

KARAKTERISASI KOMPOSISI KIMIA DAN POTENSI PEMANFAATAN CAMPURAN TANAH GAMBUT KALIMANTAN TIMUR DENGAN FLY ASH DAN BOTTOM ASH UNTUK PERTANIAN

Imran¹, Farrah Fadhillah Hanum*¹, Budi Setya Wardhana¹, Totok Eka Suharto¹, Annisa Vada Febriani¹

¹ Master of Chemical Engineering, Faculty of Industrial Technology, Ahmad Dahlan University, Jl. Ringroad Selatan, Kragilan, Tamanan, Kec. Banguntapan, Bantul Regency, Yogyakarta Special Region 55191

*Email: farrah.hanum@che.uad.ac.id

Article History

Received: 15 August 2024; Received in Revision: 14 September; Accepted: 25 September 2024

Abstract

The utilization of coal combustion waste, specifically fly ash and bottom ash, as a soil amendment offers an opportunity to enhance the fertility of peat soils in East Kalimantan, which traditionally have low levels of essential nutrients such as nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K). This study aims to evaluate the impact of adding coal ash on the chemical composition and quality of peat soil as a growing medium. The chemical composition analyzed includes alumina (Al₂O₃), silica (SiO₂), phosphorous anhydride (P₂O₅), iron(III) oxide (Fe₂O₃), and calcium oxide (CaO). X-ray Fluorescence (XRF) was used to determine changes in nutrient content. The results indicate that adding coal ash increases the levels of potassium (K) and silica (SiO₂), but decreases the levels of nitrogen (N) and phosphorus (P₂O₅). Additionally, the addition of coal ash affects soil pH, which impacts nutrient availability. These findings suggest that while coal ash can enrich soil with potassium and silica, its effects on nitrogen and phosphorus, as well as pH changes, need to be carefully considered for optimizing fertilization and plant growth.

Keywords: Coal Ash, Peat Soil, Growing Media, Chemical Composition, Soil Fertility

Abstrak

Pemanfaatan limbah pembakaran batubara, khususnya abu terbang dan abu dasar, sebagai pembenah tanah menawarkan peluang untuk meningkatkan kesuburan tanah gambut di Kalimantan Timur, yang secara tradisional memiliki kandungan unsur hara esensial rendah seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K). Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan abu batubara terhadap komposisi kimia dan kualitas tanah gambut sebagai media tanam. Komposisi kimia yang dianalisis mencakup alumina (Al₂O₃), silika (SiO₂), fosfor anhidrat (P₂O₅), besi(III) oksida (Fe₂O₃), dan kalsium oksida (CaO). Metode X-ray Fluorescence (XRF) digunakan untuk menentukan perubahan dalam kandungan unsur hara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan abu batubara meningkatkan kadar kalium (K) dan silika (SiO₂), namun menurunkan kadar nitrogen (N) dan fosfor (P₂O₅). Selain itu, penambahan abu batubara mempengaruhi pH tanah, yang berdampak pada ketersediaan unsur hara. Temuan ini mengindikasikan bahwa meskipun abu batubara dapat memperkaya kandungan kalium dan silika dalam tanah, pengaruhnya terhadap nitrogen, fosfor, serta perubahan pH harus diperhatikan untuk optimasi pemupukan dan pertumbuhan tanaman.

Keywords: Abu Batu Bara, Tanah Gambut, Media Tanam, Komposisi Kimia, Kesuburan Tanah

1. Introduction

Indonesia memiliki sumber daya alam yang luar biasa. Sumber daya alam Indonesia sangat beragam, seperti minyak bumi, batubara, mineral, dan lain-lain. Batubara adalah salah satu sumber daya penting di Indonesia yang digunakan sebagai bahan bakar di pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) (Asof et al., 2022). Batubara digunakan sebagai bahan bakar di PLTU untuk memanaskan air agar menghasilkan uap yang dapat memutar turbin sehingga menggerakkan generator dan menghasilkan listrik. Proses ini menghasilkan produk panas batubara dan limbah padatan serta abu dasar, terak boiler, abu economizer dan abu terbang adalah produk samping. Dari segi jumlah, abu terbang menyumbang sebanyak 80% dari semua produk samping yang dihasilkan dan merupakan komponen utama. Abu terbang merupakan debu anorganik yang

terbentuk selama proses pembakaran batubara, terdiri dari partikel kaca berbentuk bola. Partikel ini terbentuk pada rentang suhu sekitar 1400-1700°C yang merupakan hasil oksidasi mineral-mineral yang terdapat dalam batubara. Abu batubara ini terbawa oleh gas buang saat keluar dari ruang pembakaran dan biasanya dikumpulkan oleh *presipitator* elektrostatis, dan dalam beberapa kasus, oleh rumah kantong atau alat pengumpul mekanis seperti siklon (Panda & Dash, 2020).

