

---

## Batubara Bituminous Menjadi Asam Humat Sebagai Inovasi Pendamping Pupuk, Besum Papua

Theodora Ngaderman<sup>1)\*</sup>, Lukman Reliubun<sup>2)\*</sup>, Ishak Degei<sup>3)\*</sup>

<sup>1,2,3)</sup>Universitas Sains dan Teknologi Jayapura, Jln Raya Padang Bulan Sentani Jayapura

Email : [\\*theodorangaderman@gmail.com](mailto:*theodorangaderman@gmail.com)

---

### Abstrak

Pemerintah menetapkan program hilirisasi dan peningkatan nilai tambah batubara kualitas rendah. Penelitian dan pengembangan suatu inovasi batubara peringkat rendah sebagai suatu solusi. Asam humat dari batubara halus peringkat rendah ini dapat menstabilkan dan memperbaiki kondisi tanah yang ada. Inovasi baru yang dilakukan tidak luput dari banyak tantangan yang dihadapi, inovasi hilirisasi batubara merupakan produk turunan dari batubara, yang mana sangat membantu masyarakat yakni dalam rangka program Pemerintah menyangkut ketahanan pangan untuk mensejahterakan masyarakat tentunya. Setelah batubara dihaluskan kemudian dilakukan pengujian yakni dicampur dengan pupuk urea, perbandingan 1:3. Campuran batubara asam humat ini diuji pada tanaman padi selama 1 bulan. Selama periode pengamatan dilakukan setiap minggu untuk mengamati perkembangan dan respon tanaman padi tersebut. Campuran batubara asam humat ini diuji pada tanaman padi selama 1 bulan. Selama periode pengamatan dilakukan setiap minggu untuk mengamati perkembangan dan respon tanaman padi tersebut. Pengamatan mencakup pertumbuhan tanaman seperti tinggi tanaman dan warna daun. Lokasi penelitian berada pada Kampung Karya Bumi Besum, yang merupakan daerah persawahan. Geologi daerah Besum merupakan daerah pedataran fluvial secara geomorfologi banyak dijumpai sungai-sungai dan dikelilingi perbukitan batugamping Nimboran. Geologi daerah Besum yaitu berada pada endapan fluvial yang kontak dengan batugamping yang lebih tua. Analisis batubara yang diambil yaitu batubara jenis lignit dan bituminous daerah Mawesday berdasarkan data laboratorium merupakan jenis batubara peringkat rendah 4,85 cal/g. total Senyawa humat cukup tinggi berbanding lurus dengan nilai kelembaban moisture in air dried sample batubara yakni 20,49%. Kandungan abu (ash) diketahui sebesar 4,33% cukup tinggi membantu dalam pertumbuhan daun klorofil.

**Kata kunci:** inovasi batubara, ketahanan pangan, tanaman padi

### Abstract

The geology of the Besum area is a fluvial plain area, geomorphologically found many rivers and surrounded by Nimboran limestone hills. The geology of the Besum area is located on fluvial deposits in contact with older limestone. Analysis of the coal taken, namely lignite and bituminous coal from the Mawesday area, based on laboratory data is a low-rank coal type of 4.85 cal/g. The total humic compound is quite high, directly proportional to the moisture value of the moisture in air-dried coal sample, namely 20.49%. The ash content is known to be 4.33%, which is quite high, helping in the growth of chlorophyll leaves. The government has established a program for downstreaming and increasing the added value of low-grade coal. Research and development of innovative low-grade coal is a solution. Humic acid from this refined low-grade coal can stabilize and improve existing soil conditions. This new innovation is not without its challenges. Coal downstream innovation is a coal derivative product, which is very helpful for the community, especially in the context of the Government's program concerning food security to improve community welfare, of course. After the coal is refined, it is tested by mixing it with urea fertilizer in a ratio of 1:3. This humic acid coal mixture was tested on rice plants for one month. During the period, observations were conducted weekly to observe the development and response of the rice plants. Observations included plant growth, such as plant height and leaf color. The research location was in Karya Bumi Besum Village, a rice paddy area.

**Keywords:** coal innovation, food security, rice crops

---

## PENDAHULUAN

Batubara merupakan salah satu sumber daya alam strategis di Indonesia yang memiliki peranan penting dalam sektor energi maupun industri. Sebagai negara dengan cadangan batubara yang melimpah, Indonesia memiliki peluang besar untuk mengembangkan pemanfaatan batubara tidak hanya sebagai bahan bakar, tetapi juga sebagai bahan baku produk bernilai tambah. Salah

satu arah kebijakan yang sedang digalakkan adalah program hilirisasi batubara yang menekankan pada peningkatan nilai tambah, khususnya pada batubara kualitas rendah (low-rank coal), termasuk lignit, sub-bituminous, hingga bituminous. Pemerintah mendorong upaya ini untuk mengurangi ketergantungan pada ekspor bahan mentah dan mengembangkan inovasi produk turunan yang bermanfaat bagi sektor lain, seperti pertanian (Yasin et al., 2021).

Pemanfaatan batubara peringkat rendah menjadi asam humat merupakan salah satu inovasi yang relevan dengan tujuan hilirisasi. Asam humat adalah senyawa organik kompleks yang dapat meningkatkan kesuburan tanah, memperbaiki struktur, dan menambah kapasitas tukar kation tanah (Huculak-Mączka et al., 2018). Produk ini memiliki potensi untuk menjadi pendamping pupuk, membantu mengurangi penggunaan pupuk kimia secara berlebihan, serta memperbaiki kualitas tanah di lahan kritis. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa ekstraksi asam humat dari batubara, terutama dari jenis yang berperingkat rendah, mampu menghasilkan bahan aktif yang dapat memperbaiki kondisi fisik, kimia, dan biologi tanah (Akimbekov et al., 2021).

