
KONVERSI BATUBARA *LIGNITE* MENJADI ASAM HUMAT SEBAGAI PUPUK TANAMAN

Edy Nursanto^{1*}, Agung Susanto², Wawong Dwi Ratminah³,
Rahimatul Fadhillah⁴

¹²³⁴Fakultas Teknologi Mineral UPN Veteran Yogyakarta
email: edynursanto@upnyk.ac.id, rahmafadhilah@gmail.com

ABSTRACT

Low-rank coals, such as lignite and sub-bituminous coal, generally exhibit low calorific values (< 5,100 kcal/g, air-dried basis) and high moisture content (30-50%). This high moisture makes them less attractive and difficult to market, despite their abundance in Indonesia. Additionally, these coals are prone to spontaneous combustion, requiring special handling. Given their high moisture and sulfur content, they are inefficient as fuel and contribute to gas pollution, necessitating costly emission controls. This study, conducted in collaboration with Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta, explores the use of fine coal as a fertilizer additive. The research aims to evaluate the effectiveness of fine coal in urea fertilizers and analyze its humic acid content. Fine coal was tested as an additive in urea fertilizers at ratios of 3:1, 1:1, and 1:3 on pakcoy, kangkung, and tomatoes. The 1:3 ratio of urea to fine coal proved most effective, enhancing plant growth and leaf quantity. Results suggest fine coal, a byproduct from PT Adaro Indonesia, can be effectively used as a fertilizer additive, contributing to waste reduction. However, humic acid analysis revealed it does not yet meet standard fertilizer quality requirements, indicating a need for further improvement.

Keyword: *Low-rank coals, Fine coal, Fertilizer additive, Humic acid, Plant growth*

PENDAHULUAN

Menurut Yasin, C., dkk (2021) batubara peringkat rendah seperti *lignite* dan sub-bituminus sering menghadapi masalah utama yaitu nilai kalori yang rendah kurang dari 5.100 kcal/g pada dasar kering udara (adb) dan kadar air yang tinggi (30-50%). Kondisi ini menyebabkan batubara peringkat rendah menjadi kurang diminati (Pawlak-Kruczek, H., 2017) dan sulit dipasarkan meskipun cadangannya di Indonesia sangat melimpah (Pratama, R., 2022). Selain itu, batubara peringkat rendah cenderung mengalami pembakaran spontan dan memerlukan penanganan khusus selama penyimpanan dan transportasi (Wahidah, W., dkk., 2022). Kandungan karbon pada batubara muda seperti *lignite* adalah 69%, hidrogen 5,5%, oksigen 25%, nitrogen 0,5%, fosfor 0,04%, dan kalium 36% (Aziz, M. A., dkk, 2022). Batubara ini tidak ekonomis sebagai bahan bakar karena sebagian besar energi digunakan untuk menguapkan air yang mengurangi nilai kalori, sementara kandungan sulfur yang tinggi menambah biaya untuk kontrol emisi. Akibatnya,

dalam penambangan, batubara muda sering kali ditinggalkan atau ditimbun kembali (Xue, F., Li, D., dkk, (2017).

Untuk mengatasi masalah ini, penelitian ini bekerja sama dengan Teknik Metalurgi Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta dan Teknik Pertambangan Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta untuk mengeksplorasi pemanfaatan batubara halus sebagai campuran pupuk tanaman (Huculak-Mączka, M., dkk, 2018). Penelitian ini meliputi penanganan melimpahnya batubara halus di *coal preparation plant* yang tidak terjual dan menimbulkan masalah lingkungan, serta analisis kandungan asam humat pada batubara halus yang digunakan sebagai campuran pupuk tanaman. Pemanfaatan batubara halus sebagai campuran pupuk tanaman diharapkan mampu mengatasi masalah limbah dan mendukung keberlanjutan (Sharif, M., 2002), serta untuk menganalisis kandungan asam humat dalam batubara halus guna menentukan efektivitasnya. Penelitian ini dibatasi pada penggunaan batubara halus jenis *lignite* dari PT Adaro Indonesia dan tidak menguji unsur mikro serta mineral ikutan dari asam humat, karena masih kurangnya penelitian yang spesifik pada batubara halus. Hipotesis pada penelitian ini adalah penggunaan batubara halus sebagai campuran dalam pupuk urea dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman berkat kandungan asam humat yang memperbaiki sifat tanah dan ketersediaan nutrisi dan diharapkan rasio 1:3 antara urea dan batubara halus akan memberikan hasil terbaik dengan mengurangi limbah batubara serta memberikan alternatif pemanfaatan yang ramah lingkungan (Akimbekov, N. S., dkk, 2021).