Tabel. 1 Komposisi Kimia Abu Batubara

% Komposisi Kimia	Abu Terbang	Abu Dasar
SiO ₂	50,5	52,2
Al ₂ O ₃	28,9	27,5
Fe ₂ O ₃	4,7	6,0
CaO	5,0	5,9
MgO	1,8	1,7
SO ₃	0,21	0,13
K ₂ O	0,80	0,57
Ti ₂ O ₅	1,56	1,53
P ₂ O ₅	0,76	0,74
LOI	3,6	1,8

Sumber: (Menéndez et al., 2021)

Terdapat dua PLTU berbahan bakar batubara yang telah beroperasi dan menyediakan kebutuhan listrik di Kabupaten Berau, Kalimantan Timur. Kedua PLTU ini menghasilkan limbah berupa abu terbang dan abu dasar yang berbeda, yang memiliki potensi dampak yang signifikan terhadap lingkungan. Oleh karena itu, sangat penting untuk memantau dan mengelola dampak pencemaran lingkungan yang efektif dan berkelanjutan dari kedua pembangkit listrik ini (Hasibuan & Widagdo, 2023; Nainggolan et al., 2022)

Sementara itu, di Berau tengah krisis listrik, kedua PLTU harus terus beroperasi untuk memenuhi kebutuhan listrik, yang berarti jumlah limbah abu batubara terus meningkat. Oleh karena itu, pengelolaan dan pemanfaatan limbah yang efektif sangat penting. Memanfaatkan abu terbang dan abu dasar untuk meningkatkan kesuburan tanah gambut adalah salah satu solusi. Akibatnya, tidak hanya limbah dapat diatasi, tetapi juga dapat memberikan manfaat tambahan bagi sektor pertanian lokal. Tanah gambut merupakan penguraian bahan organik seperti sisa tanaman, daun, batang, dan akar. Karakteristik khas tanah gambut yaitu kadar air alami yang tinggi, kemampuan tanah gambut untuk mengalami pengurangan volume ketika diberi tekanan (kompresibilitas) yang tinggi, kemampuan menahan air yang baik, berat jenis yang rendah, daya dukung yang rendah, dan permeabilitas yang sedang hingga rendah. Karena kurangnya unsur hara makro, kondisi ini menghambat pertumbuhan tanaman seperti N, P, K, Ca, Mg, dan S, serta unsur hara mikro seperti besi Fe, Cu, Zn, Mn, dan Mo. Selain itu, 3-4 merupakan pH yang sangat rendah penyebab kurangnya kesuburan tanah. pH tanah dan kejenuhan basa (BS) tergolong rendah. pH mengukur seberapa asam atau basa suatu tanah: skala pH berkisar dari 0 hingga 14, dengan pH 7 sebagai nilai netral. Nilai pH di bawah 7 menunjukkan tanah bersifat asam, sedangkan nilai di atas 7 menunjukkan sifat basa. Dengan pH yang rendah, tanah gambut di daerah ini lebih bersifat asam. Sebagai contoh, di Gunung Makmur, Kalimantan Timur, tanah gambut memiliki pH dan kejenuhan basa (BS) yang rendah, meskipun kandungan nitrogen (N) totalnya sedang, namun kandungan kapasitas tukar kation (KTK), fosfor (P), dan kalium (K) yang tersedia cukup tinggi (Ichriani et al., 2021; Kolay & Taib, 2018; Rusdiansyah & Saleh, 2017; Saida et al., 2023).

Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi pengaruh penambahan abu batubara terhadap kualitas tanah gambut. Fokus utamanya adalah mengelola limbah abu batubara, terutama Abu terbang dan Abu dasar, yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) di Kabupaten Berau, Kalimantan Timur. Tujuannya untuk mengeksplorasi kemampuan pemanfaatan limbah abu batubara dapat meningkatkan kesuburan tanah gambut di lahan pertanian yang masih belum dimanfaatkan di Kalimantan Timur. Dengan menggunakan metode analisis X-Ray Fluorescence (XRF), penelitian ini akan mempelajari komposisi abu batubara, khususnya kandungan unsur hara makro dan mikro yang berpengaruh terhadap kualitas tanah. Diharapkan penelitian ini dapat menawarkan solusi berkelanjutan untuk masalah limbah abu batubara dan masalah kesuburan tanah gambut di wilayah tersebut, dengan harapan dapat meningkatkan produktivitas pertanian dan menjaga keberlanjutan lingkungan sekitar.

2. Materials and Methods

2.1. Material

Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah abu terbang, abu dasar, tanah gambut yang berasal dari Kalimantan Timur dan pupuk kandang yang berasal dari kotoran sapi. Variasi dan rasio campuran dari sampel tersebut disajikan pada tabel berikut:

Tabel. 2 Variasi dan Rasio Campuran (gram)

Kode	GA	PK	FA	BA
GA	500	0	0	0
GA-PK	400	100	0	0
GA-B1A	300	100	0	100
GA-B1B	200	100	0	200
GA-B1C	100	100	0	300
GA-F1A	300	100	100	0
GA-F1B	200	100	200	0
GA-F1C	100	100	300	0
GA-F2A	300	100	100	0
GA-F2B	200	100	200	0
GA-F2C	100	100	300	0
GA-B2A	300	100	0	100
GA-B2B	200	100	0	200
GA-B2C	100	100	0	300

Keterangan: Sampel abu batubara dicampur dengan tanah gambut dan pupuk kandang menjadi 14 macam variasi yaitu: 1 GA (tanah gambut), 1 GA-PK (tanah gambut + pupuk kandang), 3 sampel GA-F1 (tanah gambut+pupuk kandang+abu terbang PLTU 1), 3 sampel GA-F2 (tanah gambut+pupuk kandang+abu terbang PLTU 2). 3 sampel GA-B1 (tanah gambut+pupuk kandang+abu dasar PLTU 1) dan 3 sampel GA-B2 (tanah gambut+pupuk kandang+abu dasar PLTU 2).

