



Pola Hubungan Ketersediaan Hara Dan Sifat Fisika Gambut Berdasarkan Pendekatan *Principal Component Analysis* (PCA)

Ristha Febrianti¹

Program Studi Magister Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Tanjungpura, Pontianak, Indonesia

*Corresponding Author: oxysolhistosol@gmail.com

Keywords Base Saturation, Bulk Density, Nutrient Availability, Peatland, Principal Component Analysis.	ABSTRACT <i>Tropical peat has interrelated chemical and physical properties, so managing its fertility requires an understanding of how these properties relate to one another simultaneously. This study aimed to map the relationships between nutrient availability and physical properties of peat and to identify the main factors controlling their variability across four land-use types: oil palm, mixed fruit garden, mixed vegetable garden, and shrubland. The research was conducted in January 2026 in Kuala Dua Village, Kubu Raya Regency, West Kalimantan. Twenty soil samples (4 land-use types × 5 replicates) were collected at a depth of 0–30 cm and analyzed for 10 chemical and physical variables, then processed using Principal Component Analysis (PCA) with Varimax rotation. The peat was very acidic (pH 3.23–3.65), with very high cation exchange capacity (>110 cmol(+)kg⁻¹) and very low base saturation (3.62–6.27%). PCA yielded four principal components that explained 90.29% of the total variance. PC1 (39.59%) linked pH, organic carbon, and phosphorus; PC2 (27.31%) linked Ca, Mg, and base saturation; PC3 (12.92%) linked bulk density and moisture content; and PC4 (10.47%) linked land-use type and total N. Improving peat fertility therefore requires an integrated approach that combines acidity control, cation balancing, and water management. The marginal KMO value (0.502) calls for cautious interpretation of the results</i>
Received	
Accepted	
Published	
To Cite	-

LATAR BELAKANG

Lahan gambut tropika merupakan salah satu ekosistem lahan basah paling penting secara ekologis maupun ekonomis di dunia. Salah satu cadangan karbon terestrial terbesar, gambut tropika di Asia Tenggara, terutama di Indonesia, Malaysia, dan wilayah pesisir Kalimantan, menyimpan karbon organik dalam jumlah sangat besar sekaligus berfungsi sebagai pengatur tata air regional (Page & Hooijer, 2016). Indonesia tercatat memiliki cakupan lahan gambut tropika terluas di dunia, yang tersebar di Sumatera, Kalimantan, dan Papua, dengan peran strategis dalam mendukung keberlanjutan pertanian, mitigasi perubahan iklim, dan stabilitas lingkungan global. Namun demikian, pemanfaatan lahan gambut untuk budi daya pertanian dan perkebunan selalu dihadapkan pada kendala biofisik yang kompleks, yaitu tingkat keasaman tanah yang sangat tinggi, ketersediaan hara yang terbatas, kapasitas tukar kation yang didominasi gugus fungsional organik, serta sifat fisik tanah yang rentan mengalami

degradasi tak balik akibat drainase berlebih atau subsiden (Anshari et al., 2010; Könönen et al., 2015; Mishra et al., 2021).

Di Kalimantan Barat, khususnya wilayah pesisir seperti Pontianak dan Kubu Raya, ekosistem gambut mengalami tekanan pemanfaatan yang intensif akibat konversi menjadi lahan pertanian dan perkebunan. Perubahan penggunaan lahan gambut di kedua wilayah ini telah dikaji sebagai dasar rekomendasi pengembangan pertanian gambut yang berkelanjutan (Wahyunto et al., 2010). Kalimantan Barat pula, Anshari et al. (2010) menunjukkan bahwa drainase dan alih guna lahan mengubah sifat gambut, ditandai dengan peningkatan pH, bobot isi, dan N-total serta penurunan rasio C/N pada lahan sawit dan pertanian. Fenomena serupa terjadi pada skala regional: sekitar 80% gambut alami di Asia Tenggara telah ditebang dan didrainase, sebagian besar untuk perkebunan dan pertanian (Mishra et al., 2021). Pembasahan kembali gambut terbukti menurunkan frekuensi kejadian ekstrem bahaya kebakaran di Riau (Taufik et al., 2023), yang menunjukkan pentingnya menjaga muka air tanah agar gambut tidak rentan terbakar. Upaya restorasi pascakebakaran pun perlu didasarkan pada pemahaman dinamika suksesi vegetasi (Muryati et al., 2026). Kondisi ini menegaskan bahwa dinamika ketersediaan hara pada lahan gambut tidak dapat dipahami terpisah dari kondisi fisik tanah, terutama kadar air dan bobot isi, karena keduanya saling terkait dalam satu sistem biofisik yang dinamis.

Secara kimia gambut tropika dicirikan oleh kandungan bahan organik dan C-organik yang sangat tinggi, tetapi pH dan N-total yang rendah (Anshari et al., 2010). Kemasaman yang ekstrem ini berkaitan dengan ketersediaan fosfor, seperti yang dikaji Wijayanti et al. (2023) pada berbagai penggunaan lahan gambut di Kalimantan Tengah. Lapisan permukaan gambut juga sangat dipengaruhi oleh struktur dan kondisi hidrologinya (Lampela et al., 2014). Secara fisik, gambut memiliki bobot isi yang sangat rendah tetapi kapasitas menahan air yang sangat tinggi. Ketika muka air turun akibat drainase, bobot isi meningkat dan subsiden dipercepat (Anshari et al., 2010; Könönen et al., 2015), sedangkan siklus pengeringan dan pembasahan memengaruhi kadar air, emisi karbon, dan hidrofobisitas gambut (Nurzakiah et al., 2020). Interaksi antara kadar air, bobot isi, dan status hara inilah yang menjadi inti persoalan pengelolaan gambut berkelanjutan.

Penelitian karakteristik gambut sejauh ini cenderung menelaah hubungan antara satu atau beberapa sifat tertentu, misalnya pH dengan fosfor tersedia (Wijayanti et al., 2023), emisi CO₂ dengan hidrofobisitas (Nurzakiah et al., 2020), atau mineralisasi karbon dengan karakteristik gambut (Saidy et al., 2018). Pendekatan semacam ini terbatas dalam memetakan hubungan multivariat yang simultan antara sifat hara dan sifat fisik gambut. Sifat-sifat gambut saling berinteraksi secara nonlinear; sebagai contoh, perubahan kadar air tidak hanya memengaruhi bobot isi, tetapi juga dinamika kelarutan hara dan kemasaman tanah secara bersamaan.

Pendekatan multivariat berbasis *Principal Component Analysis* (PCA) dapat mengatasi keterbatasan tersebut. PCA menawarkan reduksi dimensi data tanpa kehilangan informasi esensial sekaligus mengungkap pengelompokan variabel yang berkorelasi kuat. Uji kelayakan Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) dan *Bartlett's Test of Sphericity* memungkinkan verifikasi objektif kelayakan data sebelum reduksi dimensi, sehingga komponen utama yang diekstraksi merepresentasikan struktur data yang sah. Penerapan PCA untuk memetakan pola hubungan antara sifat fisik dan ketersediaan hara pada gambut tropika Kalimantan Barat masih jarang dikaji. Kesenjangan pengetahuan (*knowledge gap*) inilah yang mendasari perlunya penelitian ini.