Di Papua, khususnya di daerah Besum, potensi batubara bituminous dan low-rank belum dimanfaatkan secara optimal. Padahal, pengembangan asam humat dari batubara lokal dapat menjadi solusi inovatif yang tidak hanya berdampak pada peningkatan produktivitas pertanian, tetapi juga mendukung program ketahanan pangan dan kesejahteraan masyarakat. Upaya ini sejalan dengan hasil penelitian Aziz et al. (2022) yang menunjukkan bahwa batubara low-rank Indonesia memiliki kandungan humat yang memadai untuk diolah menjadi produk pupuk humat. Dengan demikian, penelitian dan pengembangan teknologi ini diharapkan dapat memberikan nilai tambah bagi sumber daya batubara Papua sekaligus memberi kontribusi positif terhadap sektor pertanian.

Kebijakan hilirisasi batubara yang dicanangkan pemerintah bertujuan untuk mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya alam melalui peningkatan nilai tambah. Salah satu fokusnya adalah pada pemanfaatan batubara kualitas rendah, yang selama ini sering dianggap kurang ekonomis jika hanya digunakan sebagai bahan bakar. Hilirisasi membuka peluang untuk mengubah batubara jenis ini menjadi produk turunan yang memiliki nilai jual tinggi dan manfaat lintas sektor, seperti bahan baku pupuk berbasis asam humat (Yasin et al., 2021).

Asam humat memiliki berbagai manfaat bagi tanah, antara lain memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kemampuan tanah menahan air, serta menambah kapasitas tukar kation. Menurut Huculak-Mączka et al. (2018), humic acids yang diekstraksi dari lignit dapat digunakan sebagai bahan baku pupuk komersial yang efektif dalam meningkatkan kesuburan tanah. Keunggulan lainnya adalah kemampuannya untuk memperbaiki lahan kritis, sehingga dapat dimanfaatkan dalam program rehabilitasi lahan. Pemanfaatan asam humat sebagai pendamping pupuk mampu mengurangi penggunaan pupuk kimia secara berlebihan, sehingga lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Inovasi hilirisasi batubara menjadi asam humat bukan tanpa tantangan. Proses konversi memerlukan teknologi ekstraksi yang tepat dan efisien, serta perlu memperhatikan aspek lingkungan dan ekonomi. Namun, apabila berhasil dikembangkan, inovasi ini akan memberikan manfaat yang signifikan bagi masyarakat, terutama petani, melalui peningkatan hasil pertanian dan pengurangan biaya pupuk. Seperti yang dilaporkan oleh Aziz et al. (2022), karakteristik batubara low-rank di Indonesia sangat mendukung untuk dijadikan bahan baku pembuatan pupuk humat.

Bagi daerah Besum, Papua, yang memiliki potensi batubara bituminous, penerapan teknologi ini dapat menjadi langkah strategis dalam pemanfaatan sumber daya lokal. Tidak hanya mendukung ketahanan pangan dan kesejahteraan masyarakat, inovasi ini juga menjadi bukti nyata keberhasilan program hilirisasi batubara sebagai salah satu agenda prioritas pembangunan nasional.

Di lapangan, salah satu kendala utama adalah rendahnya pemanfaatan sumber daya batubara lokal selain untuk bahan bakar, sehingga potensi nilai tambah melalui hilirisasi belum tergarap optimal. Di daerah Besum, meskipun terdapat indikasi keberadaan batubara bituminous

dan low-rank, data geologi dan karakteristik kimia batubara yang spesifik masih terbatas. Hal ini menyulitkan penentuan kelayakan bahan baku untuk produksi asam humat.

Selain itu, kesadaran masyarakat dan pelaku usaha terkait pemanfaatan batubara untuk sektor non-energi, seperti pertanian, masih rendah. Petani di wilayah tersebut umumnya mengandalkan pupuk kimia konvensional, yang dalam jangka panjang dapat menurunkan kualitas tanah. Lahan kritis dan degradasi tanah akibat erosi, pencucian unsur hara, serta pengelolaan lahan yang kurang tepat masih menjadi masalah nyata yang menghambat produktivitas pertanian.

Dari sisi teknis, infrastruktur pengolahan batubara menjadi asam humat belum tersedia di sekitar Besum. Proses ekstraksi humic acid memerlukan peralatan, teknologi, dan tenaga ahli yang memadai, sedangkan transfer teknologi ke daerah terpencil seperti Papua seringkali terhambat oleh biaya tinggi dan akses logistik.

Faktor lingkungan juga menjadi perhatian. Penambangan batubara tanpa pengelolaan lingkungan yang baik dapat menimbulkan kerusakan ekosistem, sehingga dibutuhkan sistem pengelolaan yang selaras dengan prinsip keberlanjutan. Selain itu, tantangan regulasi terkait izin pemanfaatan batubara untuk produk turunan non-energi masih memerlukan koordinasi lintas instansi.

Keseluruhan masalah ini menunjukkan bahwa pengembangan inovasi asam humat dari batubara di Besum memerlukan pendekatan terpadu, mencakup penelitian karakteristik batubara, penguatan kapasitas teknologi lokal, penyediaan infrastruktur pengolahan, peningkatan kesadaran masyarakat, dan dukungan kebijakan pemerintah agar potensi tersebut dapat dimanfaatkan secara optimal.

