *Canadian Journal of Forest Research*, 28(2), 178–186. <https://doi.org/10.1139/x97-206>
- Mocek, A., & Owczarzak, W. (2011). Parent Material and Soil Physical Properties. In *Encyclopedia of Agrophysics: Vol. Part 4*. Springer Science+Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-3585-1>
- Moore, S., Evans, C. D., Page, S. E., Garnett, M. H., Jones, T. G., Freeman, C., Hooijer, A., Wiltshire, A. J., Limin, S. H., & Gauci, V. (2013). Deep instability of deforested tropical peatlands revealed by fluvial organic carbon fluxes. *Nature*, 493(7434), 660–663. <https://doi.org/10.1038/nature11818>
- Muara Laut Tarigan, Nugroho, D., Firman, B., & Kunarso, A. (2015). *Pemutakhiran Peta Rawan Kebakaran Hutan dan Lahan dan*. Dinas Kehutanan Provinsi Sumatera Selatan.
- Muqaddas, B., Zhou, X., Lewis, T., Wild, C., & Chen, C. (2015). Long-term frequent prescribed fire decreases surface soil carbon and nitrogen pools in a wet sclerophyll forest of Southeast Queensland, Australia. *Science of the Total Environment*, 536, 39–47. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.023>
- Nanda, A., Mohapatra, D. B. B., Mahapatra, A. P. K., Mahapatra, A. P. K., & Mahapatra, A. P. K. (2021). Multiple comparison test by Tukey's honestly significant difference (HSD): Do the confident level control type I error. *International Journal of Statistics and Applied Mathematics*, 6(1), 59–65. <https://doi.org/10.22271/math.2021.v6.i1a.636>

- Nasreen, S., Haque, M. M., & Hossain, M. A. (2007). Nitrogen and Sulphur Fertilization. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 32(September), 413–420.
- Noble, A., Palmer, S. M., Glaves, D. J., Crowle, A., & Holden, J. (2017). Impacts of peat bulk density, ash deposition and rainwater chemistry on establishment of peatland mosses. *Plant and Soil*, 419(1–2), 41–52. <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3325-7>
- Noor, M. (2001). *Pertanian Lahan Gambut Potensi dan Kendala*. Penerbit Kanisius.
- Noor, M., Masganti, & Agus, F. (2014). Pembentukan dan Karakteristik Gambut Tropika Indonesia. In *Lahan Gambut Indonesia* (pp. 7–32). IAARD Press.
- Novitasari, Sujono, J., Harto, S., Azwar, M., & Rachmad, J. (2018). Pengaruh karakteristik gambut terdegradasi terhadap kebakaran lahan gambut (Studi kasus lahan gambut PLG Blok A di Kalimantan Tengah). *Prosiding Seminar Nasional Lingkungan Lahan Basah*, 3(April), 347–351. <http://snllb.ulm.ac.id/prosiding/index.php/snllb-lit/article/view/77/75#>
- Nurlina, Ridwan, I., & Putri, W. E. (2018). Analisis kebakaran lahan gambut menggunakan citra satelit multitemporal. *Prosiding Seminar Nasional Lingkungan Lahan Basah*, 3(2), 1–4. <https://snllb.ulm.ac.id/prosiding/index.php/snllb-lit/article/download/78/76>
- Page, S. E., Rieley, J. O., Shotyk, W., & Weiss, D. (1999). Interdependence of peat and vegetation in a tropical peat swamp forest. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 354(1391), 1885–1887. <https://doi.org/10.1098/rstb.1999.0529>
- Pantau Gambut. (2021). *Penyebab Kerusakan Lahan Gambut*. <https://www.pantaugambut.id/>. <https://www.pantaugambut.id/pelajari/penyebab-kerusakan-lahan-gambut>
- Pezdir, V., Čeru, T., Horn, B., & Gosar, M. (2021). Investigating peatland