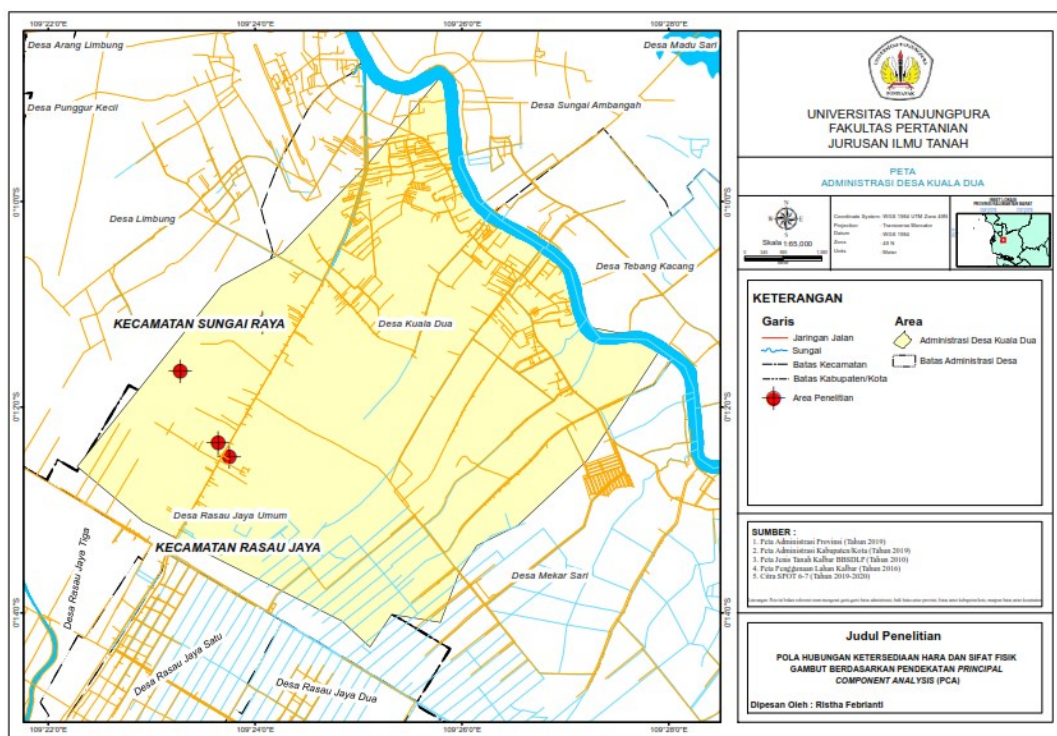
Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan memetakan pola hubungan antara sifat fisika dan ketersediaan hara tanah gambut menggunakan pendekatan *Principal Component Analysis* (PCA), serta mengidentifikasi faktor-faktor utama yang mengendalikan keragaman gabungan sifat fisik-kimia tersebut pada berbagai tipe penggunaan lahan (kelapa sawit, kebun sayur campuran, kebun buah campuran, dan semak belukar). Mengevaluasi respon karakteristik gambut untuk perbaikan kesuburan kimiawi berdasarkan struktur komponen utama.

METODE

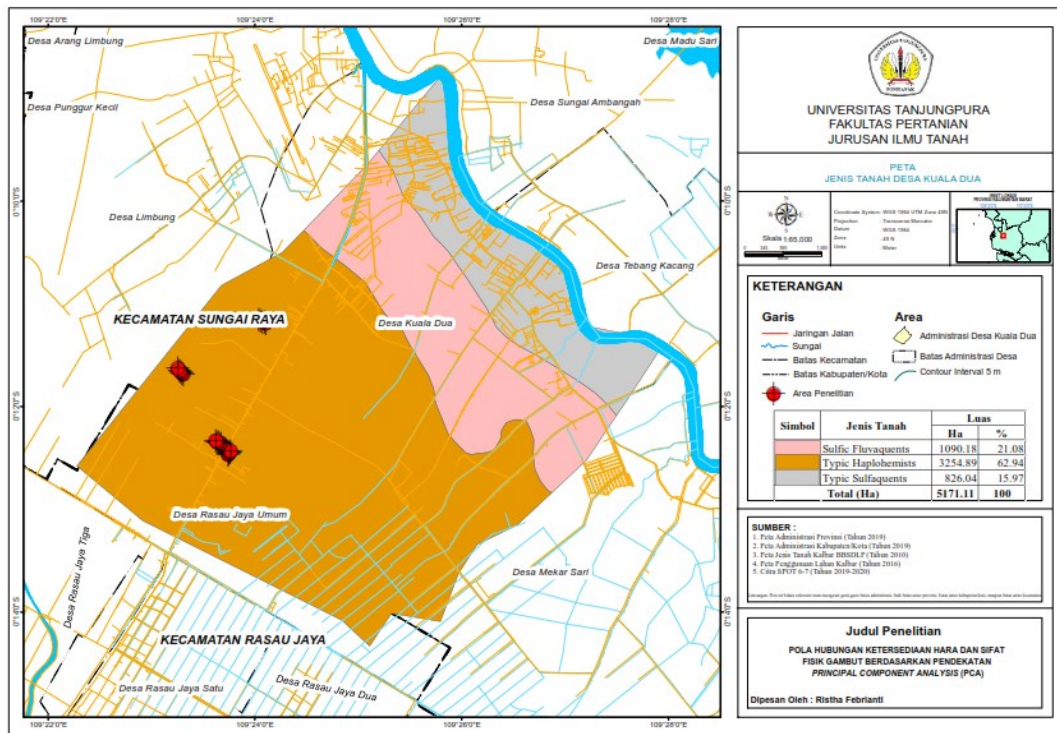
Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari 2026 di Desa Kuala Dua, Kecamatan Sungai Raya, Kabupaten Kubu Raya. Penentuan lokasi penelitian dilakukan secara purposive sampling berdasarkan pertimbangan variasi penggunaan lahan yang mencakup empat tipe utama, yaitu kelapa sawit, kebun sayur campuran, kebun buah campuran, dan semak belukar. Pada setiap tipe penggunaan lahan, sampel tanah diambil secara sistem diagonal dengan jarak antar-titik sampel sebesar 25 meter pada kedalaman 0–30 cm yang mewakili lapisan perakaran aktif. Pengambilan sampel dibagi menjadi sampel tanah utuh (menggunakan ring sampler) sebanyak 5 titik pada masing-masing lahan untuk analisis sifat fisika, serta sampel tanah terganggu di sekitar titik sampel untuk analisis sifat kimia, sehingga diperoleh total 20 sampel tanah terdistribusi (4 tipe lahan $\times$ 5 ulangan). Seluruh sampel tanah selanjutnya dianalisis di Laboratorium Kimia dan Kesuburan Tanah serta Laboratorium Konservasi dan Fisika Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Tanjungpura

Parameter sifat fisik tanah yang diuji meliputi bobot isi (BI) yang diukur menggunakan metode ring sampel dan kadar air (KA) yang diukur menggunakan metode gravimetri. Parameter sifat kimia dan hara meliputi pH H_2O (metode elektrometri dengan perbandingan 1:5), Karbon organik (C-organik) menggunakan metode Loss on Ignition (LoI), ketersediaan P_2O_5 (metode Bray-1), kation dapat ditukar Ca dan Mg (ekstraksi NH_4OAc pH 7,0 diserap dengan spektrofotometer serapan atom), serta Kejenuhan Basa (KB) yang dihitung berdasarkan rasio jumlah kation basa terhadap Kapasitas Tukar Kation (KTK).