Untuk mengatasi rendahnya pemanfaatan batubara lokal di Besum sebagai bahan baku asam humat pendamping pupuk, diperlukan strategi terpadu yang mencakup aspek teknis, sosial, dan kebijakan.

Pertama, perlu dilakukan karakterisasi detail batubara lokal untuk menentukan kualitas, kandungan karbon organik, dan potensi humic substances. Aziz et al. (2022) menunjukkan bahwa karakterisasi batubara low-rank asal Jambi dapat menjadi dasar pemilihan metode ekstraksi yang sesuai. Pendekatan serupa dapat diterapkan di Besum untuk memastikan kelayakan bahan baku.

Kedua, pengembangan teknologi ekstraksi asam humat yang sesuai dengan kondisi setempat menjadi prioritas. Penelitian oleh Huculak-Mączka et al. (2018) membuktikan bahwa humic acids dari lignit dapat dihasilkan melalui proses alkali-ekstraksi yang relatif sederhana dan dapat diadaptasi di daerah dengan infrastruktur terbatas. Li et al. (2022) juga mengusulkan metode bio-solubilisasi menggunakan *Penicillium ortum* untuk meningkatkan rendemen dan kualitas asam humat secara ramah lingkungan.

Ketiga, dibutuhkan penyediaan infrastruktur pengolahan skala kecil-menengah di sekitar lokasi tambang atau pusat pertanian. Fasilitas ini harus dilengkapi dengan teknologi ekstraksi dan pengeringan, serta sistem pengelolaan limbah untuk mencegah dampak negatif terhadap lingkungan.

Keempat, transfer teknologi dan pelatihan kepada masyarakat, khususnya kelompok tani, sangat penting. Akimbekov et al. (2021) menunjukkan bahwa aplikasi humic substances pada tanah mampu meningkatkan kesuburan dan hasil panen, sehingga edukasi penggunaan produk humat akan mendorong adopsi teknologi ini oleh petani lokal.

Kelima, perlu adanya dukungan kebijakan pemerintah melalui insentif hilirisasi batubara non-energi, kemudahan perizinan, serta integrasi program ini ke dalam agenda ketahanan pangan dan rehabilitasi lahan kritis. Yasin et al. (2021) menegaskan bahwa hilirisasi batubara kualitas rendah dapat menjadi solusi inovatif yang mendukung kesejahteraan masyarakat bila didukung kebijakan yang tepat.

Dengan kombinasi penelitian karakteristik batubara, penerapan teknologi ekstraksi yang sesuai, penguatan kapasitas lokal, dan dukungan kebijakan, potensi batubara Besum untuk menghasilkan asam humat dapat dioptimalkan sebagai inovasi pendamping pupuk yang berkelanjutan.

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh potensi besar batubara bituminous di Besum, Papua, yang hingga kini belum dimanfaatkan secara optimal di luar sektor energi. Pemerintah telah menetapkan program hilirisasi untuk meningkatkan nilai tambah batubara kualitas rendah, termasuk pemanfaatannya sebagai bahan baku produk turunan yang bermanfaat di sektor pertanian. Salah satu produk yang berpotensi dihasilkan adalah asam humat, zat organik kompleks yang mampu memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Yasin et al. (2021) menjelaskan bahwa asam humat yang dicampurkan ke dalam tanah dapat meningkatkan kesuburan dan kualitas lahan, sementara penelitian Huculak-Mączka et al. (2018) menunjukkan bahwa asam humat dari batubara peringkat rendah dapat menstabilkan dan memperbaiki kondisi tanah, termasuk merehabilitasi lahan kritis.

Di lapangan, masalah yang dihadapi meliputi keterbatasan data karakteristik batubara di Besum, kurangnya infrastruktur pengolahan, rendahnya pengetahuan masyarakat mengenai manfaat asam humat, serta dominannya penggunaan pupuk kimia yang dalam jangka panjang dapat menurunkan kualitas tanah. Infrastruktur pengolahan batubara menjadi asam humat belum tersedia, sementara proses ekstraksi memerlukan teknologi dan tenaga ahli. Tantangan lainnya adalah aspek lingkungan dan regulasi, di mana kegiatan penambangan memerlukan pengelolaan berkelanjutan serta dukungan perizinan yang memadai.

Untuk mengatasi hal ini, diperlukan langkah strategis yang mencakup penelitian karakteristik batubara lokal, penerapan teknologi ekstraksi yang sesuai, penyediaan fasilitas pengolahan skala kecil hingga menengah, serta pelatihan bagi masyarakat lokal terkait pemanfaatan asam humat sebagai pendamping pupuk. Penelitian Aziz et al. (2022) menegaskan bahwa karakterisasi batubara low-rank dapat menjadi dasar pemilihan metode ekstraksi yang tepat, sementara Akimbekov et al. (2021) membuktikan bahwa humic substances dapat meningkatkan kesuburan tanah secara signifikan. Implementasi program ini juga memerlukan dukungan kebijakan pemerintah melalui insentif hilirisasi batubara non-energi dan integrasi dengan agenda ketahanan pangan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik batubara bituminous di Besum sebagai bahan baku asam humat, mengembangkan metode ekstraksi yang sesuai dengan kondisi lokal, mengevaluasi efektivitas asam humat sebagai pendamping pupuk dalam meningkatkan produktivitas pertanian, dan merumuskan strategi implementasi hilirisasi yang berkelanjutan. Manfaat penelitian ini diharapkan tidak hanya memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan teknologi konversi batubara menjadi asam humat, tetapi juga memberi dampak ekonomi melalui peningkatan nilai tambah sumber daya lokal, manfaat sosial melalui peningkatan kesejahteraan petani, dan manfaat lingkungan melalui perbaikan kualitas tanah serta rehabilitasi lahan kritis. Dengan demikian, penelitian ini menjadi langkah konkret dalam menghubungkan sektor pertambangan dan pertanian, mendukung ketahanan pangan, serta mewujudkan pembangunan berkelanjutan di Papua.

