

**PENINGKATAN NILAI TAMBAH (PNT) BATUBARA
UNTUK MENDUKUNG KEMANDIRIAN PEMANFAATAN
SUMBERDAYA BUMI INDONESIA**



UNIVERSITAS GADJAH MADA

**Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar
Dalam Bidang Geologi Batubara
pada Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada**

**Disampaikan pada Pengukuhan Guru Besar
Universitas Gadjah Mada
pada Tanggal 14 Mei 2024**

**oleh:
Prof. Dr. Ir. Ferian Anggara, S.T., M.Eng., IPM**

Bismillahirrahmaanir rahiim.

Yang terhormat,
Ketua, Sekretaris, dan Anggota Majelis Wali Amanat Universitas
Gadjah Mada;
Rektor dan Wakil Rektor Universitas Gadjah Mada;
Ketua, Sekretaris, dan Anggota Dewan Guru Besar Universitas Gadjah
Mada;
Para Guru Besar Universitas Gadjah Mada;
Ketua, Sekretaris, dan Anggota Senat Akademik Universitas Gadjah
Mada;
Dekan dan Wakil Dekan Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada;
Ketua dan Sekretaris dan Anggota Senat Fakultas Teknik Universitas
Gadjah Mada;
Rekan-rekan Dosen dan seluruh Sivitas Akademika Universitas Gadjah
Mada yang hadir pada kesempatan ini;
Tamu Undangan, Mahasiswa, Alumni, Sanak Keluarga, serta Hadirin
sekalian yang saya hormati.

Assalamualaikum warahmatullahi wabarakaatuh.

Selamat pagi,
salam sejahtera untuk kita semua.

Segala puji syukur bagi Allah Swt, Tuhan yang Mahakuasa, atas rahmat dan izin-Nya sehingga kita dapat hadir di Balai Senat Universitas Gadjah Mada. Saya menghaturkan terima kasih dan selamat datang kepada para hadirin sekalian yang telah meluangkan waktu untuk mendengarkan pidato pengukuhan saya sebagai Guru Besar dalam bidang Geologi Batubara pada Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada. Hari ini, Selasa 14 Mei 2024, saya akan menyampaikan pidato berjudul:

Peningkatan Nilai Tambah (PNT) Batubara Untuk Mendukung Kemandirian Pemanfaatan Sumberdaya Bumi Indonesia

Indonesia merupakan negara yang diberi rahmat oleh Tuhan Yang Maha Esa dengan melimpahnya sumberdaya alam terutama

batubara, menjadikannya sebagai salah satu negara terbesar penghasil dan pengeksport batubara di dunia. Topik ini diangkat sebagai suatu rangkuman kegiatan riset terkait dengan **batubara** yang telah dilakukan sejak lulus sarjana dan bekerja di Industri Batubara, melanjutkan studi lanjut dan saat ini sebagai dosen di Departemen Teknik Geologi.

Batubara saat ini menjadi sumber utama energi primer pembangkit listrik di Indonesia. Seiring dengan perkembangan teknologi dan kebutuhan umat manusia, maka **Peningkatan Nilai Tambah** (PNT) batubara mutlak diperlukan. Oleh karena itu, pemanfaatan batubara untuk mendukung sektor metalurgi, pertanian, konstruksi dan berbagai bidang lainnya akan mendukung terciptanya konsep *total extraction* dan *circular economy* dalam pemanfaatan sumberdaya bumi di Indonesia.

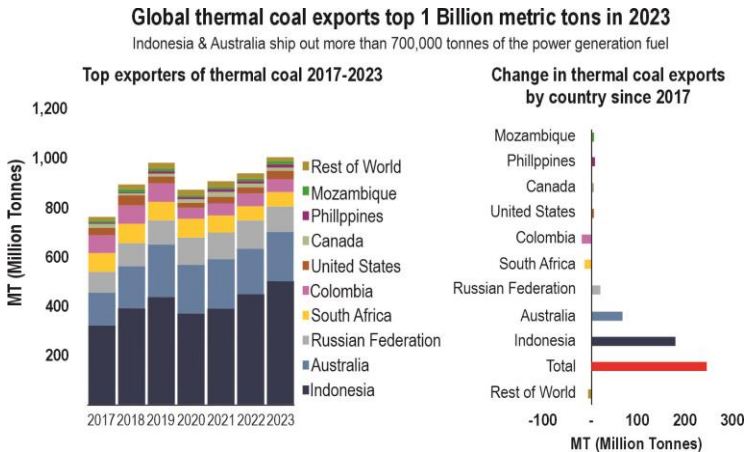
Sejarah Eksplorasi dan Produksi Batubara serta Dampaknya terhadap Perekonomian di Indonesia

Hadirin yang saya hormati,

Kegiatan eksplorasi dan produksi batubara di Indonesia telah berlangsung sejak lebih dari 160 tahun yang lalu. Kegiatan awal eksplorasi ini dikenal sebagai Periode Kolonial (1849-1945), yang diinisiasi oleh para peneliti dari Hindia-Belanda seperti C. Schwanner, Hooze, dan van Bemmelen (Friederich dan van Leeuwen, 2017). Terjadinya Perang Dunia-II menyebabkan turunnya aktivitas industri pertambangan di Indonesia dan menjadi aktif kembali pada tahun 1967 saat dikeluarkannya UU no. 1 dan 11 Tahun 1967 sebagai Undang-Undang Pertambangan pertama yang dikeluarkan oleh Pemerintah Indonesia. Keluarnya UU tersebut menjadi titik balik dari kegiatan pertambangan batubara di Indonesia dan produksi batubara pertama setelah era kolonial dimulai pada tahun 1989 (Friederich dan van Leeuwen, 2017).