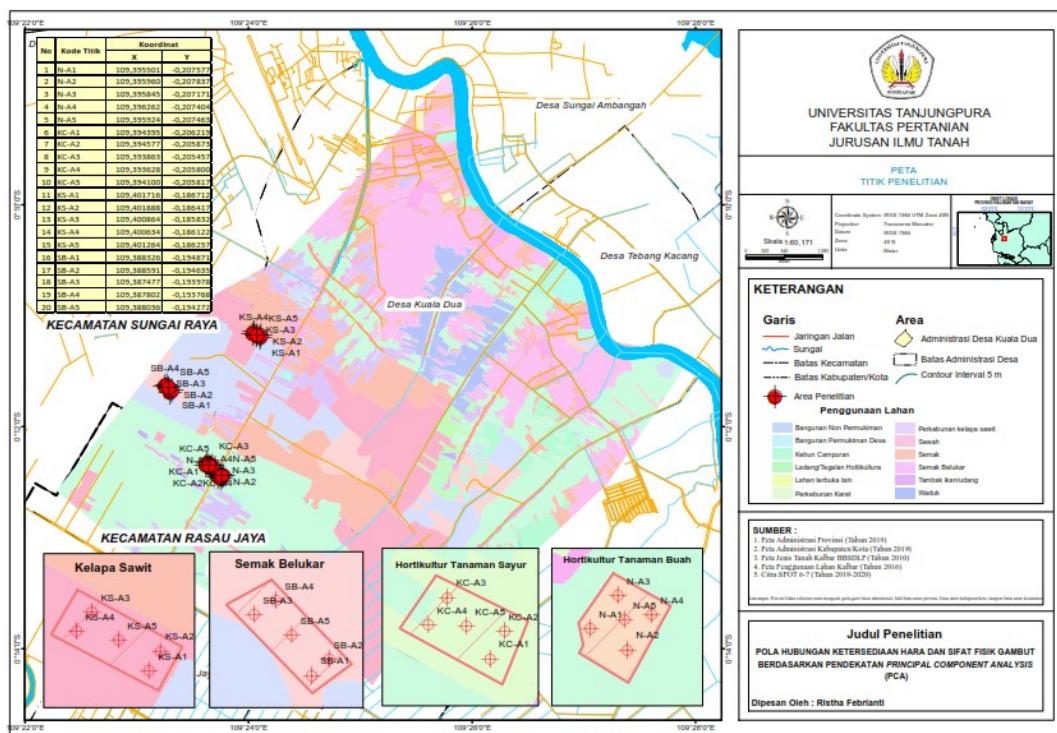
Analisis data dilakukan menggunakan pendekatan statistik multivariat Principal Component Analysis (PCA). Sebelum analisis PCA dijalankan, kelayakan matriks data diuji menggunakan nilai Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy (KMO-MSA) dan Bartlett's Test of Sphericity; kelayakan individual tiap variabel dievaluasi melalui nilai Measure of Sampling Adequacy (MSA) pada tabel Anti-Image Correlation. Ekstraksi komponen utama didasarkan pada kriteria eigenvalue $> 1,0$. Seluruh prosedur komputasi statistik diolah menggunakan perangkat lunak SPSS.



Gambar 1. Peta Aministrasi Lokasi Penelitian



Gambar 2. Peta Jenis Tanah Lokasi Penelitian



Gambar 3. Peta Titik Sampling Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Umum Sifat Kimia dan Sifat Fisika Gambut

Profil kimia tanah gambut di lokasi penelitian mencerminkan ciri khas Histosols tropis, yaitu hara yang tidak seimbang dan kemampuan penyangga (*buffering capacity*) yang terbatas. Gambut tropis alami umumnya memiliki kadar air, bahan organik, dan C-organik yang tinggi, tetapi pH, bobot isi, dan N-total yang rendah (Anshari et al., 2010).

Tabel 1. Data Primer Hasil Penelitian

Land use	pH H ₂ O	C (%)	N- Total (%)	P ₂ O ₅ (ppm)	K	Ca	Mg	KTK	KB (%)	Bobot isi (gr/cm ³)	Kadar Air (pF 2,54)
Kelapa Sawit	3,23	57,01	1,61	49,82	0,14	4,17	1,28	112,55	5,29	0,18	463,34
	Sangat Masam	Sangat Tinggi	Sangat Tinggi	Tinggi	Rendah	Rendah	Sedang	Sangat Tinggi	Sangat Rendah	Sedang	Sedang
Kebun Buah Campuran	3,47	56,33	1,45	88,23	0,12	2,32	1,22	111,37	3,62	0,14	618,48
	Sangat Masam	Sangat Tinggi	Sangat Tinggi	Sangat Tinggi	Rendah	Rendah	Sedang	Sangat Tinggi	Sangat Rendah	Sedang	Sedang
Semak Belukar	3,35	56,48	1,22	60,67	0,69	3,81	2,11	114,26	6,27	0,14	612,20
	Sangat Masam	Sangat Tinggi	Sangat Tinggi	Tinggi	Tinggi	Rendah	Tinggi	Sangat Tinggi	Sangat Rendah	Sedang	Sedang
Kebun Sayur Campuran	3,65	56,00	1,29	100,31	0,18	3,23	1,71	112,42	4,90	0,15	593,19
	Sangat Masam	Sangat Tinggi	Sangat Tinggi	Sangat Tinggi	Rendah	Rendah	Sedang	Sangat Tinggi	Sangat Rendah	Sedang	Sedang

Sumber: Hasil Analisis Laboratorium, 2026

Berdasarkan hasil analisis (tabel. 1) Bahan organik yang melimpah membuat Kapasitas Tukar Kation (KTK) sangat tinggi, namun kompleks jerapannya didominasi ion H⁺ dan asam-asam organik bebas yang memengaruhi proses dekomposisi. Karena itu, reaksi tanah sangat masam pada semua penggunaan lahan (pH 3,23–3,65), sejalan dengan Wijayanti et al. (2023) yang melaporkan pH gambut terdegradasi di Kalimantan sekitar 3,2–4. KTK yang sangat tinggi dengan Kejenuhan Basa (KB) yang sangat rendah menunjukkan bahwa kation basa K, Ca, dan Mg telah tercuci, yang berkaitan dengan pengaruh kondisi hidrologi terhadap kimia lapisan permukaan gambut (Lampela et al., 2014). Cadangan N-total sangat tinggi, tetapi sebagian besar terikat dalam senyawa organik ber-C/N tinggi. Ketersediaan P₂O₅ yang tinggi hingga sangat tinggi kemungkinan berasal dari pelepasan P-organik serta pemberian amelioran atau pupuk anorganik pada lahan terkelola. Hal ini berbeda dari Wijayanti et al. (2023) yang menyebutkan ketersediaan N, P, dan K pada gambut terdegradasi sangat rendah, sehingga tingginya P₂O₅ di lokasi ini kemungkinan besar mencerminkan pengaruh pemupukan.