2.2. Sample Preparation

Langkah awal dalam preparasi sampel melibatkan pengeringan tanah gambut, abu terbang, dan abu dasar di bawah sinar matahari. Setelah kering, sampel dihaluskan hingga mencapai ukuran 80 mesh. Selanjutnya, tanah gambut dikeringkan menggunakan oven untuk memastikan kandungan air benar-benar hilang. Setelah itu, tanah gambut dicampurkan dengan abu dasar dan abu terbang dalam perbandingan 1:10. Campuran ini kemudian ditambahkan 100 ml air untuk mempermudah pencampuran hingga homogen. Hasil campuran dijemur kembali hingga kering, dihaluskan hingga mencapai ukuran 200 mesh, dan siap untuk dibawa ke Laboratorium Radiasi Yogyakarta untuk uji XRF. Untuk uji nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), dan kapasitas tukar kation (KTK), sampel dihaluskan hingga ukuran 0,5-2 mm dan dikeringkan dengan cara diangin-anginkan, tanpa menggunakan alat lain seperti oven.

2.3. Preparation of Planting Media

Pada tahap persiapan media tanam, langkah pertama yang dilakukan adalah menjemur tanah gambut di dalam kondisi ruang selama lebih kurang 1 hari untuk mengurangi kadar airnya. Setelah itu abu terbang dan abu dasar yang masih memiliki ukuran yang besar dihaluskan agar menjadi ukuran lebih kecil. Setelah semua bahan sampel tersedia, langkah selanjutnya adalah menimbang tanah gambut, pupuk kandang dan abu batubara sesuai data di **Tabel.2**. Setelah seluruh komponen ditimbang sesuai dengan variasi dan rasio pencampuran sesuai dengan Tabel 1, lalu sampel ditempatkan dalam wadah plastik dan ditambahkan air sekitar \pm 100 ml untuk

mempermudah proses pencampuran. Pencampuran dilakukan hingga sampel tercampur secara homogen. Setelah mencapai homogenitas, sampel dipindahkan ke dalam wadah *polybag* dengan berat masing-masing wadah *polybag* sebanyak 500 gram, dan dibiarkan selama beberapa hari untuk memungkinkan kondisi tanah stabil sebelum dilakukan penanaman tanaman cabai.

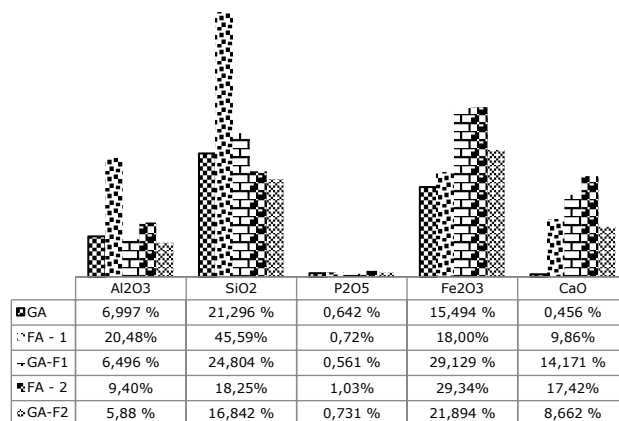
2.4. Analysis of Results

Sampel yang telah dipreparasi dibawa ke Laboratorium Radiasi Yogyakarta untuk dilakukan uji XRF, yang bertujuan mengetahui kadar oksida dan unsur-unsur dalam sampel tersebut. Selain uji XRF, dilakukan juga analisis kualitas dengan beberapa metode lain. Kadar nitrogen diukur menggunakan metode Kjeldahl, sementara kadar fosfor dan kalium dianalisis dengan metode pengabuan basah menggunakan HNO₃ dan HClO₄. Kapasitas tukar kation (KTK) ditentukan dengan metode pengadukan menggunakan NH₄Oac. Selain itu, pH dan kadar air (*moisture content*) diukur menggunakan alat Moisture Meter dan pH Meter. Proses ini memberikan informasi lengkap mengenai komposisi kimia dan kualitas dari sampel tanah gambut campuran tersebut.