- stratigraphy and development of the Šijec bog (Slovenia) using near-surface geophysical methods. *Catena*, 206(September 2020). <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105484>
- PP RI Nomor 57 Tahun 2016. (2016). *Peraturan Pemerintah RI Nomor 57 Tahun 2016 Tentang Perubahan Atas Peraturan Pemerintah Nomor 71 Tahun 2014 Tentang Perlindungan dan Pengelolaan Ekosistem Gambut*.
- Prat-Guitart, N., Rein, G., Hadden, R. M., Belcher, C. M., & Yearsley, J. M. (2016). Effects of spatial heterogeneity in moisture content on the horizontal spread of peat fires. *Science of the Total Environment*, 572, 1422–1430. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.145>
- Putra, D. (2017). *BRG Mulai Restorasi Kerusakan Lahan Gambut di Kalsel*. Kabar Kalimantan. <https://redkal.com/>
- Putri, D. P., Wahyono, S. C., & Manik, T. N. (2015). Kontaminasi Limbah Cair Bawah Permukaan di TPA Cahaya Kencana, Kabupaten Banjar. *Jurnal Fisika Flux*, 12(2), 140–149.
- Rahgozar, M. A., & Saberian, M. (2015). Physical and chemical properties of two Iranian peat types. *Mires and Peat*, 16, 1–17.
- Ramadhan, R., Azis, M. R., & Indarto, B. (2022). Eksplorasi Panas Bumi Dengan Metode Geolistrik. *Jurnal Petro 2022*, XI(1), 23–26.
- Ramadhan, S., Tiwow, V. M. A., & Said, I. (2017). Analisis Kadar Unsur Nitrogen (N) Dan Posforus (P) Dalam Lamun (*Enhalus acoroides*) Di Wilayah Perairan Pesisir Kabonga Besar Kecamatan Banawa Kabupaten Donggala. *Jurnal Akademika Kimia*, 5(1), 37. <https://doi.org/10.22487/j24775185.2016.v5.i1.7998>
- Rasmi, Sutanto, Y., Perdhana, R., Marbun, M., Machmud, A., & Pratiwi, E. S. (2024). Identification of Groundwater Aquifers Using Geoelectric Methods with Schlumberger Configuration in Peatland Areas , West Kalimantan , Indonesia. *International Journal of Hydrological and Environmental for Sustainability*, 3(1), 8–17.
- Ratnaningsih, A. T., & Prasytaningsih, S. R. (2017). The Characteristics of Peats and Co2 Emission Due to Fire in Industrial Plant Forests. *IOP Publishing IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*,

97, 12029.

- Reynolds, W. D., Bowman, B. T., Drury, C. F., Tan, C. S., & Lu, X. (2002). Indicators of good soil physical quality: Density and storage parameters. *Geoderma*, 110(1–2), 131–146. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(02\)00228-8](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(02)00228-8)
- Rieley, J. O., Notohadiprawiro, T., Setiadi, B., & Limin, S. H. (2008). Restoration of tropical peatland in Indonesia: why, where and how? *Restoration of Tropical Peatlands*, Editors by: Henk Wosten, Jack Rieley and Susan Page. *Restorpeat and International Peat Society*, 2008, 20–28.
- Rimba Kita. (2019). *pH Tanah – Pengertian, Jenis, Pengukuran & Manfaat*. Rimbakita.Com. <https://rimbakita.com/ph-tanah/>
- Robinson, D. A., Thomas, A., Reinsch, S., Lebron, I., Feeney, C. J., Maskell, L. C., Wood, C. M., Seaton, F. M., Emmett, B. A., & Cosby, B. J. (2022). Analytical modelling of soil porosity and bulk density across the soil organic matter and land-use continuum. *Scientific Reports*, 12(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11099-7>
- Rosyidah, E., & Wirosodarmo, R. (2013). Effect of Soil Physical Properties on Saturated Hydraulic Conductivity in The 5 Land Use (A Case Study in Summersari Malang). *Agritech*, 33(3), 340–345.
- Sabiham, S., & Maswar. (2014). Strategi Pengelolaan Lahan Gambut Terdegradasi untuk Pertanian Berkelanjutan: Landasan Ilmiah. In *Lahan Gambut Indonesia* (pp. 223–242). IAARD Press.
- Sajarwan, A., Jaya, A., & Banuwa, I. S. (2021). Water Retention and Saturation Degree of Peat Soil in Sebangau Catchment Area, Central Kalimantan. *Journal of Tropical Soils*, 26(1), 29–42. <https://doi.org/10.5400/jts.2021.v26i1.29-42>
- Sandman, J. (2018). *Fiber Content As an Indicator of Peat*. Ostfalia Hochschule.
- Saputra, A. D., Setiabudidaya, D., Setyawan, D., & Iskandar, I. (2019). Validasi Areal Terbakar dengan Metode Normalized Burning Ratio Menggunakan UAV (Unmanned Aerial Vehicle): Studi Kasus. *Jurnal*