Indonesia menjadi salah satu negara produsen dan pengeksport batubara terbesar di dunia sampai dengan saat ini. Data enam tahun terakhir menunjukkan bahwa secara konsisten Indonesia masih menjadi

negara eksportir batubara terbesar dunia, dengan >300.000.000-ton tiap tahunnya (Reuters, 2024; **Gambar 1**). Dalam dua tahun terakhir, penerimaan negara dari sektor pertambangan mineral dan batubara (minerba) masih bertumpu pada komoditas batubara. Pada tahun 2022, realisasi Penerimaan Negara Bukan Pajak (PNBP) mencapai Rp127,90 Triliun atau 301,88% dari rencana penerimaan tahun 2022, dengan mayoritas atau sekitar 70-80% PNBP tersebut berasal dari pertambangan batubara. Data terbaru sampai dengan 11 Desember 2023, royalti batubara untuk PNBP sudah mencapai Rp94,60 Triliun, capaian itu telah melebihi target PNBP yang ditetapkan pada Perpres No. 75 Tahun 2023 tentang Perubahan Rincian APBN Tahun Anggaran 2023 sebesar Rp84,27 Triliun.



Gambar 1. Negara eksportir batubara di dunia. Indonesia menjadi negara eksportir terbesar dalam beberapa tahun terakhir (Reuters, 2024)

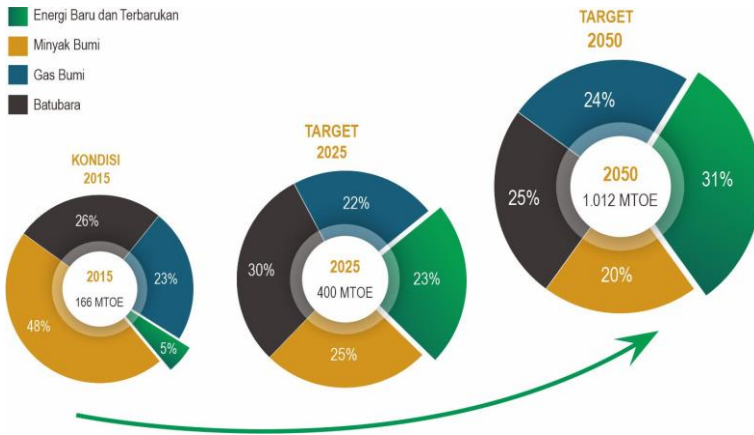
Secara simultan, besarnya pendapatan negara dari aktivitas pertambangan batubara juga telah menunjang ketersediaan tenaga kerja di bidang pertambangan batubara. Data dari KESDM tahun 2020 menunjukkan sudah terbuka 23.202 lapangan kerja, dimana sebesar 8.618 atau sebesar 37,15% adalah lulusan Teknik Geologi. Ketersediaan tenaga kerja ini diproyeksikan akan semakin meningkat tiap tahunnya, mengingat peningkatan pembangunan *smelter* dan program PNT batubara lainnya yang telah menjadi target setidaknya

hingga tahun 2045. Hal ini sesuai dengan UU No. 11 Tahun 2020 tentang Cipta Kerja pada pasal 39, untuk mendukung upaya percepatan dan kelayakan keekonomian hilirisasi batubara.

Program PNT atau program hilirisasi batubara, sesuai dengan UU No. 3 Tahun 2020, meliputi peningkatan mutu batubara (*coal upgrading*), briket batubara (*coal briquetting*), kokas (*coking coal*), pencairan batubara (*coal liquefaction*), gasifikasi batubara (*coal gasification*), dan campuran batubara-air (*coal slurry*). Selain itu, pemanfaatan batubara juga dilakukan dengan pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) di mulut tambang.

Program hilirisasi batubara merupakan bentuk implementasi pengelolaan energi dalam rangka mendukung pembangunan nasional secara berkelanjutan dan meningkatkan ketahanan energi nasional, sebagaimana yang diatur dalam UU No. 30 Tahun 2007 tentang Energi. Pemanfaatan batubara sebagai salah satu energi di Indonesia dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa hal, diantaranya: 1) optimalisasi seluruh potensi sumberdaya; 2) multi-aspek seperti teknologi, sosial, ekonomi, konservasi, dan lingkungan; 3) memprioritaskan pemenuhan kebutuhan masyarakat dan peningkatan kegiatan ekonomi di daerah penghasil sumber batubara.

Dalam rangka mencapai kemandirian dan ketahanan energi nasional, batubara masih memegang peranan penting setidaknya hingga tahun 2050 mencapai 25% dari target 1.012 MTOE (*million tonnes of oil equivalent*), **Gambar 2**. Hal ini menunjukkan bahwa batubara masih memegang peranan penting dalam Kebijakan Energi Nasional (KEN) maupun Rencana Umum Energi Nasional (RUEN). Kegiatan optimalisasi, hilirisasi dan diversifikasi batubara ini ditujukan sebagai modal pembangunan guna sebesar-besarnya kemakmuran rakyat, dengan cara mengoptimalkan pemanfaatannya bagi pembangunan ekonomi nasional, penciptaan nilai tambah di dalam negeri, dan penyerapan tenaga kerja.



Gambar 2. Target bauran energi Indonesia sampai dengan 2050. Berdasarkan Rencana Umum Energi Nasional 2017 batubara mempunyai porsi 25% (PP No. 22 tahun 2017)

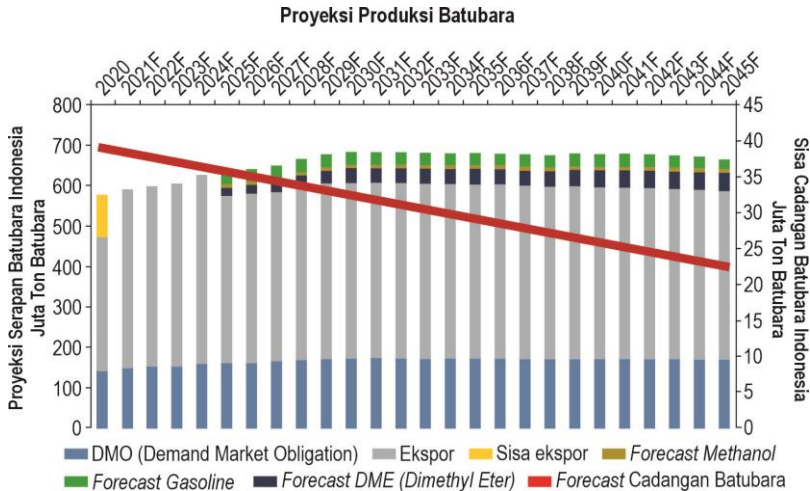
Sumberdaya dan cadangan batubara di Indonesia

Neraca Sumberdaya dan Cadangan Mineral dan Batubara Indonesia Tahun 2022 menyebutkan sumberdaya batubara di Indonesia mencapai 99,19 miliar ton dan cadangan sebesar 35,05 miliar ton. Sumberdaya dan cadangan batubara di Indonesia sebagian besar terakumulasi di Pulau Sumatra dan Kalimantan.