3. Results and Discussion

3.1. Analysis of Chemical Composition

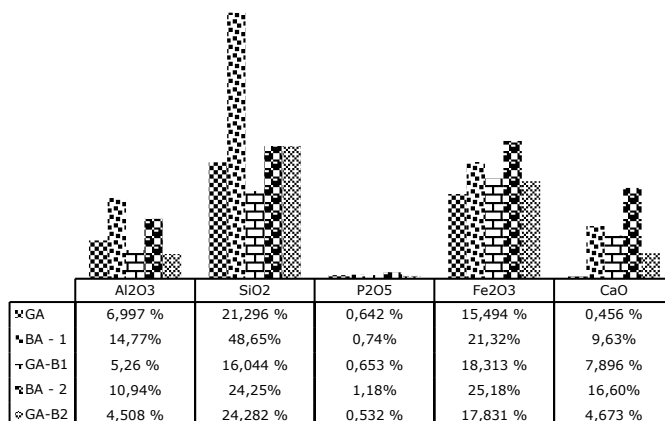
Analisis komposisi kimia dilakukan untuk mengidentifikasi unsur-unsur yang terkandung dalam setiap sampel yang akan digunakan untuk media tanam. Uji *X-ray Fluorescence* (XRF) digunakan untuk menentukan komposisi kimia dari masing-masing sampel tersebut. Hasil komposisi kimia setiap sampel ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Perbandingan komposisi kimia utama pada tanah gambut (GA) dan campuran tanah gambut dengan abu terbang batubara (GA-FA)

Gambar 1. menunjukkan perbandingan komposisi kimia utama pada tanah gambut (GA) dan campuran tanah gambut dengan abu terbang batubara (GA-FA). Dari kelima sampel yang diuji, dapat diketahui bahwa kadar alumina (Al₂O₃) dan silika (SiO₂) tertinggi terdapat pada sampel FA-1, yaitu masing-masing sebesar 20,48% dan 45,59%. Sebaliknya, kadar terendah untuk kedua unsur ini ditemukan pada sampel GA-F2, dengan nilai masing-masing sebesar 5,88% dan 16,84%.

Fosfor anhidrat (P₂O₅) merupakan unsur dengan kadar terendah dibandingkan unsur lainnya, dengan kadar tertinggi sebesar 1,03% pada sampel FA-2 dan terendah sebesar 0,56% pada sampel GA-F1. Sementara itu, kadar besi(III) oksida (Fe₂O₃) dan kalsium oksida (CaO) tertinggi ditemukan pada sampel FA-2, yaitu masing-masing sebesar 29,34% dan 17,42%, sedangkan kadar terendah untuk kedua unsur ini ditemukan pada sampel GA, masing-masing sebesar 15,49% dan 0,46%.



Gambar 2. Perbandingan komposisi kimia utama pada tanah gambut (GA) dan campuran tanah gambut dengan abu bawah batubara (GA-BA)

Gambar 2 menunjukkan perbandingan komposisi kimia utama pada tanah gambut (GA) dan campuran tanah gambut dengan abu bawah batubara (GA-BA). Berdasarkan hasil analisis, kadar alumina (Al₂O₃) dan silika (SiO₂) tertinggi ditemukan pada sampel BA-1, dengan nilai masing-masing sebesar 14,77% dan 48,65%. Sebaliknya, kadar terendah alumina (Al₂O₃) terdapat pada sampel GA-B2, yaitu sebesar 4,51%, sedangkan kadar silika (SiO₂) terendah ditemukan pada sampel GA-B1, dengan nilai 16,04%.

Fosfor anhidrat (P₂O₅), mirip dengan hasil pada Gambar 1, menunjukkan kadar yang relatif rendah dibandingkan unsur-unsur lainnya. Kadar fosfor anhidrat tertinggi sebesar 1,18% terdapat pada sampel BA-2, sedangkan kadar terendah sebesar 0,53% ditemukan pada sampel GA-B2. Untuk besi(III) oksida (Fe₂O₃) dan kalsium oksida (CaO), kadar tertinggi ditemukan pada sampel GA-B2, yaitu sebesar 25,18% untuk Fe₂O₃ dan 16,60% untuk CaO. Kadar terendah untuk kedua unsur ini terdapat pada sampel GA, dengan nilai masing-masing 15,49% untuk Fe₂O₃ dan 0,46% untuk CaO.

Berdasarkan kedua gambar tersebut, terdapat lima komposisi kimia utama yang dianalisis, yaitu alumina (Al₂O₃), silika (SiO₂), fosfor anhidrat (P₂O₅), besi (III) oksida (Fe₂O₃), dan kalsium oksida (CaO). Silika (SiO₂) merupakan senyawa yang banyak ditemui dalam bahan tambang seperti pasir kuarsa, granit, dan feldspar, yang mengandung kristal-kristal silika (SiO₂) (Chairiyah et al., 2022). Abu terbang adalah bahan yang kaya akan silika (Si) dan telah digunakan di banyak negara untuk memberikan nutrisi kepada tanaman padi (Hanum et al., 2023). Kandungan silika dapat meningkatkan ketersediaan fosfor (P) di dalam tanah. Silikon memiliki kemampuan untuk menimbun fosfor dalam konsentrasi tinggi, sehingga defisiensi silikon dapat mengakibatkan gejala keracunan fosfat (Wang et al., 2007).