## METODE PENELITIAN

### Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui serangkaian tahapan yang meliputi pengambilan sampel, persiapan sampel, proses pengujian laboratorium, serta uji coba lapangan. Lokasi penelitian berada di Kampung Karya Bumi Besum, Papua, yang dipilih berdasarkan karakteristiknya sebagai daerah persawahan dengan sistem irigasi dari bendungan pemerintah.

#### 1. Pengambilan dan Persiapan Sampel

Batubara peringkat rendah (bituminous) diperoleh langsung dari lokasi penambangan setempat. Setelah pengambilan, sampel disimpan dalam kantong plastik tertutup untuk mencegah perubahan sifat akibat pengaruh udara terbuka, kelembapan, maupun kontaminasi (Pawlak-Krucze, 2017). Sampel yang telah disimpan kemudian

dibawa ke Laboratorium Program Studi Teknik Geologi untuk dihaluskan menggunakan alat *crusher* hingga mencapai ukuran butiran yang seragam. Tujuan penghalusan ini adalah untuk memperbesar luas permukaan partikel sehingga reaksi kimia dalam proses pembuatan asam humat dapat berlangsung optimal.

## 2. Pencampuran Batubara dengan Pupuk Urea

Batubara yang telah dihaluskan kemudian dicampur dengan pupuk urea dengan perbandingan 1:3 (batubara:urea) sesuai metode yang diadaptasi dari penelitian Akimbekov et al. (2021). Campuran ini dihomogenkan untuk memastikan distribusi partikel yang merata sehingga proses pembentukan asam humat dapat berlangsung dengan baik.

## 3. Proses Pembentukan Asam Humat

Campuran batubara dan urea selanjutnya melalui tahap pengolahan kimia untuk menghasilkan asam humat. Proses ini dilakukan dengan penambahan larutan basa kuat untuk memecah ikatan dalam batubara sehingga fraksi humat dapat terlarut. Filtrat hasil proses kemudian dinetralkan dan dikeringkan hingga diperoleh produk asam humat padat.

## 4. Uji Efektivitas Asam Humat pada Tanaman Padi

Asam humat yang dihasilkan diaplikasikan pada lahan percobaan tanaman padi di lokasi penelitian. Desain percobaan dilakukan dengan membagi petak uji menjadi dua kelompok, yaitu kelompok perlakuan (padi dengan tambahan asam humat pendamping pupuk) dan kelompok kontrol (padi hanya dengan pupuk konvensional). Lama pengujian ditetapkan selama satu bulan. Parameter yang diamati meliputi tinggi tanaman, jumlah anakan, dan warna daun sebagai indikator kesehatan tanaman (Sharif, 2002).

## 5. Pengumpulan dan Analisis Data

Pengamatan dilakukan setiap minggu selama periode uji coba. Data pertumbuhan tanaman dianalisis secara deskriptif dan komparatif untuk menilai perbedaan antara perlakuan dan kontrol. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas asam humat dari batubara bituminous sebagai pendamping pupuk dalam meningkatkan produktivitas padi di daerah penelitian.