Berdasarkan nilai kalorinya, batubara di Indonesia didominasi oleh batubara berkalori rendah (<5.100 kal/g) sebesar 13,14 miliar ton (37,5% dari total cadangan), kalori sedang (5.100-6.000 kal/g) sebesar 19,24 miliar ton (54,9%), kalori tinggi (6.000-7.100 kal/g) sebesar 2,11 miliar ton (6%), dan kalori sangat tinggi (>7.100 kal/g) sebesar 567 juta ton (1,6%).

Dengan mempertimbangkan data cadangan batubara pada tahun 2022 sebesar 35,05 miliar ton dan tingkat produksi batubara pada tahun 2022 sebesar 687,43 juta ton (**Gambar 3**), maka umur cadangan atau *reserve to production ratio* batubara Indonesia diproyeksikan dapat bertahan hingga 51 tahun. Proyeksi tersebut masih dapat meningkat atau bertahan lebih lama apabila sumberdaya batubara yang ada dapat dikonversi menjadi cadangan dan juga seiring dengan peningkatan

kegiatan eksplorasi yang masih dilakukan. Bahkan, dengan asumsi rencana produksi sebesar 650 juta ton per tahun dan dengan asumsi tidak ada penambahan cadangan, hingga tahun 2045 sisa cadangan batubara Indonesia masih mencapai 22 miliar ton. Proyeksi ini didasarkan pada beberapa pertimbangan, antara lain: 1) pemenuhan kebutuhan sumber energi primer; 2) pemenuhan kebutuhan bahan baku industri kimia/petrokimia; 3) penerimaan negara dan devisa hasil ekspor; 4) kepastian investasi pemegang izin usaha pertambangan.



Gambar 3. Proyeksi produksi batubara sampai dengan 2045 (KESDM, 2021)

Melihat kembali proyeksi cadangan batubara yang masih tersisa setidaknya hingga tahun 2073 dan semakin berkurangnya proporsi batubara dalam pemenuhan kebutuhan energi nasional menimbulkan pertanyaan terhadap masa depan batubara Indonesia. Selain itu, potensi keekonomian yang selama ini masih bergantung pada kontribusi pertambangan batubara tentu menjadikan salah satu faktor yang tidak dapat dihindarkan dalam penentuan kebijakan energi kedepannya. Namun, Indonesia juga telah berkomitmen untuk turut berpartisipasi dalam agenda *Net Zero Emission* (NZE) sebagaimana yang dituangkan dalam *Nationally Determined Contribution* (NDC).

Apakah Indonesia dapat mengurangi ketergantungan pada batubara yang selama ini menopang pendapatan dan perekonomian negara? Apa yang harus dilakukan oleh negara dalam mengelola cadangan batubara yang masih melimpah? Bagaimana komitmen Indonesia dalam mewujudkan agenda NZE? Bagaimana kebijakan energi jangka panjang dalam Bauran Energi Nasional? Beberapa pertanyaan diatas yang setidaknya mendasari penelitian terkait dengan batubara yang selama ini dilakukan.

Opsi Peningkatan Nilai Tambah (PNT) dan pengembangan teknologi batubara

Melalui Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara, Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral (Dirjen Minerba, KESDM), pemanfaatan dan pengembangan batubara Indonesia diatur dalam “*Road Map* Pengembangan dan Pemanfaatan Batubara”. Dalam menyusun *road map* pengembangan dan pemanfaatan batubara di Indonesia, KESDM telah menetapkan visi yang ingin dicapai untuk jangka waktu 25 tahun hingga tahun 2045 dan membagi *milestones road map* dalam kurun per lima tahun yang diisi dengan berbagai program untuk mencapai visi tersebut.

Terdapat 10 program pengembangan dan pemanfaatan batubara yang ditetapkan dalam peta jalan pemanfaatan dan pengembangan batubara Indonesia oleh KESDM. Penelitian yang telah dilakukan selama ini baik secara langsung maupun tidak langsung merupakan komitmen dalam mengimplementasikan program pemerintah baik dalam kegiatan eksplorasi, pemanfaatan, hingga pengembangan batubara. Penelitian ini juga merupakan bentuk kerja sama yang telah dibangun secara intensif baik dengan pemerintah melalui kementerian, Badan Usaha Milik Negara (BUMN), perusahaan swasta, antar lembaga riset dan juga universitas baik dalam maupun luar negeri. Beberapa penelitian yang telah dilakukan dirangkum menjadi beberapa topik sebagai berikut:

1. Batubara untuk menghasilkan produk Logam Tanah Jarang (LTJ) dan produk material maju lainnya

Dalam dua dekade terakhir penelitian terkait pengembangan LTJ berasal dari sumber non-konvensional terutama batubara dan abu hasil pembakaran batubara menjadi studi yang menarik perhatian peneliti dunia (Seredin dan Finkleman, 2008; Seredin dan Dai, 2012; Dai dan Finkelman, 2018; Dai dkk., 2016). Terdapat empat faktor pengayaan logam tanah jarang pada batubara diantaranya, infiltrasi larutan yang membawa ion-ion LTJ, lapukan batuan asal, fluida hidrotermal, dan input abu vulkanik. Penelitian ini tidak hanya memperkaya khasanah ilmu pengetahuan, namun juga sudah terbukti dalam skala industri seperti yang telah dilakukan di tambang batubara dan PLTU di China, Mongolia, dan Rusia (Dai dkk., 2008; 2008; 2013; 2014, Arbuzov dkk., 2016; Seredin, 2005).

Hasil penelitian tersebut menjadi menarik untuk dilakukan di Indonesia, mengingat besarnya cadangan batubara di Indonesia, *by product* hasil pembakaran di PLTU yang semakin bertambah, dan meningkatnya kebutuhan pasar terkait LTJ. Penelitian yang dilakukan mencakup hampir seluruh cekungan batubara yang memproduksi di Indonesia, diantaranya Cekungan Ombilin, Jambi, Sumatra Selatan, Kutai, Barito, Pasir, Asam-Asam, dan Tarakan.