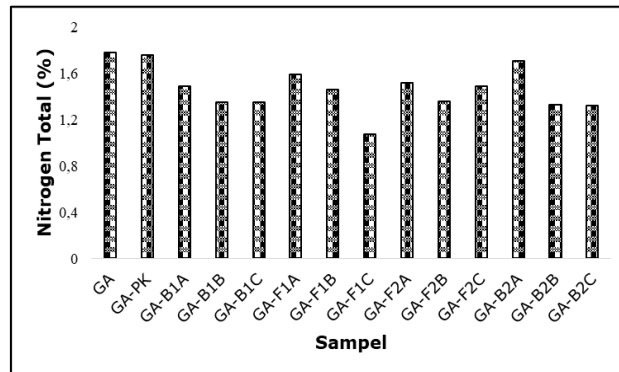
Fosfor anhidrat (P₂O₅) merupakan bentuk umum dari fosfat yang digunakan untuk meningkatkan kandungan fosfor dalam tanah. Fosfor sangat penting bagi tanaman karena berperan dalam pembentukan akar, perkembangan bunga, dan pematangan buah. Pupuk yang mengandung P₂O₅ membantu memperbaiki kesuburan tanah dan mendukung pertumbuhan tanaman (Mashfufah & Prasetya, 2019).

Besi(III) oksida (Fe₂O₃) mengandung unsur besi (Fe), yang merupakan logam esensial bagi organisme hidup. Meskipun dibutuhkan dalam jumlah tertentu, kelebihan Fe dapat menimbulkan efek racun (Supriyantini & Endrawati, 2015). Alumina (Al₂O₃), yang merupakan hasil dari pembakaran abu batubara, dapat mempengaruhi stabilitas reaksi tanah. Kalsium oksida (CaO), atau kapur, berfungsi untuk menstabilkan pH tanah dan sebagai penyumbang ion kalsium (Ca). Ini dapat meningkatkan ketersediaan hara bagi tanaman dan membuat pH pupuk campuran abu terbang bersifat alkali (Fauzi et al., 2020).

3.2. Total Nitrogen Value of Coal Ash and Peat Soil Mixture

Nitrogen atau N adalah unsur hara yang sangat mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Kegiatan renik, baik yang hidup bebas maupun bersimbiosis dengan tanaman mengakibatkan N diserap oleh tanaman terutama melalui akar dan stomata daun saat hujan atau penyemprotan

pupuk daun. pH tanah mempengaruhi pelepasan nitrogen dari bahan organik. Peningkatan pH akan menyebabkan pelepasan nitrogen lebih banyak dari tanah, sehingga ada peningkatan jumlah nitrogen organik di tanah. Jika siklus ini terganggu, jumlah nitrogen organik yang ada di ekosistem dapat berkurang (Simatupang et al., 2018).



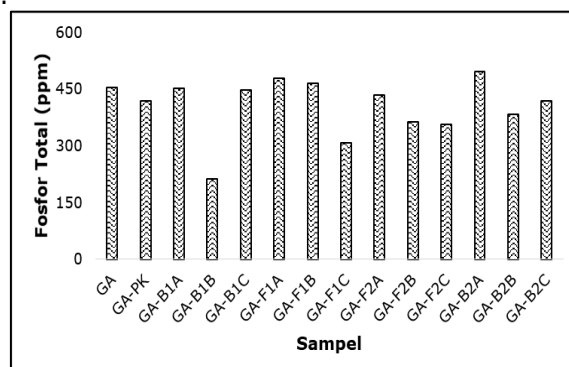
Gambar 3. Perbandingan nilai kandungan nitrogen (N) total dalam tanah gambut dan dalam variasi campuran tanah gambut dan FABA

Nitrogen berdampak pada pertumbuhan, penampilan, warna, dan hasil tanaman. Nitrogen membuat bagian tanaman menjadi hijau karena mengandung klorofil, berperan dalam fotosintesis, unsur tersebut juga membantu tanaman tumbuh lebih cepat, menghasilkan lebih banyak anakan, meningkatkan lebar dan panjang daun, dan meningkatkan kadar protein dan lemak tanaman (Rifaldy, 2019)

Pada gambar 2 terdapat 2 sampel yang memiliki kandungan N yang hampir sama yaitu sampel tanah gambut (GA) dan tanah gambut + pupuk kandang (GA + PK) sehingga penambahan pupuk kandang tidak terlalu berpengaruh. Sedangkan pada sampel tanah gambut + abu dasar Lati (GA+B1A, GA+B1B, GA+B1C) mengalami penurunan nilai Nitrogen, Abu dasar bayur (GA+F1A, GA+F1B, GA+F1C) juga menurun. begitupun dengan penambahan abu terbang bayur dan lati ini dipengaruhi karena sifat unsur N yang mudah sekali terlindi dan mudah menguap, sehingga tanaman seringkali mengalami defisiensi (Fahmi et al., 2010).