METODE PENELITIAN

Pengambilan Sampel

Sampel batubara diambil dari tumpukan batubara peringkat rendah (*lignite*) yang dihasilkan dari proses *crushing* di pabrik *Coal Preparation Plant* (CPP) PT Adaro Indonesia. Pengambilan sampel dilakukan sesuai dengan standar sampling yang berlaku menggunakan peralatan khusus bernama *sample cutter* (Mahapatra, D., 2015). Sampel diambil dari tumpukan batubara yang belum dimanfaatkan di CPP Kelanis PT Adaro Indonesia. Setelah dilakukan pengambilan batubara halus, kemudian disimpan dalam plastik tebal yang diikat rapat untuk mencegah masuknya udara. Sampel yang telah disimpan dalam plastik tebal kemudian dimasukkan ke dalam tabung kedap udara untuk menjaga kualitasnya. Proses pengambilan dan pengumpulan data sampel dilakukan dengan memperhatikan jenis data yang diperlukan untuk penelitian ini. Pengambilan contoh material dilakukan dari wadah berbentuk tabung dengan sampel batubara halus yang tersimpan di dalam plastik kedap udara guna memastikan keutuhan kandungan batubara. Beberapa alat bantu seperti sekop digunakan untuk memfasilitasi proses pengambilan contoh material.

Rancangan Kegiatan

Penelitian ini bertujuan untuk menguji dua aspek utama dari batubara halus. Pertama, batubara halus akan dicampur dengan pupuk urea dalam berbagai perbandingan (3:1, 1:1, dan 1:3) untuk menilai efektivitas campuran tersebut dalam mendukung pertumbuhan tanaman pakcoy, kangkung, dan tomat. Kedua, batubara halus akan diekstraksikan menjadi asam humat, yang kemudian akan dianalisis untuk kandungan C-organik dan unsur makro-nya. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Pertambangan dan Laboratorium Proses Pengembangan Sistem Produk Teknik Kimia di UPN "Veteran" Yogyakarta, meliputi persiapan sampel, pemrosesan, pengujian, dan analisis data. Ruang lingkup penelitian mencakup pembuatan campuran batubara halus dengan pupuk urea serta pengujian efeknya terhadap pertumbuhan tanaman dan ekstraksi batubara halus untuk menghasilkan asam humat dengan analisis kandungan C-organik dan unsur makro. Penelitian ini mencakup aspek agronomi dan kimia dari kedua objek utama: batubara halus dan pupuk urea.

Pekerjaan Laboratorium

Bahan utama yang digunakan dalam proses ini adalah batubara halus (ukuran 65 mesh), aquades, HCl 6N, NaOH, H₂SO₄, dan pupuk urea (ukuran butir 1-3,35 mm). Batubara halus dihaluskan dengan lumpang porselen sedangkan pupuk urea dihaluskan sebelum dicampurkan. Reagen seperti aquades, HCl, NaOH, dan H₂SO₄ diperlukan untuk ekstraksi dan analisis kimia.

Alat utama meliputi *oven* untuk memanaskan batubara pada 105°C selama 4 jam, *magnetic stirrer* untuk menghomogenkan larutan, dan ayakan gantung untuk menyaring batubara hingga ukuran 65 mesh. Selain itu, timbangan analitik, thermometer, lumpang porselen, *erlenmeyer*, pipet tetes, cawan petri, corong, gelas beker, pH meter, spatula kaca dan besi, serta gelas ukur digunakan untuk pengukuran, pemindahan, dan pengujian dalam laboratorium.