Secara fisika, gambut sangat rentan terhadap gangguan dan perubahan rezim air. Bobot isi yang rendah (0,14–0,18 g/cm³) menunjukkan sifat alami gambut yang berpori besar karena terbentuk dari sisa tanaman yang belum memadat, sehingga mampu menyimpan banyak air pada kapasitas lapang (pF 2,54). Drainase pada lahan pertanian intensif seperti kelapa sawit meningkatkan bobot isi, sejalan dengan Anshari et al. (2010) yang melaporkan kenaikan bobot isi kering setelah drainase dan alih fungsi lahan di Kalimantan Barat, serta Könönen et al. (2015) yang menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan mengubah sifat fisik dan kimia gambut tropis. Kenaikan bobot isi menandakan pemadatan, subsidensi, dan dekomposisi aerobik yang lebih cepat, dan penurunan rasio C/N pada lahan

sawit dan pertanian juga menjadi indikator dekomposisi yang tinggi (Anshari et al., 2010). Drainase berlebih tidak hanya mengurangi kemampuan gambut menahan air, tetapi juga dapat menyebabkan kering tak balik (*irreversible drying*) yang merusak fungsi fisik tanah secara permanen. Pengeringan dan pembasahan berulang akibat fluktuasi muka air turut memengaruhi kadar air, emisi karbon, dan hidrofobisitas gambut (Nurzakiah et al., 2020).

Pola Hubungan Sifat Fisik dan Ketersediaan Hara Tanah Gambut Berdasarkan Pendekatan PCA

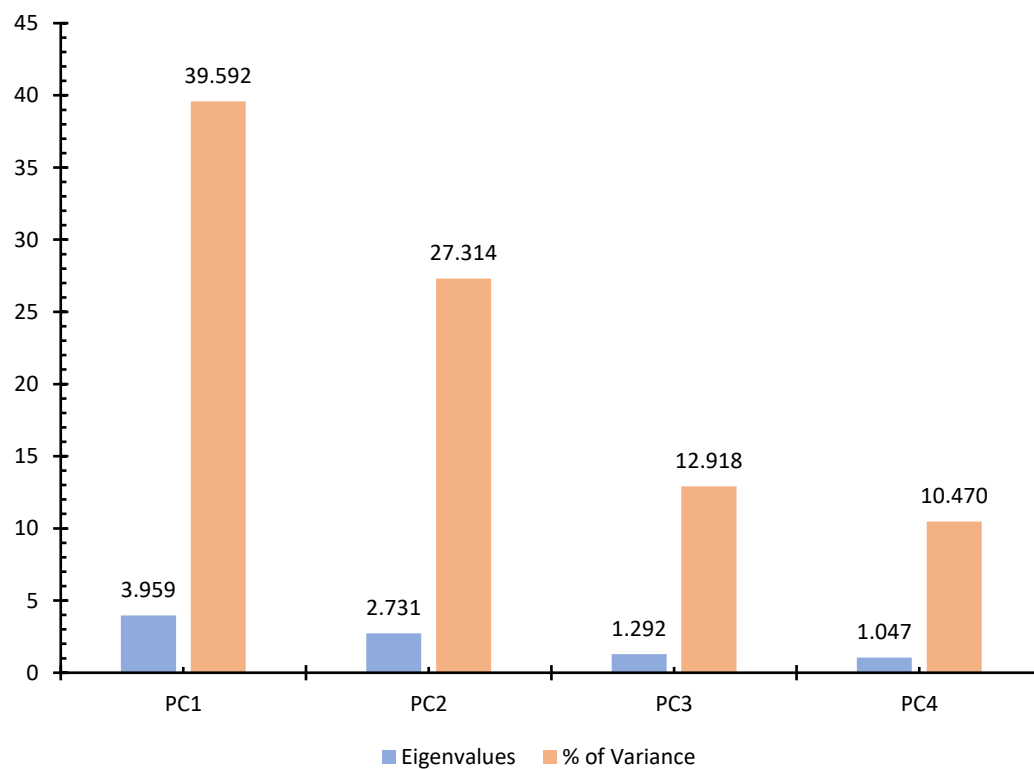
Pendekatan Principal Component Analysis (PCA) berhasil mereduksi keragaman gabungan dari 10 variabel sifat fisik dan kimia tanah gambut menjadi empat Komponen Utama (PC1 hingga PC4) dengan nilai eigenvalue $> 1,0$ dan merangkum akumulasi varians sebesar 90,29%.

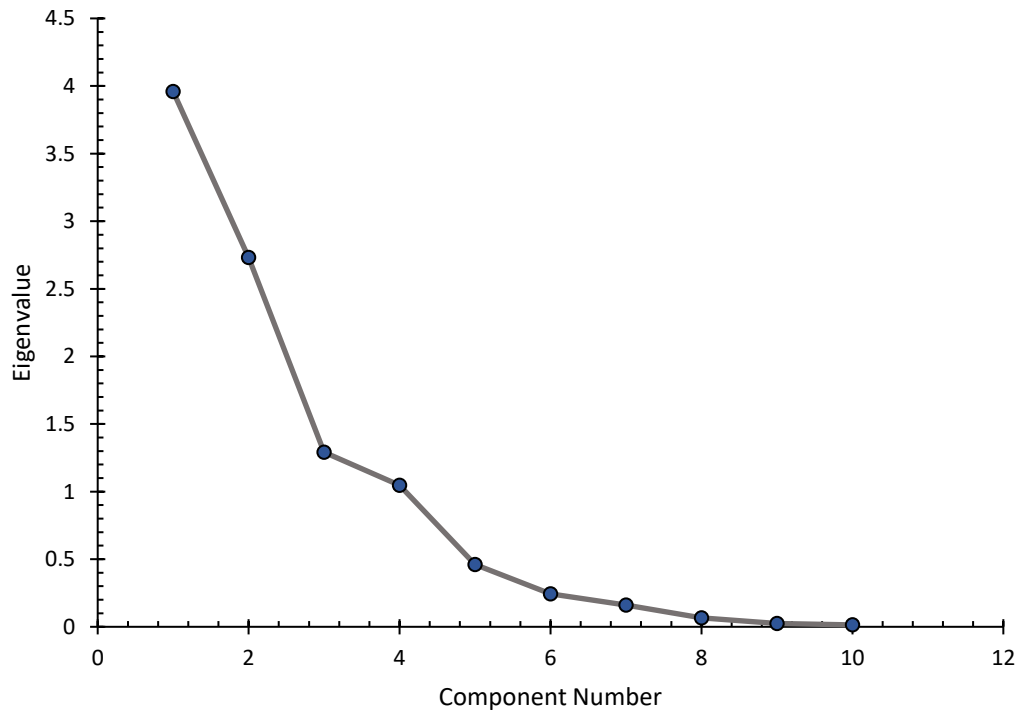
Tabel 2. Uji KMO dan Bartlett

KMO and Bartlett's Test	
<i>Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.</i>	0,502
<i>Bartlett's Test of Sphericity Approx. Chi-Square</i>	178,516
<i>df</i>	45
<i>Sig.</i>	0,000