3.3. Total Phosphorus Value in Coal Ash and Peat Soil Mixture

Fosfor dapat diartikan sebagai P yang terkandung di dalam tanah yang dapat diekskresikan oleh air dan asam nitrat yang berasal dari deposit batuan dan mineral di kerak bumi yang mengandung kurang lebih 0,21% fosfor. Tidak semua fosfor yang terkandung dalam tanah dapat diakses secara instan, ini bergantung pada sifat dan karakteristik tanah serta metode pengolahan tanah (Simatupang et al., 2018). Kalium atau unsur hara K banyak terkandung di dalam tanah, namun yang larut dalam air atau dapat ditukarkan (dalam koloid tanah) hanya sebagian kecil yang digunakan tanaman. Tanaman menyerap unsur K sebagai ion K⁺ (Muliadi & Amelia, 2023). (P) adalah salah satu nutrisi utama yang sangat penting untuk pertumbuhan tanaman cabai. Unsur-unsur fosfor membantu tanaman mempercepat pertumbuhan akar, terutama akar benih dan tanaman muda, mempercepat asimilasi, pembungaan, dan pemasakan biji (Yudha et al., 2014).



Gambar 4. Perbandingan nilai kandungan fosfor (P) total dalam tanah gambut dan dalam variasi campuran tanah gambut dan FABA

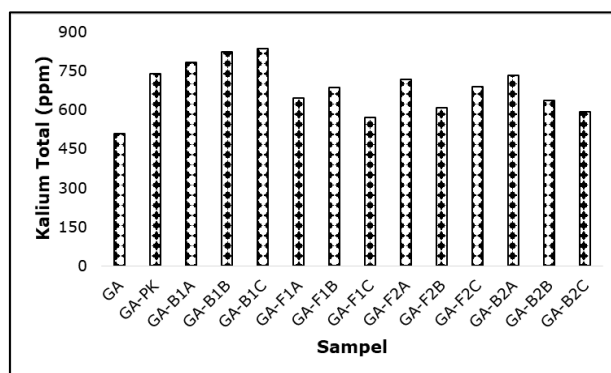
Pada gambar 4. Nilai P total pada campuran tanah gambut dan abu batubara tertinggi yaitu 495,43 ppm pada sampel GA+B2A dengan nilai N : 1,71 % sedangkan nilai P terendah yaitu 213,28 ppm dengan nilai N : 1,35 % terdapat pada sampel GA+B1B. Dapat diamati bahwa unsur N ada keterkaitan terhadap nilai fosfor, adanya interaksi positif ini mempertegas bahwa ketersediaan N di tanah sangat mempengaruhi serapan tanaman terhadap P sehingga pertumbuhan tanaman lebih baik akibat tercukupinya unsur hara N yang akan menyebabkan tanaman mampu menyerap P lebih efektif (Wang et al., 2007)

Hasil analisis ragam setiap dosis abu terbang tidak berpengaruh nyata terhadap nilai P total dalam tanah. Dapat dilihat pada sampel GA+F1A lebih tinggi dari pada GA+F1B dan GA+F1C lebih rendah dari pada GA+F1B dimana setiap penambahan 100 gram abu terbang maka nilai P semakin rendah. Penurunan jerapan P akibat pemberian abu terbang diindikasikan terjadi karena adanya senyawa negatif yang dilepas oleh abu terbang yang berikatan dengan ion Al^{3+} dan Fe^{2+} . Menurut (Mashfufah & Prasetya, 2019) kekurangan unsur fosfor dapat disebabkan karena terfiksasi oleh mineral Al dan Fe dan penguapan yang dapat menurunkan jumlah kandungan P.

Di dalam tubuh tanaman, fosfor berperan pada hampir semua proses biokimia tanaman. Fosfor dibutuhkan tanaman dalam bentuk ortofosfat teroksidasi yang berfungsi sebagai penyusun utama struktur asam nukleat dan sebagai komponen membran fosfolipid. Peranan fosfor antara lain: (1) merupakan komponen pembangun membran sel, dalam proses berbagai reaksi enzim, 2 berperan dalam sintesis protein dan karbohidrat, (3) memacu pembentukan bunga, buah dan biji serta menentukan kemampuan berkecambah benih, dan (4) memperbaiki pertumbuhan akar tanaman. Kekurangan unsur ini ditandai dengan kerdilnya tanaman. Defisiensi fosfor menyebabkan pertumbuhan luas daun, pembelahan dan pembesaran sel terhambat sehingga pertumbuhan tanaman juga terhambat, dan juga menekan jumlah bunga dan menunda inisiasi pembungaan (Sirappa et al., 2023)

3.4. Total K Value of Coal Ash and Peat Soil Mixture

Ketersediaan unsur hara K sangat mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan lebar dan panjang daun. Jika tanaman kekurangan unsur hara K, fotosintesis tanaman akan terganggu, yang menghambat pembentukan daun (Chairiyah et al., 2022).