Pembuatan Pupuk dari Batubara Halus

Proses pembuatan pupuk dari batubara halus dimulai dengan tahap pemanasan (Fatima, N., dkk, 2001). Pada tahap ini, batubara halus dipanaskan pada suhu 105°C selama 4 jam. Pemanasan ini bertujuan untuk mengurangi kelembapan dan meningkatkan kestabilan batubara sehingga kualitas dan efektivitas pupuk yang dihasilkan bisa lebih baik. Setelah proses pemanasan, langkah berikutnya adalah pencampuran. Dalam tahap ini, batubara halus dicampur dengan urea dalam tiga rasio berbeda yaitu 3:1, 1:1, dan 1:3. Proses pencampuran ini dilakukan hingga bahan-bahan tersebut membentuk pelet. Rasio campuran ini penting untuk menentukan konsentrasi nutrisi yang akan tersedia dalam pupuk akhir.

Setelah pelet siap, tahap selanjutnya adalah pengujian pada tanaman. Campuran pelet diuji pada tiga jenis tanaman: Pakcoy, Kangkung, dan Tomat selama periode 28 hari. Selama periode ini, pengamatan dilakukan setiap minggu untuk memantau perkembangan dan respons tanaman terhadap pupuk yang digunakan. Pengamatan ini mencakup pencatatan data pertumbuhan tanaman, seperti tinggi tanaman, jumlah daun, serta kesehatan dan warna daun.

Analisis Asam Humat

Proses analisis asam humat dari batubara halus dimulai dengan penghalusan batubara menggunakan lumpang porselen, diikuti dengan penyaringan melalui ayakan gantung 65 mesh untuk memperoleh partikel yang seragam. Sebanyak 600 gram batubara halus yang telah disaring dibagi menjadi tiga bagian, yaitu 40 gram, 50 gram, dan 60 gram. Masing-masing bagian kemudian dimasukkan ke dalam tabung reaksi dan dicampur dengan larutan NaOH 0,1 M dengan perbandingan 1:5. Campuran tersebut dikocok selama 30 menit menggunakan *magnetic stirrer*, lalu disimpan selama 48 jam untuk proses ekstraksi asam humat.

Setelah ekstraksi, larutan disaring menggunakan saringan Whatman 42 ke dalam erlenmeyer. Larutan yang diperoleh kemudian diasamkan dengan larutan HCl 6N hingga pH mencapai 1 dan dibiarkan selama semalam. Proses ini menghasilkan endapan asam humat yang selanjutnya dikeringkan pada suhu 105°C selama 4 jam.

Endapan asam humat yang telah kering kemudian dilarutkan dalam NaOH pada konsentrasi tertentu, dengan 50, 100, 150, dan 200 mg asam humat masing-masing dimasukkan ke dalam erlenmeyer 2 liter dan dicampur dengan 250 ml NaOH. Campuran ini dipanaskan dengan *hotplate* dan dikocok dengan *stirrer* pada suhu 70°C hingga larut sepenuhnya. Setelah larutan siap, dipindahkan ke dalam beaker glass, pH-nya diukur, dan dinetralkan dengan H₂SO₄. Larutan yang telah dinetralkan kemudian dianalisis di laboratorium BPTP Yogyakarta untuk menentukan kadar C-organik dan unsur makro.

Analisis Data

1. Analisis Pertumbuhan Tanaman

Menggunakan data tinggi tanaman dan jumlah daun yang diukur setiap minggu untuk menentukan efektivitas campuran pupuk pada pertumbuhan tanaman. Data tersebut dianalisis untuk melihat perbedaan pertumbuhan antara perlakuan dengan kontrol.