Pengambilan sampel dilakukan secara komprehensif baik secara *ply-by-ply sampling* dan juga sampel hasil pengeboran (*drilling*). Selain itu, batubara yang telah diteliti juga mencakup seluruh rentang umur geologi pada formasi pembawa batubara yaitu Kala Eosen dan Miosen (Anggara dkk., 2018; 2019; 2020; 2024, Patria dan Anggara, 2022, Patria dkk., 2024).

Hasil dari penelitian kami menunjukkan bahwa beberapa batubara di Indonesia berpotensi untuk dikembangkan menjadi sumber alternatif LTJ. Konsentrasi LTJ pada batubara di Indonesia tercatat melebihi rerata batubara dunia (68,5 ppm), dengan konsentrasi terbesar tercatat pada batubara Cekungan Ombilin (126,15 ppm), Sumatra Selatan (203,72 ppm), Barito (194,56 ppm) dan Pasir (283,53 ppm).

Secara umum, konsentrasi LTJ dipengaruhi oleh faktor geologi lokal di tiap cekungan, diantaranya faktor lapukan batuan *basement* atau tipe *terrigenous*, infiltrasi air laut maupun larutan yang bersifat alkalin, dan pengaruh kehadiran abu vulkanik atau *tonstein* pada saat proses penggabutan. Keseluruhan faktor tersebut hadir secara simultan menciptakan kondisi yang optimum pada proses penggabutan dan pembatubaraan untuk dapat mengayakan LTJ di batubara.

Penelitian juga dilakukan pada produk sisa pembakaran batubara atau *fly ash and bottom ash* (FABA). Penelitian telah dilakukan untuk melihat potensi FABA di beberapa PLTU yang berada di Pulau Jawa dan Sumatra (Manurung dkk., 2020a, b; Rosita dkk., 2020a, b; 2023, Prihutami, 2020; Anggara dkk., 2021; Farqhi dkk., 2021; Petrus dkk., 2020; 2022, Besari dkk., 2022). Konsentrasi REY pada hasil abu pembakaran batubara berkisar 123,14 - 260,38 ppm dengan rerata 207,07 ppm. Tidak hanya kegiatan prospeksi dan eksplorasi, penelitian dilakukan juga telah masuk ke dalam tahap ekstraksi dalam skala laboratorium. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ekstraksi LTJ dapat mencapai nilai *optimal recovery* sebesar 82%.

Penelitian mengenai pemanfaatan abu batubara juga dilakukan untuk mendorong sumber alternatif material maju lainnya seperti *cenosphere* dan *geopolymer*. Penelitian ini mencakup produk hasil abu pembakaran PLTU dari Pulau Jawa dan Sumatra untuk dapat membantu pemahaman mekanisme terbentuknya *cenosphere* pada proses pembakaran batubara dan memperkirakan produksi *cenosphere* dari abu terbang yang dihasilkan di Indonesia. Dalam hal pemanfaatan *cenosphere*, material ini telah banyak digunakan dalam pemanfaatan seperti *polymer and composite filler*, rotor rem otomotif dan peningkatan pelindung elektromagnetik, refraktori, penukar panas, perendaman baja dan reklamasi aluminium, hingga konstruksi material semen ringan (Petrus dkk., 2020).

Pemanfaatan *fly ash* juga diteliti lebih lanjut terkait potensinya untuk material konstruksi sebagai geopolimer. Dari hasil pembuatan geopolimer berbasis *by product* dari abu pembakaran batubara, uji kuat tekan dan standardisasi menurut SNI 03-0691-1996 menunjukkan

bahwa produk geopolimer yang kami hasilkan layak untuk digunakan sebagai bahan peralatan parkir, pedestrian, beton, dan mortar (Petrus dkk., 2021; 2022).

Selain itu, penggunaan *fly ash* sebagai pengganti semen juga dapat mendukung pemerintah dalam mencapai target NZE. Beton *high volume fly ash* (HVFA) dapat menghasilkan sekitar 10% *CO₂ emission reduction equivalent*, sedangkan geopolimer mencapai 30% (Petrus dkk., 2021).

2. Batubara sebagai material agroindustri

Berdasarkan neraca sumberdaya dan cadangan yang dikeluarkan oleh Badan Geologi (2023), sumberdaya batubara di Indonesia mencapai 110 miliar ton dengan 35%-nya merupakan batubara kalori rendah (<5.100 kal/gram, adb). Batubara dengan nilai kalori rendah saat ini kurang bernilai ekonomis dan mempunyai masalah terkait dengan *spontaneous combustion* pada saat proses transportasi dari lokasi tambang sampai dengan pengguna.

Ketahanan pangan Indonesia tidak dapat dilepaskan dari pemenuhan kebutuhan penunjang seperti pasokan pupuk yang baik dan terjangkau, peningkatan kualitas lahan pertanian, dan pemanfaatan sumberdaya alamnya. Sementara itu pemenuhan kebutuhan pupuk nasional ditinjau dari sisi total luas lahan dengan total produksi dan impor pupuk di Indonesia saat ini sangat tidak berimbang. Akibatnya, terjadi defisit neraca perdagangan dari sektor pupuk.

Pemanfaatan batubara sebagai material agroindustri, dalam hal ini ekstraksi senyawa humat akan mendukung salah satu target pemerintah dalam Rencana Induk Pembangunan Industri Nasional (RIPIN) 2035 terkait dengan Industri Pupuk yang didalamnya terdiri atas Industri Kimia Dasar berbasis Migas dan Batubara.

Penelitian yang kami lakukan pada batubara peringkat rendah diantaranya berasal dari Peranap, Banyuasin dan Tabalong (Anggara dkk., 2024) menunjukkan bahwa kandungan asam humat memiliki rata-rata yield sebesar 14,67-29,21% jika dilakukan tanpa proses oksidasi, dan 74,59-86,56% apabila dengan proses oksidasi dan kondisi ekstraksi

optimum pada suhu 65°C. Dengan adanya potensi tersebut, maka pengembangan dan pemanfaatan batubara dalam bidang agroindustri dapat dilakukan secara komprehensif sehingga konsep *total extraction* dan *circular economy* dari batubara dapat tercapai.