Gambar 4. Perbandingan nilai kandungan kalium (K) total dalam tanah gambut dan dalam variasi campuran tanah gambut dan FABA

Pada gambar 4 grafik menunjukkan nilai awal K pada GA: 509,5 ppm dan ketika GA + PK menunjukkan adanya kenaikan unsur K menjadi 738,7 ppm, sampel GA+PK+Abu batubara juga mengalami penambahan nilai K setiap penambahan abu batubara. Kenaikan nilai K dapat terjadi setiap penambahan abu batubara dikarenakan abu batubara sendiri memiliki kandungan kaya akan unsur K dan unsur yang lainnya seperti P, Ca, Mg, dan S (Hanum et al., 2023). Tumbuhan juga memerlukan unsur hara seperti nitrogen (N), fosfor (P) dan kalium (K) untuk mengoptimalkan pertumbuhan dan mengurangi potensi tanaman rusak seperti daun menguning, pertumbuhan kerdil dan buah yang tidak optimal karena proses fotosintesis yang juga berperan besar dalam proses pertumbuhan tanaman (Suri et al., 2024)

Kekurangan K dapat dibuktikan dengan berkurangnya biomassa tanaman dan ukuran tanaman yang relatif lebih kecil. Kekurangan K secara signifikan juga berpengaruh terhadap perkembangan akar termasuk percabangan, luas akar, ukuran akar, jumlah daun dan ukuran daun, daun sering layu dan rontok sebelum waktunya. Berkurangnya bahan sumber fotosintesis berdampak pada penurunan laju fotosintesis. Tanda defisiensi K pada Tanaman diawali dari perubahan warna daun pada daun yang lebih tua. Perubahan dimulai dari tepi dan ujung daun

bagian bawah yang menguning kemudian nekrosis, warna kuning mulai menyebar di antara pembuluh daun (*Xylem* dan *Floem*) menyebabkan daun melengkung dan layu, biasanya akan rontok sebelum waktunya (Sirappa et al., n.d.). Penambahan abu sisa pembakaran batubara ke dalam media tanam akan menyebabkan berubahnya pH media karena pengaruh unsur-unsur di dalamnya. Interaksi antar unsur-unsur tersebut diduga menyebabkan timbulnya gejala kekurangan dan kelebihan unsur esensial untuk pertumbuhan. Kelebihan kalsium dapat menyebabkan kalsium karbonat mengendap dan buffer pH mendekati 8, yang dapat mengurangi kelarutan fosfor, besi, dan Zn, dan kadang-kadang menyebabkan kekurangan satu atau lebih unsur hara esensial tanaman (Hapida, 2015).

4. Conclusion

Berdasarkan analisis komposisi kimia, penambahan abu batubara ke dalam tanah gambut dapat meningkatkan kadar kalium dan silika, yang bermanfaat untuk pertumbuhan tanaman, namun juga dapat menurunkan kadar nitrogen dan fosfor, yang esensial bagi kesehatan tanaman. Selain itu, perubahan pH tanah akibat penambahan abu batubara dapat mempengaruhi ketersediaan unsur hara lainnya, yang pada akhirnya dapat memengaruhi efektivitas pemupukan dan pertumbuhan tanaman secara keseluruhan.