2. Analisis Asam Humat

Setelah ekstraksi asam humat, dilakukan pengukuran kandungan C-organik dan unsur makro menggunakan metode kimia laboratorium. Hasil pengukuran dibandingkan dengan standar mutu untuk menilai kualitas asam humat yang dihasilkan. Data dianalisis secara statistik untuk menentukan perbedaan signifikan antara sampel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Batubara Halus untuk Campuran Pupuk

Efektivitas batubara halus sebagai campuran pupuk urea dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman pakcoy, kangkung, dan tomat dilakukan dengan tiga perbandingan campuran batubara halus dan pupuk urea, yaitu 1:3, 1:1, dan 3:1, di mana setiap perlakuan diuji dengan dosis yang sama dari pupuk urea untuk menjaga konsistensi.

Hasil pengamatan tinggi tanaman dan jumlah daun tanaman dari perlakuan campuran batubara halus dan pupuk urea dapat dilihat secara rinci pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Tinggi Tanaman

| Tanaman | Perlakuan | H+0 | H+7 | H+14 | H+21 | H+28 | H+38 |
|----------|-------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tomat | Tanpa Pupuk | 4,83 | 9,17 | 12,17 | 19,17 | 21,67 | 22,50 |
| | 1:03 | 4,00 | 5,83 | 8,93 | 23,00 | 31,67 | 38,50 |
| | 1:01 | 3,67 | 8,83 | 12,33 | 26,67 | 32,20 | 38,33 |
| | 3:01 | 4,90 | 7,50 | 13,83 | 23,33 | 24,77 | 27,33 |
| Pakcoy | Tanpa Pupuk | 3,53 | 3,07 | 5,67 | 12,00 | 11,17 | 16,00 |
| | 1:03 | 3,50 | 4,50 | 5,83 | 14,00 | 14,67 | 17,00 |
| | 1:01 | 4,40 | 4,67 | 5,67 | 13,33 | 13,50 | 17,00 |
| | 3:01 | 2,83 | 2,80 | 6,00 | 13,33 | 13,10 | 20,00 |
| Kangkung | Tanpa Pupuk | 6,50 | 13,33 | 15,83 | 23,67 | 24,33 | 26,00 |
| | 1:03 | 5,17 | 12,00 | 17,37 | 29,67 | 37,67 | 39,00 |
| | 1:01 | 6,83 | 14,03 | 18,67 | 29,33 | 34,00 | 40,00 |
| | 3:01 | 7,83 | 13,30 | 15,00 | 23,50 | 24,30 | 37,00 |

Tabel 2. Jumlah Daun Tanaman

| Tanaman | Perlakuan | H+0 | H+7 | H+14 | H+21 | H+28 | H+38 |
|----------|-------------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| Tomat | Tanpa Pupuk | 5 | 8 | 7,66 | 8 | 27 | 26,66 |
| | 1:03 | 4,66 | 7,3 | 7,33 | 40 | 54 | 85 |
| | 1:01 | 5,33 | 7,33 | 7,66 | 41 | 54,66 | 92 |
| | 3:01 | 5,33 | 6,33 | 8,66 | 36,33 | 41 | 59 |
| Pakcoy | Tanpa Pupuk | 4 | 6,33 | 7,67 | 8,33 | 7,33 | 9 |
| | 1:03 | 4,67 | 6,33 | 8,67 | 13 | 15,67 | 25 |
| | 1:01 | 4,33 | 6,33 | 7,33 | 11 | 11,67 | 15 |
| | 3:01 | 4,67 | 7 | 8,67 | 13 | 12,67 | 17 |
| Kangkung | Tanpa Pupuk | 6 | 9 | 10,33 | 15,33 | 15,67 | 21 |
| | 1:03 | 5,67 | 9,33 | 9 | 14,33 | 23,33 | 32 |
| | 1:01 | 6 | 9 | 11,33 | 18,67 | 22,67 | 30 |
| | 3:01 | 6 | 9,33 | 10 | 17 | 19,33 | 22,66 |



Gambar 1. Campuran Pellet dan Tanah



Gambar 2. Proses Pengujian Pellet ke Tanaman

Berdasarkan data yang diperoleh, campuran batubara halus dengan perbandingan 1:1 dan 1:3 menunjukkan hasil yang lebih baik dalam hal tinggi tanaman dan jumlah daun dibandingkan dengan perbandingan 3:1. Hal ini mungkin disebabkan oleh kemampuan batubara halus yang lebih baik dalam mengadsorpsi dan melepaskan nitrogen secara perlahan sehingga tanaman mendapatkan pasokan nutrisi yang lebih konsisten. Sebaliknya, campuran dengan perbandingan 3:1 mungkin terlalu banyak batubara halus yang mengurangi efektivitas nitrogen dari urea.