Tabel 3. Eigenvalues dan % varians

Component	Initial Eigenvalues		
	Total	% of Variance	Cumulative %
1	3,959	39,592	39,592
2	2,731	27,314	66,906
3	1,292	12,918	79,824
4	1,047	10,470	90,295

**Gambar 4.** Grafik eigenvalue dan % varians

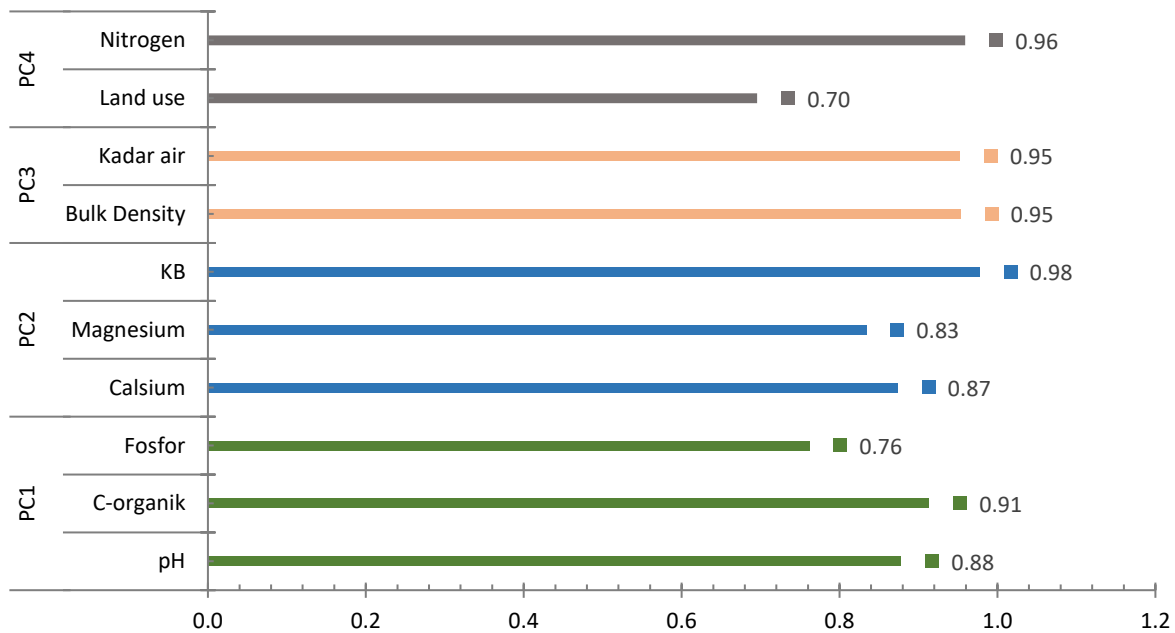


Gambar 5. *Scree plot* nilai eigen komponen utama

Hal ini menunjukkan bahwa struktur matriks data memiliki daya jelaskan (explanatory power) yang sangat kuat dalam memetakan interaksi kompleks antarvariabel gambut. Pemahaman terhadap keterkaitan hara, hidrologi, dan sifat fisik ini penting karena pengelolaan gambut tropis yang efektif memerlukan pemahaman yang utuh tentang dinamika hara dan hidrologi, tidak hanya perubahan cadangan karbon (Mishra et al., 2021). Berdasarkan Rotated Component Matrix, pengelompokan variabel pada masing-masing komponen utama memberikan gambaran mengenai tata hubungan antarsifat tanah.

Tabel 4. Rotated Component Matrix^a

Component	Variabel	Nilai
PC1	pH	0,878
	C-organik	0,913
	Fosfor	0,761
PC2	Calsium	0,873
	Magnesium	0,834
	KB	0,977
PC3	Bulk Density	0,953
	Kadar air	0,952
PC4	Land use	0,695
	Nitrogen	0,959



Gambar 6. Grafik hasil PCA (muatan variabel per komponen)

1. Kontrol Kemasaman dan Ketersediaan Fosfor (PC1)

PC1 menjelaskan varians terbesar (39,59%) dan dicirikan oleh *loading factor* positif yang sangat kuat pada variabel pH (0,878), C-organik (0,913 %), dan ketersediaan fosfor (P_2O_5 , 0,761 ppm). Keterkaitan pH dan fosfor tersedia pada gambut juga dilaporkan oleh Wijayanti et al. (2023), yang membandingkan pH dan P tersedia pada berbagai penggunaan lahan gambut di Kalimantan Tengah. Pola korelasi searah ini mengungkapkan fenomena mendasar bahwa dinamika fosfor pada tanah gambut tropis sangat bergantung pada stabilitas matriks bahan organik dan derajat kemasaman tanah. Pada lingkungan gambut terdegradasi yang sangat masam ($pH\ H_2O < 3,5$), P terikat kuat melalui ikatan kompleks organo-mineral atau terjebak dalam gugus fungsional asam-asam organik (seperti asam humat dan fulvat). Kenaikan pH tanah mendorong disosiasi gugus karboksil dan fenol pada bahan organik, yang selanjutnya melepaskan anion ortofosfat ke dalam larutan tanah melalui mekanisme pertukaran ligan dan reduksi retensi P.

2. Dinamika Kompleks Jerapan dan Kation Basa (PC2)

PC2 menyumbang 27,31% varians data, yang didominasi oleh kation basa dapat ditukar Ca (0,873 $cmol(+)kg^{-1}$) dan Mg (0,834 $cmol(+)kg^{-1}$), serta KB (0,977%). Asosiasi yang sangat erat ini menegaskan bahwa tingkat kejenuhan basa pada gambut dipandu secara terbatas oleh keberadaan kation bervalensi dua (Ca^{2+} dan Mg^{2+}). Karena tanah gambut memiliki KTK yang sangat tinggi ($> 110\ cmol(+)kg^{-1}$) yang mayoritas berasal dari muatan terubahkan/tergantung pH (*pH-dependent charge*), situs jerapan lebih memprioritaskan kation dwivalen dengan kerapatan muatan lebih tinggi dibandingkan kation monovalen. Namun, dominasi muatan negatif yang belum terisi basa menyebabkan persentase kejenuhan basa berada pada kriteria sangat rendah ($< 7\%$). Pola ini selaras dengan karakter kimia permukaan gambut tropis yang sangat dipengaruhi oleh kondisi hidrologi setempat (Lampela et al., 2014).