- Penelitian Sains*, 19(2), 66–72. <http://ejurnal.mipa.unsri.ac.id/index.php/jps/article/view/476>
- Schindler, U., Behrendt, A., & Müller, L. (2003). Change of soil hydrological properties of fens as a result of soil development. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 166(3), 357–363. <https://doi.org/10.1002/jpln.200390055>
- Septian, A., Junedi, H., & Kurniawan Mastur, A. (2023). Estimasi Cadangan Karbon Bawah Permukaan Lahan Gambut Di Desa Catur Rahayu Kecamatan Dendang Kabupaten Tanjung Jabung Timur. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 10(2), 285–295. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2023.010.2.12>
- Siebert, F., Ruecker, G., Hinrichs, A., & Hoffmann, A. A. (2001). Increased damage from fires in logged forests during droughts caused by El Niño. *Nature*, 414(6862), 437–440. <https://doi.org/10.1038/35106547>
- Sinclair, A. L., Graham, L. L. B., Putra, E. I., Saharjo, B. H., Applegate, G., Grover, S. P., & Cochrane, M. A. (2020). Effects of distance from canal and degradation history on peat bulk density in a degraded tropical peatland. *Science of the Total Environment*, 699, 134199. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134199>
- Soil Survey Staff. (1999). *Soil Taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys* (2nd ed.). United State Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service Agriculture Handbook.
- Soil Survey Staff. (2003). *Key to Soil Taxonomy* (9th ed.). United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service.
- Strack, M., Davidson, S. J., Hirano, T., & Dunn, C. (2022). The Potential of Peatlands as Nature-Based Climate Solutions. *Current Climate Change Reports*, 8(3), 71–82. <https://doi.org/10.1007/s40641-022-00183-9>
- Sudarmi. (2014). Pentingnya Unsur Hara Mikro Bagi Pertumbuhan Tanaman. *Widyatama*, 22(2), 178–183. <https://docplayer.info/>

36704679-Pentingnya-unsur-hara-mikro-bagi-pertumbuhan-tanaman.html

- Suganda, H., Rachman, A., & Sutono. (2006). Petunjuk pengambilan contoh tanah. In U. Kurnia, F. Agus, A. Adimihardja, & A. Dariah (Eds.), *Sifat Fisik Tanah dan Metode Analisisnya* (p. 24). Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian.
- Sulaeman, Suparto, & Eviati. (2005). Analisis Kimia Tanah, Tanaman dan Pupuk. In *Balai Penelitian Tanah*,. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian. https://doi.org/10.30965/9783657766277_011
- Sumiati, E., & Gunawan, O. S. (2006). Sumiati_bawang_merah. *Hortikultura*, 17(1), 34–42.
- Suryana, D. R. H., Hendarmawan, H., & Yan Waliyana, T. (2022). Pemodelan Karakteristik Aliran Airtanah Sistem Porous dengan Uji Permeabilitas, Porositas dan Kompresibilitas Batuan pada Fasies Gunungapi Gede-Pangrango Bagian Tenggara. *Jurnal Geologi Dan Sumberdaya Mineral*, 23(1), 35–51. <https://doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v23i1.563>
- Susandi, S., Oksana, O., & Arminudin, A. T. (2015). Analisis Sifat Fisika Tanah Gambut Pada Hutan Gambut Di Kecamatan Tambang Kabupaten Kampar Provinsi Riau. *Jurnal Agroteknologi*, 5(2), 23. <https://doi.org/10.24014/ja.v5i2.1351>
- Sutejo, Y., Saggaff, A., Rahayu, W., & Hanafiah. (2017). Physical and chemical characteristics of fibrous peat. *AIP Conference Proceedings*, 1903(November), 1–9. <https://doi.org/10.1063/1.5011609>
- Takakai, F., Morishita, T., Hashidoko, Y., Darung, U., Kuramochi, K., Dohong, S., Limin, S. H., & Hatano, R. (2006). Effects of agricultural land-use change and forest fire on N₂O emission from tropical peatlands, Central Kalimantan, Indonesia. *Soil Science and Plant Nutrition*, 52(5), 662–674. <https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2006.00084.x>
- Taufik, M., Veldhuizen, A. A., Wösten, J. H. M., & van Lanen, H. A. J.