# HASIL DAN PEMBAHASAN

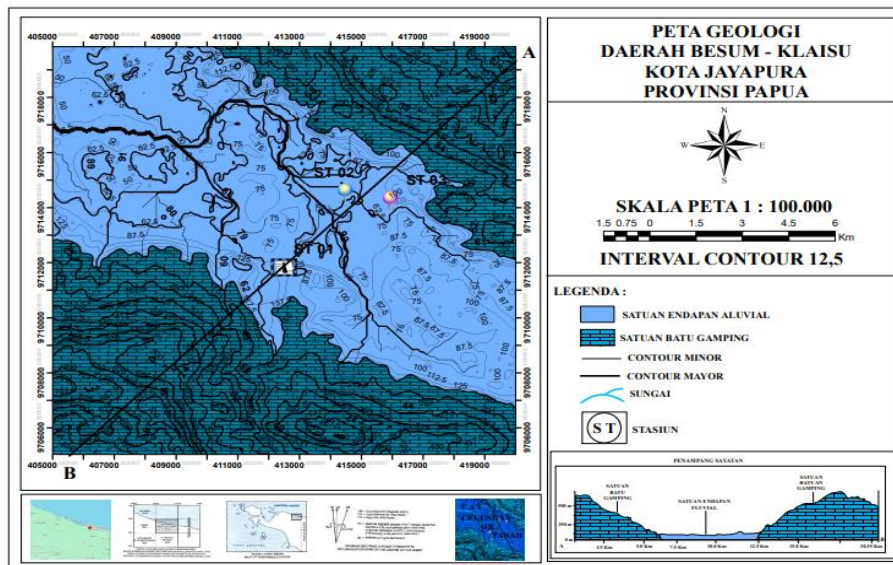
## Geologi Daerah Penelitian

Geologi daerah Besum merupakan daerah pedataran fluvial secara geomorfologi banyak dijumpai sungai-sungai dan dikelilingi perbukitan batugamping Nimboran. Geologi daerah Besum yaitu berada pada endapan fluvial yang kontak dengan batugamping yang lebih tua. Geologi daerah Besum secara umum memperlihatkan karakteristik geomorfologi berupa dataran fluvial yang luas, dengan keberadaan sistem sungai yang bercabang-cabang dan mengalir mengikuti pola alami daerah pedataran. Kondisi ini mencerminkan lingkungan sedimentasi yang terbentuk akibat proses pengendapan material aluvial dari hulu melalui aliran sungai. Daerah ini dikelilingi oleh perbukitan batugamping Nimboran, yang secara stratigrafi berumur lebih tua dibandingkan endapan fluvial yang menempati dataran tersebut. Hubungan kontak antara endapan fluvial dengan batugamping lebih tua menunjukkan adanya batas litologi yang cukup jelas, di mana material lepas berbutir halus hingga kasar dari aliran sungai menutupi dan bersinggungan langsung dengan batuan karbonat terangkat.

Keberadaan batugamping Nimboran yang mengitari dataran Besum berperan penting dalam menentukan pola aliran sungai dan sistem drainase setempat, karena sifat batuan karbonat yang keras membentuk relief lebih tinggi dibandingkan endapan aluvial yang relatif lunak. Proses pelapukan dan erosi pada batugamping juga dapat berkontribusi terhadap suplai mineral tertentu ke dalam sistem fluvial, yang pada akhirnya mempengaruhi kesuburan tanah di dataran. Sementara itu, endapan fluvial di Besum umumnya terdiri atas pasir, lanau, dan lempung, dengan sisipan

kerikil di beberapa lokasi, yang menjadi media potensial untuk aktivitas pertanian, termasuk persawahan yang banyak dijumpai di daerah ini.

Secara hidrogeologi, kombinasi antara dataran fluvial dan perbukitan batugamping menciptakan sistem akuifer yang mendukung ketersediaan air tanah serta mengatur debit aliran sungai. Hal ini sejalan dengan fungsi bendungan yang dibangun pemerintah sebagai sumber irigasi, memanfaatkan potensi hidrologi alami daerah tersebut. Kondisi geologi ini tidak hanya berpengaruh terhadap tata guna lahan, tetapi juga berpotensi mendukung keberhasilan penelitian pemanfaatan batubara bituminous sebagai asam humat, mengingat tanah aluvial di dataran fluvial cenderung responsif terhadap perbaikan kualitas dengan penambahan bahan organik seperti humic substances.



Gambar 1. Peta geologi daerah penelitian

Peta tersebut merupakan peta geologi daerah Besum–Klaisun di Kota Jayapura, Provinsi Papua dengan skala 1 : 100.000 dan interval kontur 12,5 meter. Pada peta ini ditampilkan pembagian satuan geologi yang terdiri dari satuan endapan aluvial yang diberi warna biru muda dan satuan batu gamping yang diberi warna biru tua. Garis kontur tipis menunjukkan kontur minor, sedangkan garis kontur tebal yang dilengkapi angka ketinggian merupakan kontur mayor. Pola kontur memperlihatkan adanya daerah dataran rendah di bagian tengah hingga utara dan daerah perbukitan atau pegunungan di bagian selatan yang ditandai dengan kontur rapat. Aliran sungai digambarkan dengan garis biru berliku yang membelah wilayah dari barat ke timur. Pada peta juga ditandai dua titik stasiun pengamatan yang diberi kode ST-A dan ST-B. Di bagian bawah peta terdapat peta lokasi yang menunjukkan posisi daerah penelitian di Provinsi Papua, serta penampang geologi yang menggambarkan susunan vertikal satuan batuan di wilayah tersebut. Peta ini dilengkapi dengan koordinat UTM pada sumbu horizontal dan vertikal, serta simbol arah mata angin untuk orientasi.

Peta ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai kondisi geologi wilayah Besum–Klaisun, di mana hubungan antara bentuk lahan, litologi, dan jaringan sungai dapat diamati secara jelas. Satuan endapan aluvial yang mendominasi wilayah dataran rendah menunjukkan area yang kemungkinan tersusun dari material lepas hasil proses sedimentasi sungai, sehingga memiliki potensi sebagai lahan pertanian namun juga rentan terhadap banjir. Satuan batu gamping yang tersebar di daerah perbukitan mencerminkan lingkungan pengendapan laut dangkal di masa lalu, dan secara morfologi ditandai oleh lereng terjal dengan kontur rapat. Keberadaan sungai utama dan anak-anak sungainya berperan penting dalam membentuk lembah-lembah yang memisahkan perbukitan, serta menjadi jalur alami untuk transportasi air dan drainase wilayah. Titik-titik stasiun

pengamatan (ST-A dan ST-B) merupakan lokasi pengambilan data lapangan yang menjadi acuan dalam penyusunan peta ini, baik untuk mengidentifikasi jenis batuan maupun memverifikasi bentuk topografi. Penampang geologi yang disajikan di bagian bawah peta memberikan ilustrasi hubungan stratigrafi antar satuan batuan secara vertikal, sehingga mempermudah interpretasi sejarah geologi daerah ini, mulai dari pengendapan batu gamping, pembentukan relief, hingga pengisian lembah oleh endapan aluvial. Keseluruhan elemen peta ini memberikan informasi yang tidak hanya bermanfaat untuk kajian akademis, tetapi juga untuk perencanaan tata ruang, eksplorasi sumber daya, dan mitigasi bencana alam di wilayah Jayapura.