Dari penelitian yang telah dilakukan, batubara berkalori rendah di Indonesia memiliki potensi senyawa humat yang tinggi sehingga dapat dimanfaatkan sebagai sumber alternatif pupuk serta dapat meningkatkan nilai keekonomian batubara tersebut. Program pengembangan batubara sebagai material agroindustri dengan mempertimbangan bahwa Indonesia adalah negara agraris serta memiliki potensi batubara yang melimpah.

3. Pengembangan batubara melalui gasifikasi

Underground Coal Gasification (UCG) merupakan salah satu teknologi yang dapat meningkatkan nilai tambah batubara. Teknologi ini mengubah batubara menjadi gas di bawah permukaan melalui proses gasifikasi. Gasifikasi merupakan proses konversi termal bahan bakar padat seperti batubara atau biomassa dengan pereaksi (media oksidasi) berupa udara, oksigen, uap, CO₂, atau campuran media tersebut menjadi produk gas. Hasil dari proses gasifikasi ini disebut *syngas* yang mengandung gas bakar yang memiliki komponen utama karbon monoksida (CO) dan hidrogen (H₂), serta sedikit gas hidrokarbon seperti metana (CH₄). Penelitian yang dilakukan di daerah Mangunjaya, Sumatra Selatan menunjukkan bahwa terdapat area potensial dengan luas total 36.808.562 m² dengan volume total batubara potensial sebesar 393 juta m³ serta tonase sebesar 512 juta ton (Anggara dkk., 2022; Riasetiawan dkk., 2022).

4. Pengembangan batubara untuk industri metalurgi

Batubara juga memegang peranan penting dalam industri metalurgi atau peleburan bijih logam di Indonesia. Akan tetapi, karakteristik khusus yang dimiliki batubara untuk dapat dijadikan sebagai material peleburan bijih logam masih sulit dipenuhi karena keterbatasan data dan penelitian terkait karakterisasi batubara dalam negeri. Oleh karena itu, pasokan batubara untuk industri metalurgi dalam negeri masih sangat bergantung pada batubara impor. Seiring

dengan meningkatnya pembangunan *smelter* seperti industri nikel, baja, timah, dan logam lainnya, kebutuhan akan batubara (*coking coal*) dalam negeri masih sangat dibutuhkan guna menekan laju impor batubara. Karakterisasi batubara yang telah dilakukan melalui skema kerja sama penelitian dengan berbagai pihak telah berperan penting dalam penyediaan dan inventarisasi data batubara yang berpotensi untuk industri metalurgi (*coking coal*). Karakteristik nilai kalori 15.889,93–17.235,44 (Btu/lb mmmf), *fuel ratio* 1,35–1,66 dan *maximum fluidity* sebesar 22.263–49.029 ddpmm, menjadikan batubara berumur Eosen pada Formasi Tanjung, Sekako, Kalimantan Barat berpotensi sebagai batubara untuk industri metalurgi (*coking coal*) (Wiranata dkk., 2019a, b; 2020).

5. Penerapan CCUS pada fasilitas pengembangan dan pemanfaatan batubara

Saat ini Indonesia turut berkomitmen dalam agenda NZE sebagaimana yang dituangkan dalam NDC. Dalam program pengembangan dan pemanfaatan batubara, pertimbangan mengenai komitmen Indonesia dalam pencapaian NZE menjadi salah satu aspek yang melandasi prioritas program pengembangan dan pemanfaatan batubara pada kurun 2021-2025.

Carbon Capture, Utilization, and Storage (CCUS) merupakan salah satu alternatif untuk mengurangi emisi gas karbon dioksida di atmosfer. *Geological CO₂ storage* merupakan salah satu metode untuk menyimpan gas karbon dioksida dalam volume yang besar dan periode waktu yang lama. Tak hanya itu, penerapan CO₂-storage ini juga mampu meningkatkan produksi minyak (*enhanced oil recovery*; EOR) dan metana (CH₄) pada lapisan batubara untuk meningkatkan produksi gas metana pada batubara (*enhanced coal bed methane*; ECBM).

Studi karakterisasi lapisan batubara, eksperimen terhadap nilai adsorpsi dalam berbagai parameter, penghitungan volumetrik, hingga penentuan rekomendasi cekungan yang sesuai untuk pengembangan teknologi ini telah banyak dilakukan untuk batubara Indonesia (Anggara dkk., 2010; 2013; 2014; 2015; 2016, Tambaria dkk., 2023a, b). Berdasarkan studi yang dilakukan, Formasi Muara Enim di

Cekungan Sumatra Selatan dan Formasi Balikpapan di Cekungan Kutai menjadi kandidat lapangan batubara yang dapat dimanfaatkan untuk penerapan CCUS di Indonesia.

Paradigma batubara dalam transisi energi dan program *Net Zero Emission* (NZE)

Pertumbuhan populasi manusia secara eksponensial dan permintaan energi global yang diperkirakan meningkat dua kali lipat hingga tahun 2050, merupakan suatu fenomena global yang tidak bisa dihindari oleh Indonesia. Terciptanya transisi energi yang bersih dan adil yang sekaligus memastikan masa depan yang aman, dan berkelanjutan terus menjadi masalah yang kompleks. Setidaknya terdapat tiga tantangan yang harus diatasi di bidang energi (*Energy Trilemma*), yaitu keamanan energi (*energy security*), keberlanjutan energi (*environmental sustainability*), dan keterjangkauan energi (*energy equity*). Tantangan tersebut dihadapi oleh seluruh negara di dunia, dengan kendalanya masing-masing, diantaranya perbedaan geografis, sosio-ekonomi, kultur, politik, dan banyak hal lainnya.