3. Sifat Fisik Tanah dan Kemampuan Menyimpan Air (PC3)

PC3 menjelaskan 12,92% keragaman, serta korelasi positif searah yang sangat dominan antara bobot isi (0,953 g/cm^3) dan kadar air pF 2,54 (0,952 %). Pola ini mencerminkan dampak mekanisme

dari proses pemadatan (konsolidasi) dan dekomposisi terhadap ruang pori gambut, yang sejalan dengan peningkatan bobot isi akibat drainase dan alih fungsi lahan (Anshari et al., 2010; Könönen et al., 2015). Peningkatan bobot isi akibat pemadatan fisik atau penyusutan (*shrinkage*) mengubah proporsi makropori menjadi mikropori dan pori kapiler. Hal ini meningkatkan retensi air kapiler pada tegangan pF 2,54 (kapasitas lapang), dan juga mengurangi porositas drainase serta dapat menurunkan permeabilitas tanah. Dinamika kadar air gambut yang berkaitan dengan fluktuasi muka air juga berpengaruh terhadap emisi karbon dan hidrofobisitas (Nurzakiah et al., 2020).

4. Dampak Pengolaan Lahan Terhadap Akumulasi Nitrogen (PC4)

PC4 mencakup 10,47% varians, dengan muatan tinggi pada tipe penggunaan lahan (0,695) dan N-total (0,959). Pola ini menunjukkan bahwa kandungan N-total pada tanah gambut dipengaruhi oleh pola pengelolaan lahan dan jenis vegetasi penutup di atasnya. Hal ini sejalan dengan temuan Anshari et al. (2010) bahwa N-total gambut cenderung meningkat pada lahan yang telah dialih fungsikan. Akumulasi N-total yang tinggi pada gambut lebih dipengaruhi oleh lambatnya proses mineralisasi akibat hambatan aktivitas mikroba pada pH masam dan anaerob, dibandingkan dengan masukan pupuk anorganik semata. Komposisi bahan organik turut menentukan laju mineralisasi sehingga alih fungsi gambut menjadi lahan sawah menurunkan kandungan karbohidrat dan meningkatkan lignin, serta perubahan laju mineralisasi karbon (Saidy et al., 2018).

Faktor Utama Pengendali Keragaman Gabungan Sifat Fisik-Kimia pada Berbagai Tipe Penggunaan Lahan

Keragaman sifat fisik-kimia gambut pada tipe penggunaan lahan (Kelapa Sawit, Kebun Buah Campuran, Kebun Sayur Campuran, dan Semak Belukar) merupakan dampak dari gangguan hidrologi, pemberian amelioran, serta dinamika siklus hara internal. Hal ini sejalan dengan kondisi ekosistem gambut di Asia Tenggara, di mana sebagian besar gambut alami telah didrainase untuk kegiatan pertanian (Mishra et al., 2021). Kalimantan Barat seperti Kabupaten Kubu Raya, pemanfaatan gambut untuk sektor pertanian terus dipelajari guna mendukung pengelolaan lahan gambut yang berkelanjutan (Wahyunto et al., 2010).

1. Aktivitas Pertanian Intensif Terdrainase (Kelapa Sawit)

Penggunaan lahan kelapa sawit dicirikan oleh nilai *bulk density* tertinggi (0,18 g/cm³) dan nilai pH paling rendah (3,23). Pembuatan jaringan drainase buatan untuk menurunkan muka air tanah memicu masukan oksigen ke lapisan subpermukaan, yang mempercepat subsidensi dan pemadatan fisik gambut. Peningkatan bobot isi pada lahan terdrainase konsisten dengan hasil Anshari et al. (2010), meskipun studi tersebut melaporkan kecenderungan peningkatan pH, sedangkan pada penelitian ini pH justru terendah pada lahan sawit. Perbedaan tersebut kemungkinan berkaitan dengan riwayat pengelolaan lahan, misalnya pemberian amelioran atau pembakaran, yang tidak dikaji dalam penelitian ini. Oksidasi bahan organik yang terpacu membebaskan asam-asam organik bebas serta senyawa karboksilat yang meningkatkan konsentrasi ion H⁺ dalam larutan tanah, sehingga menekan pH. Alih guna gambut juga mengubah struktur kimia karbon organik dan laju mineralisasinya (Saidy et al., 2018). Meskipun kerapatan massa tanah meningkat, proses kemasaman yang ekstrem ini berisiko mempercepat degradasi gambut secara permanen.

2. Pengelolaan Berbasis Ameliorasi Masif (Kebun Sayur Campuran)

Lahan kebun sayur campuran menunjukkan pH tertinggi (3,65) dan ketersediaan P₂O₅ tertinggi (100,31 ppm). Pola bahwa pH lebih tinggi pada lahan budidaya dibandingkan kondisi alami juga dilaporkan oleh Wijayanti et al. (2023). Temuan ini mencerminkan dampak dari praktik budidaya tanaman hortikultura semusim yang secara intensif mengaplikasikan pupuk fosfat berkadar tinggi serta bahan amelioran (seperti kapur atau abu pascapanen). Rekayasa input kimiawi ini berhasil menaikkan pH tanah dan melarutkan P terikat, namun belum mampu menaikkan nilai kejenuhan

basa secara signifikan karena tingginya kapasitas penyangga (*buffering capacity*) matriks organik gambut.

3. Sistem Pertanian Berbasis Komoditas Perkebunan Campuran (Kebun Buah Campuran)

Lahan kebun buah campuran mencatatkan kadar air pF 2,54 tertinggi (618,48 %) namun memiliki KB (3,62%) dan kadar Ca dapat ditukar ($2,32 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$) terendah. Sistem tajuk dan perakaran pohon yang relatif rapat membantu mempertahankan kelembapan dan porositas matriks gambut dari paparan radiasi matahari langsung, selaras dengan peran kondisi hidrologi dalam menentukan sifat permukaan gambut (Lampela et al., 2014). Akan tetapi, ekstraksi kation hara jangka panjang oleh vegetasi kayu (*nutrient removal*) tanpa pengembalian residu tanaman atau pemupukan kation basa (Ca dan Mg) yang seimbang menyebabkan pengurasan basa-basa dapat ditukar dari kompleks jerapan.

4. Ekosistem Suksesi Alami/Ekstensif (Semak Belukar)

Lahan semak belukar menunjukkan keunggulan pada kation basa dapat ditukar K ($0,69 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$) dan Mg ($2,11 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$), serta KB tertinggi (6,27%). Tanpa adanya saluran drainase dalam dan intervensi pemupukan anorganik, ekosistem semak belukar mempertahankan siklus hara tertutup (*closed-loop nutrient cycling*). Minimnya pencucian (*leaching*) akibat tidak adanya aliran permukaan dan drainase terencana menjaga kation-kation basa hasil serasah vegetasi tetap terikat pada situs jerapan permukaan gambut.