Sejumlah penelitian terdahulu menunjukkan bahwa batubara, khususnya yang tergolong low-rank seperti lignit maupun bituminous, memiliki potensi besar untuk diolah menjadi asam humat yang dapat digunakan sebagai pendamping pupuk. Akimbekov et al. (2021) menjelaskan bahwa batubara peringkat rendah merupakan sumber humic substances yang efektif untuk perbaikan tanah dan manajemen kesuburan. Huculak-Mączka et al. (2018) mengevaluasi pemanfaatan asam humat dari lignit dalam produksi pupuk komersial dan menunjukkan potensi aplikasinya secara praktis di sektor pertanian.

Di Indonesia, Aziz et al. (2022) mengkarakterisasi batubara low-rank dari Jambi dan beberapa daerah lain, menemukan kandungan humat yang cukup tinggi sehingga direkomendasikan sebagai bahan baku pupuk humat skala industri. Penelitian yang dikutip oleh portal Geologi ESDM, seperti yang dilakukan oleh Demirba dan kolega (2002), menyebutkan bahwa ekstraksi asam humat dari batubara berkalori rendah mampu memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kapasitas tukar kation, dan mendorong aktivitas mikroba yang menguntungkan tanaman. Selain metode kimia, teknik biokonversi juga menunjukkan hasil menjanjikan. Li et al. (2022) mengembangkan metode bio-solubilisasi lignit menggunakan filtrat sel bebas *Penicillium ortum* MJ51 yang mampu menghasilkan asam humat dengan rendemen tinggi dan kualitas bioaktif yang lebih baik dibanding metode biologis konvensional.

Penelitian lain oleh Valero et al. (2014) menunjukkan bahwa penggunaan bakteri pelarut batubara dapat menghasilkan humic substances dalam jumlah signifikan, yang membuka peluang pengembangan teknologi ramah lingkungan untuk produksi humat. Berdasarkan temuan tersebut, pemanfaatan batubara lokal di Besum, Papua, baik yang tergolong low-rank maupun bituminous, untuk diolah menjadi asam humat berpotensi menjadi inovasi strategis dalam pengembangan pupuk pendamping yang dapat meningkatkan kesuburan tanah, mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia, serta memberikan nilai tambah ekonomi bagi daerah.

Geologi daerah Besum menunjukkan karakteristik geomorfologi berupa dataran fluvial yang luas, terbentuk dari proses pengendapan material aluvial yang terbawa oleh aliran sungai. Sistem sungai yang bercabang-cabang di daerah ini dikelilingi oleh perbukitan batugamping Nimboran yang secara stratigrafi berumur lebih tua dibandingkan endapan fluvial yang menempati dataran. Kontak litologi antara endapan fluvial dengan batugamping yang lebih tua terlihat jelas, di mana material pasir, lanau, dan lempung dari proses sedimentasi fluvial menutupi dan bersinggungan dengan batuan karbonat terangkat. Kondisi geologi seperti ini mendukung terbentuknya tanah aluvial yang secara agronomis potensial untuk pertanian, tetapi memerlukan perbaikan kesuburan agar hasil panen optimal.

Perbukitan batugamping yang mengitari Besum berperan mengatur pola aliran sungai dan sistem drainase. Sifat keras batugamping membentuk relief lebih tinggi dibandingkan dataran fluvial yang lunak, sehingga menghasilkan kontras topografi. Erosi pada batugamping juga turut menyumbang mineral ke dalam sedimen fluvial. Sementara itu, kondisi hidrogeologi menunjukkan potensi akuifer yang cukup baik, di mana aliran air tanah dan permukaan didukung oleh keberadaan bendungan yang dibangun pemerintah untuk menjaga suplai air irigasi bagi persawahan.

Dalam konteks pengembangan inovasi asam humat dari batubara bituminous sebagai pendamping pupuk, pemahaman geologi daerah ini menjadi sangat penting. Karakter tanah fluvial di Besum yang relatif miskin bahan organik dapat menjadi media yang responsif terhadap

penambahan humic substances, sehingga mampu meningkatkan sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Pendekatan penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian Ikhlas & Asyhar (2023) yang menekankan pentingnya *Project Based Learning* dalam pembelajaran MIPA, di mana keterlibatan langsung masyarakat dan kolaborasi lintas bidang menjadi faktor kunci keberhasilan. Penerapan konsep tersebut di Besum tidak hanya bersifat akademis, tetapi juga melibatkan petani setempat dalam setiap tahap penelitian, mulai dari persiapan bahan hingga penerapan di lahan. Dengan demikian, penelitian ini bukan sekadar eksperimen laboratorium, tetapi juga sarana edukasi dan pemberdayaan masyarakat melalui model pembelajaran berbasis proyek yang nyata dan aplikatif.

Geologi daerah Besum memperlihatkan bentang alam berupa dataran fluvial yang luas dengan sistem sungai yang menyebar secara bercabang, mengalir di antara perbukitan batugamping Nimboran yang lebih tua secara stratigrafi. Endapan fluvial di wilayah ini terbentuk dari hasil sedimentasi material pasir, lanau, dan lempung yang dibawa oleh aliran sungai, kemudian menutupi batuan karbonat terangkat yang membentuk batas litologi yang jelas. Karakteristik ini menghasilkan tanah aluvial yang secara potensial baik untuk pertanian, namun memiliki keterbatasan kandungan bahan organik sehingga kesuburannya memerlukan intervensi tambahan.