Saat ini Indonesia berada pada peringkat 56 dari 127 negara dalam *World Trilema Index*, dengan skor 66.8/100. Keterjangkauan energi (*energy equity*) merupakan aspek dengan nilai indeks tertinggi (72/100), hal ini mencerminkan bahwa Indonesia mampu untuk memberikan akses energi dengan harga terjangkau di berbagai kalangan. Pada aspek keamanan energi (*energy security*; skor 67.9/100), Indonesia masih harus berjuang dalam mengurangi ketergantungan pada impor energi, hal ini tercermin dari tren sejak 2010-2020. Di lain sisi, Indonesia sudah mampu untuk melakukan diversifikasi pembangkit listrik untuk memenuhi kebutuhannya dengan berbagai pemanfaatan energi yang dimiliki. Pada aspek penyediaan energi yang berkelanjutan (*environmental sustainability*), Indonesia masih harus berusaha keras untuk terciptanya energi yang lebih ramah lingkungan. Hal ini tercermin dari masih tingginya emisi karbon dioksida per kapita.

Sebagai konteks secara umum, kondisi makroekonomi pasca-COVID-19 di Indonesia tergolong stabil dengan pertumbuhan ekonomi

sebesar 4,8-5,8% dan inflasi terkendali sesuai target tahun 2021 ($3\% \pm 1$). Peran pemerintah dalam mengambil dan mengimplementasikan kebijakan energi dinilai memiliki tren positif sejak tahun 2010-2020 (World Energy Council, 2022). Namun, satu hal yang menjadi rapor merah Indonesia adalah kemampuan negara dalam melakukan inovasi, pengembangan dan riset terkait kebutuhan energi. Dengan mengetahui posisi Indonesia dalam menghadapi tantangan *Energy Trilemma* dan kondisi secara global, dapat menjadi landasan berfikir dalam penentuan kebijakan energi di masa depan untuk mewujudkan energi yang berkelanjutan.

Keseimbangan *Energy Trilemma* ini menjadi isu yang dihadapi seluruh negara di dunia. Namun, mengutip pernyataan oleh Flores dan Moore (2024), “*There is no universal prescription (“one-size-fits-all” approach) for global coal transitions*”, menyiratkan bahwa Indonesia harus mampu memecahkan masalah dan tantangannya sendiri.

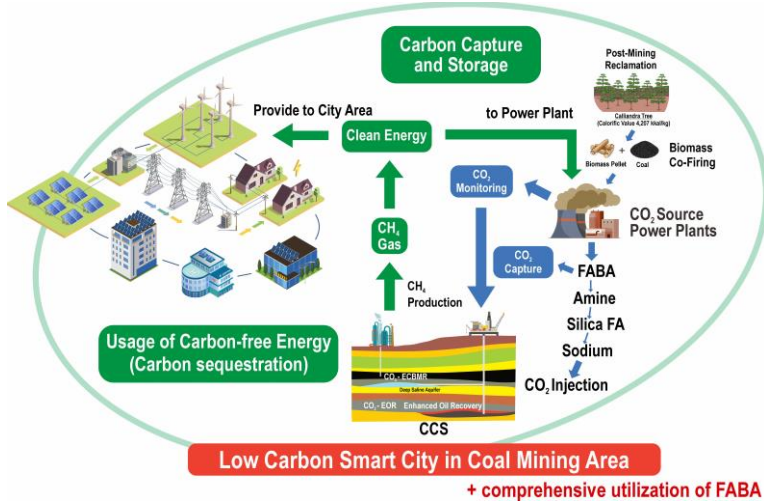
Melalui World Energy Council (2022), Indonesia telah meletakkan program prioritas dalam menghadapi permasalahan energi nasional yang terbagi menjadi dua fokus utama yaitu, *action priorities* dan *critical uncertainties*. Empat hal utama yang menjadi fokus Indonesia adalah *urban design, energy access, land and water availability, dan trade and investment policies*. Hal tersebut mencerminkan bahwa fokus negara Indonesia masih akan tertuju pada pemanfaatan energi yang masih melimpah dan bagaimana energi tersebut dapat tersalurkan secara merata melalui desain tata kota atau kondisi geografis dengan memperhatikan keseimbangan untuk kehidupan berkelanjutan.

Selain fokus pemenuhan energi dalam bidang teknis, integrasi juga diprioritaskan pada pembuatan kebijakan dalam perdagangan dan investasi. Dengan mempertimbangkan konsep *Energy Trilemma*, fokus prioritas kebijakan yang telah ditentukan, dan dalam upaya meningkatkan inovasi teknologi, salah satu solusi untuk menyelesaikan permasalahan ini adalah pengembangan teknologi CCUS. CCUS memfasilitasi transisi batubara menuju *net zero emission* dengan mengurangi emisi sebesar 60% melalui retrofit pembangkit listrik tenaga batubara, sedangkan 40% sisanya berasal dari pengurangan

industri dan bioenergi (IEA, 2020; 2021). Sistem CCUS merupakan teknologi yang penting dalam implementasi NDC dan memaksimalkan pengurangan emisi CO₂ bagi negara yang bergantung pada batubara sebagai sumber energi (IEA, 2020).

Instalasi sistem CCUS pada pembangkit listrik tenaga batubara merupakan kunci dalam menjawab tantangan emisi CO₂ yang selama ini menjadi tantangan utama pembangkit listrik berbasis batubara (IEA, 2020; Jacob dkk., 2020). Sistem ini paling tepat dilakukan di Asia, terutama di Asia Tenggara dimana rata-rata usia PLTU baru 12 tahun dan dibangun untuk jangka waktu 30-50 tahun (IEA, 2020; 2021). Menurut Cornot-Gandolphe (2016), strategi energi berbiaya rendah yang tepat untuk negara-negara di Asia dan Asia Tenggara adalah “*new coal*” plus EBT, nuklir dan gas. Terminologi “*new coal*” mengacu pada teknologi pembakaran batubara di pembangkit listrik dengan konsep *highly efficient low-emission* (HELE) dengan instalasi sistem CCUS, yang mulai berlaku pada 2020-2035. Penerapan teknologi CCUS ini juga diharapkan mampu memenuhi target penurunan temperatur berdasarkan *Paris Agreement* (<1,5°C atau <2°C) dengan penangkapan CO₂ di Asia Tenggara setidaknya 35 MtCO₂ pada tahun 2030 (IEA, 2021).