Evaluasi Respons Karakteristik Gambut untuk Perbaikan Kesuburan Kimiawi Berdasarkan Struktur Komponen Utama

Penerapan analisis komponen utama (PCA) memberikan arahan strategis dalam merumuskan rekayasa perbaikan kesuburan kimia tanah gambut secara presisi dan berkelanjutan. Upaya tersebut sebaiknya dilakukan secara terpadu dengan mempertimbangkan faktor ekologi yang saling berinteraksi serta melibatkan masyarakat yang menggantungkan mata pencaharian pada lahan gambut terkonversi (Mishra et al., 2021).

1. Pengendalian Kemasaman dan Ketersediaan Fosfor (PC1)

Mengingat PC1 didominasi oleh pH dan P_2O_5 , langkah awal yang mendesak untuk perbaikan kesuburan adalah menaikkan pH tanah hingga mencapai kisaran moderat ($\text{pH} > 4,0\text{--}4,5$). Praktik pengapuran (*liming*) menggunakan dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) atau pemberian bahan amelioran kaya basa tidak hanya menetralkan kemasaman H^+ dan Al^{3+} , tetapi juga merangsang pelepasan P_2O_5 yang terikat oleh senyawa organik. Hal ini sejalan dengan hubungan pH dan P tersedia pada gambut yang dilaporkan Wijayanti et al. (2023), serta memperhalus efisiensi pemupukan P tanpa perlu memberikan dosis pupuk anorganik berlebihan yang berpotensi tercuci.

2. Peningkatan Kejenuhan Basa dan Keseimbangan Kation (PC2)

Rendahnya nilai KB ($< 7\%$) pada seluruh tipe penggunaan lahan yang terpetakan dalam PC2 mengindikasikan ketidakseimbangan kation pada kompleks jerapan. Strategi perbaikan tidak boleh hanya bertumpu pada pemupukan K tunggal, melainkan wajib memperhatikan rasio keseimbangan kation (Ca/Mg dan Mg/K). Pemberian amelioran kaya kation dwivalen secara bertahap sangat diperlukan untuk menggeser ion H^+ pada muatan terubahkan KTK gambut yang sangat tinggi ($> 110 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$), sehingga meningkatkan ketersediaan hara makro sekunder bagi tanaman. Pemahaman mengenai dinamika hara pada gambut menjadi kunci bagi solusi pengelolaan dan restorasi yang lebih baik (Mishra et al., 2021).

3. Pengelolaan Tata Air untuk Menjaga Struktur Fisik Gambut (PC3)

Hubungan linier antara bobot isi dan retensi air pada PC3 menggarisbawahi bahwa perbaikan kimiawi tanah tidak akan berjalan optimal tanpa tata kelola air (*water management*) yang tepat.

Penurunan muka air tanah yang berlebihan akibat drainase akan memicu penurunan volume gambut (subsidence), pengeringan tak balik (*irreversible drying*), dan degradasi struktur penyimpanan air pF 2,54. Oleh karena itu, penerapan sekat kanal (*canal blocking*) untuk menata muka air tanah dangkal (30–40 cm dari permukaan) mutlak dilakukan guna menjaga porositas fisik gambut sebagai media pertukaran hara. Pembasahan kembali gambut juga terbukti bermanfaat dalam menekan bahaya kebakaran: di Riau, frekuensi kejadian ekstrem bahaya kebakaran menurun dari tujuh kejadian sebelum pembasahan menjadi empat kejadian setelahnya (Taufik et al., 2023). Siklus pengeringan dan pembasahan yang berulang perlu dihindari karena memengaruhi kadar air dan hidrofobisitas gambut (Nurzakiah et al., 2020).

4. Peningkatan Mineralisasi Nitrogen Organik (PC4)

Meskipun kadar N-total tergolong sangat tinggi (1,22%–1,61%), nilai tersebut merefleksikan cadangan N-organik terikat dengan rasio C/N yang relatif tinggi. Berdasarkan struktur PC4, manipulasi biologi tanah diperlukan untuk memicu laju mineralisasi. Mengingat mineralisasi karbon gambut berkaitan erat dengan komposisi kimia bahan organiknya, terutama kandungan karbohidrat dan serat (Saidy et al., 2018), aplikasi konsorsium mikroba dekomposer dan penanaman tanaman penutup tanah legum (*legume cover crops*) pada lahan terganggu dapat memacu perombakan rantai karbon kompleks, sehingga mempercepat pelepasan N-mineral (NH_4^+ dan NO_3^-) yang siap diserap tanaman. Namun, percepatan dekomposisi ini perlu dikendalikan karena mineralisasi yang berlebihan dapat meningkatkan emisi karbon dari gambut.

KESIMPULAN

Gambut di Desa Kuala Dua pada keempat penggunaan lahan bersifat sangat masam (pH 3,23–3,65), dengan kapasitas tukar kation sangat tinggi, kejenuhan basa sangat rendah (3,62–6,27%), dan bobot isi rendah (0,14–0,18 g/cm³). Pola ini menunjukkan keterbatasan intrinsik gambut dalam menyangga hara serta sensitivitasnya terhadap drainase.

PCA mereduksi 10 variabel menjadi empat komponen utama yang menjelaskan 90,29% keragaman data. PC1 (39,59%) dikendalikan oleh pH, C-organik, dan fosfor, sehingga kemasaman menjadi faktor kunci ketersediaan fosfor. PC2 (27,31%) mencerminkan keseimbangan kation basa (Ca, Mg) dan kejenuhan basa. PC3 (12,92%) menunjukkan keterkaitan bobot isi dengan kadar air. PC4 (10,47%) menghubungkan tipe penggunaan lahan dengan N-total. Antarpenggunaan lahan, kelapa sawit memiliki bobot isi tertinggi dan pH terendah, kebun sayur campuran memiliki pH dan fosfor tertinggi, kebun buah campuran memiliki kadar air tertinggi tetapi kejenuhan basa terendah, dan semak belukar memiliki K, Mg, dan kejenuhan basa tertinggi.

Berdasarkan struktur komponen tersebut, perbaikan kesuburan gambut sebaiknya dilakukan secara terpadu, yaitu mengendalikan kemasaman dan ketersediaan fosfor, menyeimbangkan kation basa secara bertahap, serta menjaga tata air agar struktur fisik gambut terjaga. Hasil penelitian ini perlu ditafsirkan hati-hati karena nilai KMO hanya 0,502 dan jumlah sampel terbatas (N = 20), sehingga disarankan penelitian lanjutan dengan jumlah sampel lebih besar, beberapa kedalaman, dan pengamatan lintas musim.