Perbukitan batugamping berperan penting dalam mengatur pola aliran sungai dan membentuk topografi yang mengarahkan distribusi sedimen. Pelapukan batuan karbonat turut menyuplai mineral ke dalam dataran fluvial, sedangkan kondisi hidrogeologinya mendukung ketersediaan air melalui sistem akuifer alami. Keberadaan bendungan yang dibangun pemerintah di Besum memanfaatkan kondisi alam ini untuk memastikan pasokan air irigasi, namun permasalahan produktivitas padi yang rendah tetap terjadi, menandakan perlunya inovasi pengelolaan kesuburan tanah.

Pemanfaatan batubara bituminous menjadi asam humat sebagai pendamping pupuk merupakan salah satu bentuk inovasi hilirisasi yang relevan dengan kebijakan pengelolaan sumber daya dan mitigasi emisi karbon. Penelitian ini tidak hanya bertujuan untuk memperbaiki kualitas tanah dan meningkatkan hasil pertanian, tetapi juga dapat menjadi bagian dari strategi pengelolaan batubara yang lebih berkelanjutan. Hal ini sejalan dengan temuan Imam Sukwatus Suja'i et al. (2025) yang menekankan pentingnya analisis dampak kebijakan pajak karbon terhadap distribusi pendapatan rumah tangga di Indonesia. Dalam konteks ini, pengalihan sebagian penggunaan batubara dari pembakaran langsung menjadi produk turunan bernilai tambah seperti asam humat dapat menjadi langkah mitigasi yang selaras dengan tujuan pajak karbon, yaitu mengurangi emisi sekaligus mendorong inovasi ekonomi yang berdampak positif bagi masyarakat.

Dengan demikian, penelitian di Besum ini memiliki dimensi ganda: secara teknis memberikan solusi peningkatan produktivitas pertanian melalui perbaikan tanah, dan secara kebijakan berkontribusi pada narasi transisi energi dan ekonomi rendah karbon. Keterpaduan aspek geologi, teknologi pengolahan batubara, dan relevansi kebijakan menjadikan penelitian ini memiliki signifikansi strategis bagi pembangunan berkelanjutan di wilayah tersebut.

## **Analisa dan Interpretasi**

Analisis batubara yang diambil yaitu batubara jenis lignit dan bituminous daerah Mawesday berdasarkan data laboratorium merupakan jenis batubara peringkat rendah 4,85 cal/g. total Senyawa humat cukup tinggi berbanding lurus dengan nilai kelembaban moisture in air dried sample batubara yakni 20,49%. Kandungan abu (ash) diketahui sebesar 4,33% cukup tinggi membantu dalam pertumbuhan daun klorofil. (Wahidah, dkk, 2022) Daerah Kampung Karya Bumi Besum dengan litologi endapan fluvial dengan dijumpai banyak sawah, penggunaan campuran asam humat batubara dengan tanah persawahan sebagai pendamping pupuk sangat membantu masyarakat.



**Gambar 2. Tampak persawahan Kampung Karya Bumi Besum**

Analisis batubara yang diambil dari daerah Mawesday menunjukkan bahwa sampel yang digunakan adalah batubara jenis lignit dan bituminous dengan peringkat rendah berdasarkan hasil uji laboratorium. Nilai kalor yang diperoleh sebesar 4,85 cal/g mengindikasikan bahwa batubara ini tidak optimal digunakan sebagai bahan bakar energi langsung, tetapi potensial untuk dimanfaatkan sebagai sumber senyawa humat. Kandungan total senyawa humat yang tinggi pada sampel ini berbanding lurus dengan kadar kelembaban (*moisture in air dried sample*) sebesar 20,49%, yang mengindikasikan struktur batubara memiliki porositas dan gugus fungsi oksigen yang cukup untuk proses pembentukan dan pelepasan asam humat. Kandungan abu (*ash content*) yang terukur sebesar 4,33% juga berperan positif dalam mendukung pertumbuhan tanaman, khususnya pembentukan klorofil pada daun, sebagaimana diungkapkan oleh Wahidah et al. (2022) bahwa unsur mineral tertentu dalam abu batubara dapat memberikan nutrisi tambahan pada tanah. Kampung Karya Bumi Besum, dengan litologi yang didominasi oleh endapan fluvial, merupakan daerah persawahan yang sangat bergantung pada produktivitas tanah aluvial.

Meskipun memiliki potensi lahan yang luas, keterbatasan bahan organik dalam tanah menjadi faktor pembatas pertumbuhan optimal tanaman padi. Oleh karena itu, pemanfaatan campuran asam humat hasil ekstraksi batubara peringkat rendah dengan tanah persawahan sebagai pendamping pupuk memberikan solusi yang tepat sasaran. Aplikasi inovasi ini diharapkan dapat memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK), serta mengoptimalkan penyerapan hara oleh tanaman. Dampak akhirnya adalah peningkatan produktivitas padi, pengurangan ketergantungan terhadap pupuk kimia murni, dan sekaligus memberikan nilai tambah pada batubara yang sebelumnya tidak bernilai tinggi dalam sektor energi.