- (2019). Exploration of the importance of physical properties of Indonesian peatlands to assess critical groundwater table depths, associated drought and fire hazard. *Geoderma*, 347(April), 160–169. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.04.001>
- Tekalign, T., Abdissa, Y., & Pant, L. M. (2012). Growth, bulb yield and quality of onion (*Allium cepa* L.) as influenced by nitrogen and phosphorus fertilization on vertisol. II: Bulb quality and storability. *African Journal of Agricultural Research*, 7(45), 5980–5985. <https://doi.org/10.5897/ajar10.1025>
- Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). Applied Geophysics. In *Cambridge University Press* (Second Edi). <https://doi.org/10.1201/9780367812614-1>
- Trappe, J., & Kneisel, C. (2019). Geophysical and sedimentological investigations of peatlands for the assessment of lithology and subsurface water pathways. *Geosciences (Switzerland)*, 9(3), 1–19. <https://doi.org/10.3390/geosciences9030118>
- Usman, U. (2012). Teknik Penetapan Nitrogen Total pada Contoh Tanah Secara Destilasi Titrimetri dan Kolorimetri Menggunakan Autoanalyzer. *Buletin Teknik Pertanian*, 17(I), 41–44.
- Usup, A., Hashimoto, Y., Takahashi, H., & Hayasaka, H. (2004). Combustion and thermal characteristics of peat fire in tropical peatland in Central Kalimantan, Indonesia. *Tropics*, 14(1), 1–19. https://www.jstage.jst.go.jp/article/tropics/14/1/14_1_1/_pdf
- Vahdat, E., Nourbakhsh, F., & Basiri, M. (2011). Lignin content of range plant residues controls N mineralization in soil. *European Journal of Soil Biology*, 47(4), 243–246. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2011.05.001>
- Valois, R., Vargas, J. A., AcDonell, S., Pinones, C. G., Fernandoy, F., Yáñez Carrizo, G., Cuevas, J. G., Sproles, E. A., & Maldonado, A. (2021). Improving the underground structural characterization and hydrological functioning of an Andean peatland using geoelectrics and water stable isotopes in semi-arid Chile. *Environmental Earth Sciences*, 80(1), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s12665-020->

- Verry, E. S., Boelter, D. H., Päivänen, J., Nichols, D. S., Malterer, T., & Gafni, A. (2011). Physical Properties of Organic Soils. In *Peatland Biogeochemistry and Watershed Hydrology* (Issue 1959, pp. 135–176). <https://doi.org/10.1201/b10708-6>
- Viodego, Y. (2017). *Restorasi Gambut_ BRG dan Kalsel Sepakati 105.023 Ha*. Kabar24 Bisnis.Com. <https://kabar24.bisnis.com/read/20170815/78/681126/>
- Wahyono, S. C., Siregar, S. S., Putri, R. A., Sari, N., Wianto, T., & Nasrulloh, A. V. (2023). Identifying and Classifying Andesite Rocks Based on Resistivity in Tanah Bumbu County, South Kalimantan. *ANAS Transactions, Earth Sciences*, 1, 3–10. <https://doi.org/10.33677/ggianas20230100088>
- Wahyono, S. C., & Sari, N. (2007). Penentuan Kontaminasi Limbah Cair dengan Metode Geolistrik. *Jurnal Sains MIPA Universitas*, 13(3), 183–189. <http://jurnal.fmipa.unila.ac.id/index.php/sains/article/view/155>
- Wahyono, S. C., Atmadja, K. G., & Siregar, S. S. (2020). Identification of Andesite Rock Based on the Resistivity Value in Satui Area, South Kalimantan. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 6(3), 173–182. <https://doi.org/10.23960/jge.v6i3.93>
- Wahyono, S. C., Hidayat, T. A., Pariadi, P., Hapsari, P., Novianti, R. F., Dewi, R. K., & Minarto, O. (2011). Aplikasi Metode Tahanan Jenis 2D untuk Mengidentifikasi Potensi Daerah Rawan Longsor di Gunung Kupang, Banjarbaru. *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika*, 8(2), 95–103.
- Wahyono, S. C., Kurnain, A., Nata, I. F., & Asyari, M. (2023). Post Peat Fire Soil Natural Recovery Based on Physical Properties in South Kalimantan, Indonesia. *International Journal of Plant & Soil Science*, 35(18), 1416–1424. <https://doi.org/10.9734/IJPSS/2023/v35i183409>
- Wahyunto, & Dariah, A. (2014). Degradasi Lahan di Indonesia: Kondisi Existing, Karakteristik, dan Penyeragaman Definisi Mendukung