DAFTAR PUSTAKA

- 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>
- Könönen, M., Jauhiainen, J., Laiho, R., Kusin, K., & Vasander, H. (2015). Physical and chemical properties of tropical peat under stabilised land uses. *Mires and Peat*, 16(8), 1–13. <https://doi.org/10.19189/001c.128547>
- Lampela, M., Jauhiainen, J., & Vasander, H. (2014). Surface peat structure and chemistry in a tropical peat swamp forest. *Plant and Soil*, 382, 329–347. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2187-5>
- Mishra, S., Page, S. E., Cobb, A. R., Lee, J. S. H., Jovani-Sancho, A. J., Sjögersten, S., Jaya, A., Aswandi, & Wardle, D. A. (2021). Degradation of Southeast Asian tropical peatlands and integrated strategies for their better management and restoration. *Journal of Applied Ecology*, 58(7), 1370–1387. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13905>
- Muryati, S., Widiyatno, W., Nurjanto, H. H., & Hardiwinoto, S. (2026). Dinamika suksesti vegetasi pasca kebakaran dan implikasinya terhadap restorasi lahan gambut di Taman Nasional Berbak, Jambi. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 13(4), 11425–11434. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2026.134.11425>
- Nurzakiah, S., Wakhid, N., & Hairani, A. (2020). Emisi karbon dioksida dan hidrofobisitas gambut di lahan gambut pasang surut. *Sains Tanah: Jurnal Ilmu Tanah dan Agroklimatologi*, 17(1), 71–77. <https://doi.org/10.20961/stjssa.v17i1.41153>
- Page, S. E., & Hooijer, A. (2016). In the line of fire: The peatlands of Southeast Asia. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 371(1696), 20150176. <https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0176>
- Saidy, A. R., Mariana, Z. T., Adji, F. A., Nusantara, R. W., Fitria, I., & Syahrudin. (2018). Carbon mineralization dynamics of tropical peats in relation to peat characteristics. *Biodiversitas*, 19(4), 1413–1421. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d190430>
- Taufik, M., Haikal, M., Widyastuti, M. T., Arif, C., & Santikayasa, I. P. (2023). The impact of rewetting peatland on fire hazard in Riau, Indonesia. *Sustainability*, 15(3), Article 2169. <https://doi.org/10.3390/su15032169>
- Wahyunto, Supriatna, W., & Agus, F. (2010). Land use change and recommendation for sustainable development of peatland for agriculture: Case study at Kubu Raya and Pontianak Districts, West Kalimantan. *Indonesian Journal of Agricultural Science*, 11(1), 32–40. <https://doi.org/10.21082/ijas.v11n1.2010.p32-40>
- Wijayanti, F., Aditya, H. F., Jaya, A., Ramadhani, W. S., & Tarigan, R. A. (2023). Effect of land use differences on pH and available phosphor in peatland, Kelampangan, Central Kalimantan. *Nusantara Science and Technology Proceedings*. <https://doi.org/10.11594/nstp.2023.3106>



LAMPIRAN

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	Analysis N
Land_use	2,50	1,147	20
pH	3,4230	0,18790	20
C_organik	56,4550	0,62106	20
Nitrogen	1,3925	0,19721	20
Fosfor	74,7555	28,82441	20
Calsium	3,3840	1,03549	20
Magnesium	1,5800	0,58599	20
KB	5,0200	1,36777	20
Bulk_Density	0,1515	0,02207	20
Kadar_air	571,8025	94,00926	20

Correlation Matrix^a

		Land_use	pH	C_organik	Nitrogen	Fosfor	Calsium	Magnesium	KB	Bulk_Density	Kadar_air
Correlation	Land_use	1,000	0,701	-0,528	-0,704	0,493	-0,148	0,426	0,123	-0,447	0,468
	pH	0,701	1,000	-0,844	-0,207	0,566	-0,404	0,077	-0,251	-0,349	0,448
	C_organik	-0,528	-0,844	1,000	0,035	-0,587	0,272	-0,106	0,101	0,348	-0,462
	Nitrogen	-0,704	-0,207	0,035	1,000	-0,180	0,087	-0,356	-0,155	0,289	-0,308
	Fosfor	0,493	0,566	-0,587	-0,180	1,000	-0,367	-0,155	-0,324	-0,157	0,174
	Calsium	-0,148	-0,404	0,272	0,087	-0,367	1,000	0,503	0,881	0,208	-0,293
	Magnesium	0,426	0,077	-0,106	-0,356	-0,155	0,503	1,000	0,802	-0,275	0,246
	KB	0,123	-0,251	0,101	-0,155	-0,324	0,881	0,802	1,000	-0,049	-0,024
	Bulk_Density	-0,447	-0,349	0,348	0,289	-0,157	0,208	-0,275	-0,049	1,000	-0,960
	Kadar_air	0,468	0,448	-0,462	-0,308	0,174	-0,293	0,246	-0,024	-0,960	1,000

a. Determinant = 5,934E-6

Anti-image Matrices

		Land_use	pH	C_organik	Nitrogen	Fosfor	Calsium	Magnesium	KB	Bulk_Density	Kadar_air
Anti-image Covariance	Land_use	0,111	-0,064	-0,014	0,113	-0,061	0,009	-0,007	-0,009	0,017	0,013
	pH	-0,064	0,099	0,073	-0,026	0,061	-0,030	-0,039	0,027	0,002	0,003
	C_organik	-0,014	0,073	0,110	0,057	0,114	-0,039	-0,047	0,033	0,033	0,033
	Nitrogen	0,113	-0,026	0,057	0,245	0,033	-0,032	-0,032	0,019	0,043	0,039
	Fosfor	-0,061	0,061	0,114	0,033	0,351	-0,040	-0,029	0,037	0,044	0,045
	Calsium	0,009	-0,030	-0,039	-0,032	-0,040	0,065	0,058	-0,040	-0,010	-0,006
	Magnesium	-0,007	-0,039	-0,047	-0,032	-0,029	0,058	0,126	-0,050	-0,016	-0,015
	KB	-0,009	0,027	0,033	0,019	0,037	-0,040	-0,050	0,029	0,010	0,008
	Bulk_Density	0,017	0,002	0,033	0,043	0,044	-0,010	-0,016	0,010	0,044	0,039
	Kadar_air	0,013	0,003	0,033	0,039	0,045	-0,006	-0,015	0,008	0,039	0,038
Anti-image Correlation	Land_use	,662^a	-0,617	-0,123	0,685	-0,307	0,103	-0,060	-0,156	0,237	0,203
	pH	-0,617	,581^a	0,696	-0,169	0,330	-0,370	-0,347	0,514	0,037	0,051
	C_organik	-0,123	0,696	,452^a	0,349	0,581	-0,461	-0,402	0,579	0,468	0,503
	Nitrogen	0,685	-0,169	0,349	,448^a	0,113	-0,258	-0,181	0,227	0,412	0,408
	Fosfor	-0,307	0,330	0,581	0,113	,544^a	-0,269	-0,136	0,366	0,355	0,391
	Calsium	0,103	-0,370	-0,461	-0,258	-0,269	,462^a	0,648	-0,920	-0,191	-0,125
	Magnesium	-0,060	-0,347	-0,402	-0,181	-0,136	0,648	,474^a	-0,824	-0,220	-0,218
	KB	-0,156	0,514	0,579	0,227	0,366	-0,920	-0,824	,399^a	0,278	0,244
	Bulk_Density	0,237	0,037	0,468	0,412	0,355	-0,191	-0,220	0,278	,489^a	0,966
	Kadar_air	0,203	0,051	0,503	0,408	0,391	-0,125	-0,218	0,244	0,966	,522^a

a. Measures of Sampling Adequacy(MSA)