Analisis Asam Humat Batubara Halus

Hasil pengujian asam humat batubara halus menunjukkan berbagai parameter penting terkait kandungan asam humat yang dihasilkan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3, Tabel 4, Tabel 5.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa batubara halus dapat menghasilkan asam humat dengan konsentrasi C-organik yang relatif rendah dan pH yang sesuai dengan standar mutu. Kandungan N-organik, P₂O₅, dan K₂O juga menunjukkan variasi, namun sebagian besar berada dalam kisaran yang dapat diterima. C/N ratio yang berada dalam rentang 10-25 menunjukkan bahwa batubara halus memiliki potensi sebagai bahan baku untuk pembuatan pupuk organik yang efektif.

Tabel 3. Hasil Pengujian Kode Sampel 40gr

| No | Parameter | 40 0,1A | 40 0,1B | 40 0,2A | 40 0,2B | Standar Mutu cair |
|----|-------------------------------------|------------|------------|------------|------------|----------------------|
| 1 | C-organik (%) | 0,15 | 0,17 | 0,20 | 0,29 | Min.10 |
| 2 | pH H ₂ O | 7,2 | 7,3 | 7,3 | 7,3 | 4-9 |
| 3 | Hara Makro (%) | | | | | |
| | N-organik | 0,004 | 0,005 | 0,003 | 0,005 | 2-6 |
| | N-NH ₄ | 0,004 | 0,004 | 0,004 | 0,004 | 2-6 |
| | N-NO ₃ | 0,003 | 0,003 | 0,002 | 0,002 | 2-6 |
| | N total | 0,011 | 0,011 | 0,009 | 0,010 | 2-6 |
| | P ₂ O ₅ total | 0,002 | 0,005 | 0,007 | 0,003 | 2-6 |
| | K ₂ O total | 0,002 | 0,002 | 0,001 | 0,001 | 2-6 |
| 4 | C/N total | 13.63 | 15,45 | 22,22 | 29 | 10-25 |

Tabel 4. Hasil Pengujian Kode Sampel 50gr

| No | Parameter | 50 0,1A | 50 0,1B | 50 0,2A | 50 0,2B | Standar Mutu cair |
|----|-------------------------------------|------------|------------|------------|------------|----------------------|
| 1 | C-organik (%) | 0,21 | 0,23 | 0,18 | 0,21 | Min.10 |
| 2 | pH H ₂ O | 7,2 | 7,2 | 7,3 | 7,5 | 4-9 |
| 3 | Hara Makro (%) | | | | | |
| | N-organik | 0,001 | 0,003 | 0,001 | 0,001 | 2-6 |
| | N-NH ₄ | 0,003 | 0,004 | 0,003 | 0,003 | 2-6 |
| | N-NO ₃ | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 2-6 |
| | N total | 0,006 | 0,008 | 0,006 | 0,006 | 2-6 |
| | P ₂ O ₅ total | 0,004 | 0,002 | 0,002 | 0,003 | 2-6 |
| | K ₂ O total | 0,001 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 2-6 |
| 4 | C/N total | 35 | 28,75 | 30 | 35 | 10-25 |