References

- Asof, M., Arita, S., Andalia, W., & Naswir, M. (2022). Analisis Karakteristik, Potensi Dan Pemanfaatan Fly Ash Dan Bottom Ash Pltu Industri Pupuk Analysis Of Characteristics, Potential And Utilization Of Fly Ash And Bottom Ash Pltu Fertilizer Industry. *Jurnal Teknik Kimia*, 28(1), 44–50.
- Chairiyah, N., Murtalaksono, A., Adiwena, M., & Fratama, R. (2022). Pengaruh Dosis Pupuk Npk Terhadap Pertumbuhan Vegetatif Tanaman Cabai Rawit (*Capsicum Frutescens* L.) Di Tanah Marginal. *Jurnal Ilmiah Respati*, 13(1), 1–8.
- Fahmi, A., Utami, S. N. H., & Radjagukguk, B. (2010). Pengaruh Interaksi Hara Nitrogen Dan Fosfor Terhadap Pertumbuhan Tanaman Jagung (*Zea Mays* L) Pada Tanah Regosol Dan Latosol. *Berita Biologi*, 10(3), 297–304.
- Fauzi, R., Zulkifli, T. B. H., Tampubolon, K., Putra, I. A., Berliana, Y., Kurniawan, D., Razali, R., & Sijabat, O. S. (2020). Penerapan Limbah Kotoran Sapi Dan Kapur Kalsium Oksida (Cao) Pada Pertumbuhan Dan Produksi Tanaman Kacang Panjang (*Vigna Sinensis* L.). *Agrinula: Jurnal Agroteknologi Dan Perkebunan*, 3(1), 37–48.
- Hanum, F. F., Pramudya, Y., Chusna, F. M. A., Desfitri, E. R., Hapsauqi, I., & Amrillah, N. A. Z. (2023). An Analysis Of Coal Fly Ashes From Different Combustion Processes For The Agricultural Utilization. *Journal Of Applied Agricultural Science And Technology*, 7(2), 73–81.
- Hapida, Y. (2015). Pengaruh Penambahan Abu Sisa Pembakaran Batubara Pada Media Tanam Terhadap Pertumbuhan Tanaman Cabai Merah (*Capsicum Annum* L). In *Edisi Agustus* (Vol. 1, Issue 1).
- Hasibuan, F., & Widagdo, T. J. (2023). Penentuan Distribusi Sifat Pada Furnace Boiler Pembangkit Listrik Tenaga Uap Lati Pt. Indo Pusaka Berau. *Sigma Teknika*, 6(1), 159–168.
- Ichriani, G. I., Sulistiyanto, Y., & Chotimah, H. E. N. C. (2021). The Use Of Ash And Biochar Derived Oil Palm Bunch And Coal Fly Ash For Improvement Of Nutrient Availability In Peat Soil Of Central Kalimantan. *Journal Of Degraded And Mining Lands Management*, 8(3), 2703.
- Kolay, P. K., & Taib, S. N. L. (2018). Physical And Geotechnical Properties Of Tropical Peat And Its Stabilization. *Peat: Intechopen*, 93–106.
- Mashfufah, L. F., & Prasetya, B. (2019). Pengaruh Abu Terbang Batubara, Kompos Tandan Kosong Kelapa Sawit, Dan Mikoriza Terhadap Ketersediaan Dan Serapan Fosfor, Pertumbuhan Dan Produksi Jagung Pada Ultisol. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 6(2), 1261–1272.
- Menéndez, E., Argiz, C., & Sanjuán, M. Á. (2021). Reactivity Of Ground Coal Bottom Ash To Be Used In Portland Cement. *J*, 4(3), 223–232.
- Muliadi, M., & Amelia, R. (2023). Status Unsur Hara Kalium Tanah Pada Lahan Padi Sawah Di Desa Ranteleda Kecamatan Palolo Kabupaten Sigi. *Agrotekbis: Jurnal Ilmu Pertanian (E-Journal)*, 11(1), 25–32.
- Nainggolan, I. F., Windarta, J., & Sinaga, N. (2022). Perancangan Plts Rooftop Untuk Pemakaian Sendiri (Ps) Di Pltu Berau 2x 7 Mw. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 3(3), 187–200.
- Panda, L., & Dash, S. (2020). Characterization And Utilization Of Coal Fly Ash: A Review. *Emerging Materials Research*, 9(3), 921–934.
- Rifaldy, G. (2019). Pengaruh Konsentrasi Pupuk Organik Cair Dan Takaran Pupuk Nitrogen Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Cabai Rawit (*Capsicum Frutescens* L.) Kultivar Dewata F1.
- Rusdiansyah, R., & Saleh, M. (2017). Response Of Two Local Rice Cultivars To Different Doses Of Nitrogen Fertilizer In Two Paddy Fields. *Agrivita Journal Of Agricultural Science*, 39(2), 137–144.

- Saida, N. A., George, A. D., & Mohamad, H. M. (2023). A Review On Experimental Investigations And Geotechnical Characteristic Of Peat Soil Stabilization. *International Journal Of Advanced Research In Engineering Innovation*, 5(1), 1–19.
- Simatupang, D., Astiani, D., & Widyastuti, T. (2018). Pengaruh Tinggi Muka Air Tanah Terhadap Beberapa Sifat Fisik Dan Kimia Tanah Gambut Di Desa Kuala Dua Kabupaten Kubu Raya. *Jurnal Hutan Lestari*, 6(4).
- Sirappa, M. P., Lahati, B. K., Rahmah, N., Fitra, R. A., Adawiyah, R., Rachman, R. M., Hardiyanti, Y. M., Wilujeng, E. D. I., Heryanto, R., & Hartati, T. M. (N.D.). *Kesuburan Tanah*. Tohar Media.
- Supriyantini, E., & Endrawati, H. (2015). Kandungan Logam Berat Besi (Fe) Pada Air, Sedimen, Dan Kerang Hijau (*Perna Viridis*) Di Perairan Tanjung Emas Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*, 18(1).
- Suri, N. A., Rieswana, Y. D., Aisah, A., Nandini, A., Fansuri, H., & Nurherdiana, S. D. (2024). Identifikasi Potensi Penambahan Limbah Batu Bara Sebagai Penyedia Hara Pertumbuhan Tanaman Cabai. *Jurnal Rekayasa Bahan Alam Dan Energi Berkelanjutan*, 8(1), 24–29.
- Wang, Y., Houlton, B. Z., & Field, C. B. (2007). A Model Of Biogeochemical Cycles Of Carbon, Nitrogen, And Phosphorus Including Symbiotic Nitrogen Fixation And Phosphatase Production. *Global Biogeochemical Cycles*, 21(1).
- Yudha, P., Hadi, M. S., & Ginting, Y. C. (2014). Pengaruh Tiga Jenis Pupuk Kandang Dan Dosis Pupuk Fosfat Pada Pertumbuhan Dan Produksi Tanaman Cabai (*Capssicum Annum L.*). *Jurnal Agrotek Tropika*, 2(1).