Kampung Karya Bumi Besum, yang secara geologi berada pada zona endapan fluvial dan dikelilingi perbukitan batugamping Nimboran, memiliki potensi pertanian yang besar namun menghadapi tantangan kesuburan tanah. Tanah aluvial di daerah ini, meskipun subur secara fisik, umumnya miskin bahan organik dan rentan kehilangan unsur hara akibat pencucian oleh aliran permukaan. Kondisi ini berdampak pada rendahnya produktivitas tanaman padi yang ditandai oleh pertumbuhan yang kerdil dan warna daun yang pucat. Upaya perbaikan kualitas tanah menjadi prioritas, sejalan dengan program pemerintah dalam ketahanan pangan dan pemanfaatan sumber daya lokal secara berkelanjutan.

Hasil analisis batubara yang diambil dari daerah Mawesday menunjukkan bahwa jenis lignit dan bituminous peringkat rendah memiliki kandungan senyawa humat yang cukup tinggi. Dengan nilai kalor sebesar 4,85 cal/g, batubara ini tergolong tidak efisien untuk pembangkitan energi secara langsung, namun memiliki keunggulan sebagai bahan baku ekstraksi asam humat. Kadar kelembaban (*moisture in air dried sample*) mencapai 20,49%, yang menunjukkan tingginya potensi pembentukan gugus fungsi organik yang bermanfaat bagi tanah. Kandungan abu sebesar 4,33% juga berkontribusi terhadap penyediaan unsur hara mikro, yang menurut Wahidah et al. (2022) berperan dalam pembentukan klorofil daun dan peningkatan metabolisme tanaman.

Pemanfaatan asam humat hasil ekstraksi batubara peringkat rendah ini menjadi inovasi hilirisasi yang sejalan dengan kebijakan pemerintah dalam peningkatan nilai tambah batubara

kualitas rendah (low-rank coal upgrading). Menurut Akimbekov et al. (2021), pencampuran asam humat dengan pupuk kimia, seperti urea, dapat meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk dan memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Inovasi ini tidak hanya berimplikasi pada sektor pertanian, tetapi juga mendukung transisi energi dan ekonomi rendah karbon. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Imam Sukwatus Suja'i et al. (2025) yang menekankan perlunya strategi pengelolaan batubara yang mendukung kebijakan pajak karbon, dengan mengalihkan sebagian penggunaannya dari pembakaran langsung menuju produk turunan bernilai tambah dan beremisi rendah.

Dengan demikian, penelitian di Besum ini memiliki relevansi strategis ganda. Pertama, secara teknis dapat meningkatkan produktivitas pertanian melalui perbaikan kesuburan tanah dengan asam humat dari batubara lokal. Kedua, secara kebijakan mendukung agenda nasional dalam hilirisasi batubara, pengurangan emisi karbon, dan peningkatan kesejahteraan masyarakat melalui optimalisasi sumber daya alam yang tersedia. Pendekatan ini diharapkan mampu menjadi model inovasi berbasis potensi lokal yang terintegrasi dengan kebijakan nasional menuju pembangunan berkelanjutan.

## KESIMPULAN

Manfaat dari penelitian adalah untuk mengembangkan potensi batubara peringkat rendah menjadi asam humat pendamping pupuk sebagai suatu langkah inovasi pada Kampung Karya Bumi Besum. Batubara Mawesday diketahui memiliki kalori peringkat rendah dengan nilai kelembaban moisture in air dried 20,49% yaitu berbanding lurus dengan asam humat dan memiliki Kandungan abu (ash) diketahui sebesar 4,33% cukup tinggi membantu dalam pertumbuhan daun klorofil.

## REFERENSI

- 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. <https://doi.org/10.3390/agriculture11121261>.
- Aziz, M. A. 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. <https://doi.org/10.30556/jtmb.Vol18.No1.2022.1339>.
- Demirba, S., Hai, N. V., & Mir, R. (2002). Asam humat dari batubara berkalori rendah memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan kapasitas tukar kation. *Portal Layanan Geologi ESDM*. <https://geologi.esdm.go.id/media-center/asam-humat-dari-batubara-untuk-mendukung-agroindustri>
- 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. <https://doi.org/10.1007/s11368-018-2003-1>.
- Ikhlas, A., & Asyhar, R. (2023). Trik Konsolidasi Pendidikan Karakter Melalui Model Pembelajaran Project Based Learning Pada Pembelajaran MIPA. *Jurnal Review Pendidikan Dan Pengajaran (JRPP)*, 6(4), 3228-3237.
- Imam Sukwatus Suja'i, Sri Asyrafil Mustaqmah, Rustiyana Rustiyana, Al Ikhlas, Mira Hastin, & Tri Martial. (2025). ESTIMASI DAMPAK PENERAPAN PAJAK KARBON TERHADAP DISTRIBUSI PENDAPATAN RUMAH TANGGA DI INDONESIA : ANALISIS KUANTITATIF DENGAN PENDEKATAN INPUT-OUTPUT MIYAZAWA. *EDU RESEARCH*, 6(2), 1604-1615. <https://doi.org/10.47827/jer.v6i2.980>
- Li, S., Tan, J., Wang, Y., Li, P., Hu, D., Shi, Q., ... Han, Y. (2022). Extraction optimization and quality evaluation of humic acids from lignite using the cell-free filtrate of *Penicillium ortum* MJ51. *RSC Advances*, 12(1), 528–539. <https://doi.org/10.1039/D1RA08019A>.

- 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. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100895-9.00002-2>
- 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. <https://doi.org/10.1081/CSS-120014502>
- Valero, N., Gómez, L., & Pantoja, M. (2014). Production of humic substances through coal-solubilizing bacteria. *Brazilian Journal of Microbiology*, 45(3), 911–918. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822014000300021>.
- 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.