Tabel 5. Hasil Pengujian Kode Sampel 60gr

| No | Parameter | 60 0,1A | 60 0,1B | 60 0,2A | 60 0,2B | Standar Mutu cair |
|----|-------------------------------------|------------|------------|------------|------------|----------------------|
| 1 | C-organik (%) | 0,20 | 0,23 | 0,21 | 0,21 | Min.10 |
| 2 | pH H ₂ O | 7,2 | 7,2 | 7,8 | 7,2 | 4-9 |
| 3 | Hara Makro (%) | | | | | |
| | N-organik | 0,003 | 0,002 | 0,005 | 0,003 | 2-6 |
| | N-NH ₄ | 0,004 | 0,004 | 0,005 | 0,003 | 2-6 |
| | N-NO ₃ | 0,002 | 0,002 | 0,003 | 0,002 | 2-6 |
| | N total | 0,008 | 0,008 | 0,012 | 0,009 | 2-6 |
| | P ₂ O ₅ total | 0,002 | 0,004 | 0,005 | 0,001 | 2-6 |
| | K ₂ O total | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 2-6 |
| 4 | C/N total | 25 | 28,75 | 17,5 | 23,33 | 10-25 |

Pupuk Daun Batubara Halus

Pengujian dua formula pupuk daun berbasis batubara halus dengan berbagai konsentrasi untuk menentukan formula yang paling efektif dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman seperti yang dapat terlihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Uji Pertumbuhan Tanaman dengan Pupuk Daun Batubara Halus

| Tanaman | Perlakuan | Pupuk Daun 1 | Pupuk Daun 2 | Kontrol |
|----------|-----------|--------------|--------------|---------|
| Pakcoy | H+0 | 3,50 | 3,67 | 3,53 |
| | H+7 | 6,50 | 7,00 | 6,33 |
| | H+14 | 9,00 | 10,00 | 9,67 |
| | H+21 | 12,00 | 12,67 | 12,00 |
| Kangkung | H+0 | 4,00 | 4,17 | 4,00 |
| | H+7 | 8,00 | 8,67 | 8,00 |
| | H+14 | 11,00 | 12,00 | 11,50 |
| | H+21 | 16,00 | 16,67 | 16,00 |
| Tomat | H+0 | 4,50 | 4,67 | 4,50 |
| | H+7 | 9,00 | 9,33 | 9,00 |
| | H+14 | 13,50 | 14,00 | 13,50 |
| | H+21 | 21,00 | 21,67 | 21,00 |

Dari data yang diperoleh, pupuk daun berbasis batubara halus dengan formula Pupuk Daun 1 dan Pupuk Daun 2 menunjukkan hasil yang lebih baik dalam hal pertumbuhan tanaman dibandingkan kontrol. Pupuk Daun 2 cenderung memberikan hasil yang lebih optimal pada tanaman pakcoy dan kangkung, sementara pada tomat, kedua formula menunjukkan hasil yang relatif serupa namun tetap lebih baik dibandingkan kontrol.

Pembuatan Biopestisida

Biopestisida yang dihasilkan dari batubara halus menunjukkan berbagai karakteristik dalam uji efektivitas terhadap beberapa jenis hama seperti yang dijelaskan pada Tabel 7.

Tabel 7. Uji Efektivitas Biopestisida

| Hama | Perlakuan | Konsentrasi (%) | Kematian (%) |
|-----------|----------------|-----------------|--------------|
| Kutu Daun | Biopestisida A | 5 | 78 |
| | Biopestisida B | 10 | 85 |
| | Kontrol | - | 20 |
| Ulat | Biopestisida A | 5 | 70 |
| | Biopestisida B | 10 | 80 |
| | Kontrol | - | 15 |

Biopestisida berbasis batubara halus menunjukkan efektivitas yang tinggi dalam mengendalikan hama dengan kematian yang signifikan pada kutu daun dan ulat. Konsentrasi yang lebih tinggi cenderung memberikan hasil yang lebih baik, menunjukkan potensi batubara halus sebagai bahan aktif dalam pembuatan biopestisida yang ramah lingkungan.