- Gerakan Menuju Satu Peta. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 8(2), 81–93.
<https://doi.org/10.2018/jsdl.v8i2.6470>
- Wahyunto, Dariah, A., & Agus, F. (2010). Distribution, properties, and carbon stock of Indonesian peatland. *Proc. of Int. Workshop on Evaluation and Sustainable Management of Soil Carbon Sequestration in Asian Countries*, 187–204.
- Wallor, E., Roskopf, N., & Zeitz, J. (2018). Hydraulic properties of drained and cultivated fen soils part I - Horizon-based evaluation of van Genuchten parameters considering the state of moorsh-forming process. *Geoderma*, 313(March 2017), 69–81.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.10.026>
- Wiley, J., & York, N. (1985). *AP42 Section : Background Ch Reference : Title : H. L. Bohn et al ., Soil Chemistry ,. I.*
- Xue, W., Ma, H., Xiang, M., Tian, J., & Liu, X. (2023). From Sphagnum to shrub: Increased acidity reduces peat bacterial diversity and keystone microbial taxa imply peatland degradation. *Land Degradation and Development*, 34(17), 5259–5272.
<https://doi.org/10.1002/ldr.4842>
- Yoneyama, T. (1991). Uptake, assimilation and translocation of nitrogen by crops. *JARQ. Japan Agricultural Research Quarterly*, 25(2), 75–82.
- Yulianto, F. E., Harwadi, F., & Rusdiansyahi. (2019). Characteristics of Palangkaraya fibrous peat. *MATEC Web of Conferences*, 276, 05008. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201927605008>



PROFIL PENULIS



Dr. Sri Cahyo Wahyono, S.Si., M.Si.

Penulis adalah dosen di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas Lambung Mangkurat (ULM). Penulis mengkhususkan diri dalam bidang geofisika, dengan fokus pada metode kelistrikan bumi (geolistrik), metode magnetik, dan geofisika lahan basah.

Penulis telah menyelesaikan Sarjana Sains di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Diponegoro (Undip); Magister Sains di Jurusan Fisika (bidang Geofisika) FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS); dan program Doktorat Ilmu Pertanian di Universitas Lambung Mangkurat (ULM).



Prof. Dr. Ir Ahmad Kurnain, M.Sc.

Penulis adalah dosen di Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Lambung Mangkurat (ULM). Penulis mengkhususkan diri dalam bidang ilmu tanah, dengan fokus pada peat science, biogeochemistry dan agroecosystem.

Penulis telah menyelesaikan Sarjana Pertanian di Fakultas Pertanian, Universitas Lambung Mangkurat ULM); Master of Science di University of Wageningen; dan program Doktorat Ilmu Pertanian di Universitas Gadjah Mada (UGM).



Prof. Ir. Iryanti Fatyasari Nata, S.T., M.T., Ph.D

Penulis adalah dosen di Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat (ULM). Penulis mengkhususkan diri dalam bidang teknik kimia, dengan fokus pada biomaterial dan *renewable energy*.

Penulis telah menyelesaikan Sarjana Teknik di Institut Teknologi Nasional (ITN), Magister Teknik di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS); dan program Doktorat di Departemen Teknik Kimia, *National Taiwan University of Science and Technology* (Taiwan Tech).



Dr. Ir. Mufidah Asyari, M.P.

Penulis adalah dosen di Fakultas Kehutanan, Universitas Lambung Mangkurat (ULM). Penulis mengkhususkan diri dalam bidang Ilmu Kehutanan, dengan fokus pada ilmu ukur kayu, inventarisasi hutan, ilmu ukur lahan dan perpetaan dan perencanaan hutan

Penulis telah menyelesaikan Sarjana Pertanian di Universitas Lambung Mangkurat (ULM), Magister Pertanian di Universitas Mulawarman (Unmul); dan Doktor Pertanian di Universitas Brawijaya (UB).

Kebakaran lahan gambut akibat kemarau ekstrem membawa dampak buruk secara ekologi, ekonomi, dan sosial. Sebagai ekosistem krusial dengan proses yang kompleks, kebakaran mampu merombak drastis karakteristik fisik dan kimia tanah gambut, sehingga mengganggu produktivitas serta fungsi lingkungan secara luas.

Buku **Pemulihan Lahan Gambut: Pendekatan Fisika, Kimia, Dan Kelistrikan Bumi** memaparkan dinamika dan laju pemulihan (recovery) tanah gambut pasca-kebakaran di suatu Kesatuan Hidrologis Gambut (KHG). Pembahasan terperinci mencakup perubahan sifat fisika tanah (Bulk Density, kadar air, serat, abu), unsur kimia (karbon, nitrogen, fosfor, kalium, pH) dan sifat resistivitas tanah/batuan

Buku ini hadir sebagai rujukan berharga bagi akademisi, praktisi, dan pemangku kebijakan dalam upaya pelestarian serta restorasi ekosistem gambut.



PENERBIT KBM INDONESIA
Anggota IKAPI
0813 5751 7526 / (0353) 3234874
Kantor : Maguwoharjo, Depok, Sleman-Yogyakarta

@penerbitbukujogja

@penerbit.kbm

ISBN 978-634-278-269-9



9 786342 782699