Dengan mempertimbangkan seluruh aspek serta program prioritas Indonesia dalam *World Energy Issue*, gagasan penerapan CCUS ini sejalan dengan apa yang selama ini dilakukan di Pusat Kajian Sumberdaya Bumi Non-konvensional (*Unconventional Geo-resources Research Group* - UGRG). Gagasan “*Low-carbon smart city in mining area*” merupakan bentuk implementasi dari inovasi teknologi batubara yang dapat dilakukan untuk mendukung NZE (**Gambar 4**). Inovasi teknologi ini memiliki potensi besar untuk membantu Indonesia mengatasi *Energy Trilemma* melalui penyediaan energi yang efisien dan desentralisasi melalui sistem distribusi energi yang tepat. Konsep ini mempertegas paradigma PNT batubara untuk mendukung konsep *circular economy*. Oleh karena itu, pemanfaatan batubara secara langsung maupun produk sisa hasil pemanfaatan, memastikan transisi energi yang bersih dan adil, masa depan yang aman, dan berkelanjutan.



Gambar 4. Konsep *Low Carbon Smart City in (coal) Mining Area* merupakan salah satu konsep yang ditawarkan untuk mendukung program NZE

Penutup

Hadirin yang saya hormati,

Sebagai penutup dari pidato ini, beberapa hal yang perlu digarisbawahi, Indonesia mempunyai cadangan batubara mencapai 35 miliar ton dengan umur cadangan sampai dengan 51 tahun (tahun 2073) dengan asumsi produksi mencapai 650 juta ton/tahun. Saat ini, batubara juga masih menjadi sumber energi listrik di Indonesia dengan persentase mendekati 50%. Oleh karena itu, pemanfaatan batubara memiliki dampak yang sangat besar secara ekonomi maupun ketahanan energi Indonesia. Namun, seiring dengan perkembangan kebijakan pemerintah Indonesia dan tren pemanfaatan energi di dunia, maka diperlukan upaya tambahan dalam pemanfaatan batubara.

Konsep PNT batubara dengan berbagai macam opsinya merupakan salah satu solusi dalam pemanfaatan batubara untuk mendukung kemandirian pemanfaatan sumberdaya bumi Indonesia. PNT batubara diharapkan dapat mendukung implementasi konsep *total*

extraction dan *circular economy*. Terkait dengan hal tersebut, Konsep *Low Carbon Smart City in (coal) Mining Area* merupakan salah usulan yang ditawarkan untuk mendukung program NZE di Indonesia. Akhirnya, kita sebagai bangsa, tetap dapat memanfaatkan sumberdaya bumi yang dimiliki dengan berkelanjutan.

Hadirin yang saya hormati,

Capaian jabatan Guru Besar merupakan proses yang panjang, tidak hanya terkait dengan akademik, namun juga refleksi perjuangan berat yang tidak dapat terwujud tanpa dukungan banyak pihak. Oleh karena itu, izinkan saya dengan segala kerendahan hati menyampaikan terima kasih dan apresiasi setinggi-tingginya kepada berbagai pihak.

Pemerintah Republik Indonesia melalui Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi atas keputusan kenaikan jabatan Guru Besar yang diberikan kepada saya. Rektor dan jajarannya, Pimpinan dan Anggota Senat Akademik, Pimpinan dan Anggota Dewan Guru Besar yang telah menyetujui dan mengusulkan jabatan tersebut.

Dekan dan Pengurus Fakultas Teknik, Ketua dan Anggota Senat Fakultas Teknik, Tim Penilai Kenaikan Jabatan Guru Besar Fakultas Teknik, Ketua dan Sekretaris Departemen Teknik Geologi serta staf kependidikan terkait yang telah mengizinkan, memproses, dan menyampaikan usulan kenaikan jabatan saya.

Hadirin yang saya hormati,

Profil akademik saya saat ini, tidak dapat tercapai tanpa dukungan dari guru dan mentor yang telah memberikan bimbingan secara luar biasa.

Pertama, saya ucapkan terima kasih yang setinggi-tingginya untuk guru saya dari SD sampai dengan SMA yang telah memberikan pondasi pembelajaran.

Selanjutnya, penghargaan dan ucapan terima kasih untuk dosen saya di Departemen Teknik Geologi, FT-UGM yang memberikan

pengetahuan terkait dengan bidang ilmu teknik geologi. Secara khusus saya ucapkan terima kasih kepada Prof. Subagyo Pramumijoyo dan Dr. Agung Setianto selaku pembimbing skripsi. Dr. D. Hendra Amijaya dan Dr. Lucas Donny Setijadji sebagai pembimbing thesis.

Ucapan terima kasih yang mendalam kepada Prof. Kyuro Sasaki sebagai pembimbing disertasi di Kyushu University. Selama menempuh pendidikan pascasarjana, saya juga mendapatkan banyak bimbingan dari Prof. Joan Esterle (University of Queensland, Australia), Prof. Yuichi Sugai (Kyushu University, Jepang), Dr. Tim A. Moore (Queensland University of Technology, Australia), dan Dr. Sandra Rodrigues (University of Queensland, Australia). Pengembangan riset baik selama studi maupun pada saat menjalani karir akademik sangat dibantu oleh orang-orang baik dan hebat di bidangnya tersebut.

Saya mengucapkan terima kasih secara khusus kepada Prof. Himawan Tri Bayu Murti Petrus atas segala dukungannya dalam penelitian kolaboratif yang dikerjakan secara produktif di Pusat Kajian Sumberdaya Bumi Non-konvensional (*Unconventional Geo-resources Research Group* - UGRG). Saya juga mengucapkan terima kasih atas kontribusi seluruh tim peneliti, baik dosen maupun asisten mahasiswa untuk kemajuan UGRG.

Terima kasih saya ucapkan kepada kolega di Laboratorium Geokimia, Prof. Agung Harijoko dan Dr. Haryo Edi Wibowo atas kerja sama dan capaian-capaian yang telah diraih sampai dengan saat ini.

Selanjutnya, saya juga mengucapkan terima kasih atas dukungan pengurus Departemen Teknik Geologi sejak awal saya diterima menjadi dosen khususnya teruntuk Prof. Dwikorita Karnawati, Prof. Sugeng Sapto Surjono, Prof. Heru Hendrayana dan Dr. Doni Prakarsa Eka Putra.