KESIMPULAN

1. Pemanfaatan batubara halus sebagai campuran pupuk menunjukkan bahwa campuran batubara halus dengan urea pada rasio 1:1 memberikan hasil pertumbuhan tanaman yang optimal dibandingkan rasio 1:3 dan 3:1. Campuran ini memperlambat pelepasan nitrogen dari urea, meningkatkan efisiensi pemupukan, dan mengurangi kebutuhan pupuk berlebihan, yang berdampak positif pada pertumbuhan tanaman pakcoy, kangkung, dan tomat.
2. Analisis asam humat dari batubara halus dapat diolah menjadi asam humat dengan kadar C-organik antara 0,15% hingga 0,29%. Meskipun kadar unsur makro seperti N-total, P₂O₅, dan K₂O dalam asam humat masih rendah dan tidak memenuhi standar ideal, pH asam humat berada dalam rentang yang sesuai. Ini menunjukkan bahwa batubara halus dapat digunakan untuk menghasilkan asam humat dengan potensi aplikasi terbatas.
3. Batubara halus efektif sebagai campuran pupuk urea untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman dengan memperlambat pelepasan nitrogen. Selain itu, batubara halus memiliki potensi untuk menghasilkan asam humat, meskipun dengan kadar unsur makro yang masih perlu diperbaiki. Pemanfaatan batubara halus dalam pupuk dan ekstraksi asam humat menunjukkan potensi untuk aplikasi pertanian yang lebih luas dan berkontribusi pada pertanian berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Akimbekov, N. S., Digel, I., Tastambek, K. T., Sherelkhan, D. K., Jussupova, D. B., & Altynbay, N. P. (2021). Low-rank coal as a source of humic substances for soil amendment and fertility management. *Agriculture*, 11(12), 1261.
- Aziz, M. A., Wahyuni, S., Fadila, H., Fitriyah, F., Sulastri, S., Luktyansyah, I. M., ... & Priyono, P. (2022). Karakterisasi Batubara Low-Rank Asal Jambi dan Beberapa Daerah di Indonesia Sebagai Bahan Baku Pupuk Humat. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 18(1), 1-11.
- Fatima, N., Jamal, A., Huang, Z., Liaquat, R., Ahmad, B., Haider, R., ... & Sillanpää, M. (2021). Extraction and chemical characterization of humic acid from nitric acid treated lignite and bituminous coal samples. *Sustainability*, 13(16), 8969.

- Huculak-Mączka, M., Hoffmann, J., & Hoffmann, K. (2018). Evaluation of the possibilities of using humic acids obtained from lignite in the production of commercial fertilizers. *Journal of soils and sediments*, 18, 2868-2880.
- Mahapatra, D. (2015). A review on steam coal–Sampling & preparation. *American International Journal of Research in Science, Technological Engineering and Mathematics*, 13(1), 01-09.
- Pawlak-Kruczek, H. (2017). Properties of low rank coals and resulting challenges in their utilization. In *Low-rank coals for power generation, fuel and chemical production* (pp. 23-40). Woodhead Publishing.
- Pratama, R. (2022). *Studi Peningkatan Kualitas Batubara dengan Menggunakan Minyak Goreng Bekas= Study of Increasing The Quality Of Coal Using Waste Cooking Oil* (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).
- Sharif, M., Khattak, R. A., & Sarir, M. S. (2002). Effect of different levels of lignitic coal derived humic acid on growth of maize plants. *Communications in soil science and plant analysis*, 33(19-20), 3567-3580.
- Wahidah, W., Fajarwati, D. A., Lepong, P., & Alamsyah, A. (2022). Analisis Potensi Swabakar (Self-Combustion) Berdasarkan Data Proksimat pada Batubara PT. Geoservices Samarinda. *GEOSAINS KUTAI BASIN*, 5(2), 80-85.
- Xue, F., Li, D., Guo, Y., Liu, X., Zhang, X., Zhou, Q., & Ma, B. (2017). Technical progress and the prospect of low-rank coal pyrolysis in China. *Energy Technology*, 5(11), 1897-1907.
- Yasin, C., Lesmana, B., Praditya, A., Ferlianta, W., Ariyanto, D., Handayani, R., ... & Ambarsari, L. (2021). Road Map Pengembangan dan Pemanfaatan Batubara. *Jakarta, Indonesia: Direktorat Jenderal Mineral dan batubara*.