Penelitian terkait dengan PNT Batubara, tidak dapat berjalan tanpa dukungan penuh dari *stakeholder* terkait, sehingga saya ingin mengucapkan terima kasih kepada KESDM, khususnya Pusat Sumberdaya Mineral Batubara dan Panas Bumi (PSDMBP) yang telah

mendukung penelitian terkait dengan batubara sejak 2017. PT. Bukit Asam Tbk yang mendukung penelitian terkait dengan PNT Batubara sejak 2016. Pusat Riset Teknologi Pertambangan, BRIN yang telah mendukung kegiatan riset kami selama ini terutama terkait dengan analisis laboratorium. Saya sangat mengapresiasi kontribusi seluruh pihak dalam mendukung penelitian kami baik dari institusi pemerintah, swasta, lembaga riset dan perguruan tinggi dalam dan luar negeri.

Terima kasih yang tak terhingga saya ucapkan kepada mahasiswa bimbingan sarjana dan pascasarjana serta para asisten yang selama ini membantu penelitian yang saya kerjakan. Saya tidak dapat mencapai hasil seperti ini tanpa bantuan dari seluruh tim yang mendukung.

Hadirin yang saya hormati,

Izinkan saya mempersembahkan capaian Guru Besar ini kepada kedua orang tua saya, Bapak Bisono dan Ibu Hery Iriani. Atas doa dan kerja keras beliau berdua, kami seluruh putranya dapat menjadi seperti sekarang ini.

Saya juga ingin mengucapkan terima kasih kepada Bapak dan Ibu Mertua, Bapak Hari Hartadi dan Ibu Siti Widayati Laksmi atas kasih sayang yang diberikan selama ini.

Kepada adik-adik saya, Hendy Dian Permana (dan keluarga) dan Tegar Agil Dewanto (dan keluarga), terima kasih atas pengertian dan dukungannya selama ini.

Saya juga ingin mengucapkan terima kasih kepada kakak ipar saya, Adrianto Adilaksono Hartadi dan Dahliana Hasan (serta keluarga) atas bantuannya selama ini.

Teruntuk istri saya, Astri Astariani, terima kasih atas pengertian, dukungan dan pengorbanannya selama ini.

Hadirin yang saya hormati,

Guru Besar sebagai jabatan fungsional tertinggi seorang dosen mempunyai beban dan tanggung jawab yang tidak kecil, oleh karena itu, saya dengan kerendahan hati, memohon doa dan dukungannya agar

dapat menjalankan amanah ini dengan baik dan dapat memberikan dampak yang lebih luas.

Aamiin yaa Rabbal'aalamiin.

Wassalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakaatuh.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggara, F.,** Sasaki, K., Amijaya, D.H., Sugai, Y., & Setijadji, L.D., (2010). CO₂ Injection in Coal Seams, an Option for geological CO₂ Storage and Enhanced Coal Bed Methane Recovery (ECBM). Indonesian Petroleum Association, 34th Annual Convention Proceedings. <https://doi.org/10.29118/ipa.1669.10.e.111>
- Anggara, F.,** Sasaki, K., & Sugai, Y., (2013). Mineral dissolution/precipitation during CO₂ injection into coal reservoir: a laboratory study. *Energy Procedia*, 37. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.06.605>
- Anggara, F.,** Sasaki, K., Rodrigues, S., & Sugai, Y., (2014). The effect of megascopic texture on swelling of a low rank coal in supercritical carbon dioxide. *International Journal of Coal Geology*, 125. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2014.02.004>
- Anggara, F.,** Sasaki, K., & Sugai, Y., (2015). Numerical modelling and simulation of CO₂-enhanced coal-bed methane recovery (CO₂-ECBMR): The effect of coal swelling on gas production performance. *Journal of Applied Geology*, 7(2), 102–111. <http://dx.doi.org/10.22146/jag.26983>
- Anggara, F.,** Sasaki, K., & Sugai, Y., (2016). The correlation between coal swelling and permeability during CO₂ sequestration: A case study using Kushiwo low rank coals. *International Journal of Coal Geology*, 166. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2016.08.020>
- Anggara, F.,** Cikasimi, M., Rahmat, B., Wibisono, S. A., & Susilawati, R. (2019). Karakteristik dan genesa pengayaan unsur-unsur tanah jarang pada batubara lapangan batubara Muara Tiga Besar Utara, Tanjung Enim, Cekungan Sumatera Selatan. *Buletin Sumberdaya Geologi*, 14(3), 189-212. <https://doi.org/10.47599/bsdg.v14i3.288>
- Anggara, F.,** Petrus, H.T.B.M., Patria, A.A., & Bangun, A.S.V.B., (2020). Preliminary study of rare earth element and yttrium (REY) content of coal in Sangatta Coalfield, East Kalimantan, Indonesia. *Indonesian Journal on Geoscience*, 7 (3). <https://doi.org/10.17014/ijog.7.3.305-314>.

- Anggara, F.**, Petrus, H. T., Besari, D. A. A., Manurung, H., & Saputra, F. Y. A. (2021). Tinjauan pustaka karakterisasi dan potensi pemanfaatan fly ash dan bottom ash (faba). *Buletin Sumberdaya Geologi*, 16(1), 53-70. <https://doi.org/10.47599/bsdg.v16i1.320>
- Anggara, F.**, Riasetiawan, M., Assamarqandi, F.R., Sartika, B.F., Rizaldi, I.J., Syahra, V., Ibrahim, M.A., & Rahmat, S.B. (2022). Screening criteria of underground coal gasification (UCG): A case study from mangunjaya area, south sumatra basin, indonesia. *IOP Conference Series. Earth and Environmental Science*, 1071(1), 012023. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1071/1/01202>
- Anggara, F.**, Patria, A. A., Rahmat, B., Wibisono, H., Putera, M. Z. J., Petrus, H. T. B. M., Handini, E., & Amijaya, D. H. (2024). Signature characteristics of coal geochemistry from the Eocene Tanjung Formation and the Miocene Warukin Formation, Barito Basin: Insights into geological control on coal deposition and future critical element prospection. *International Journal of Coal Geology*, 282, 104423. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2023.104423>
- Arbuzov, S.I., Mezhibor, A.M., Spears, D.A., Ilenok, S.S., Shaldybin, M.V., & Belaya, E.V., (2016). Nature of tonsteins in the Azeisk deposit of the Irkutsk Coal Basin (Siberia, Russia). *International Journal of Coal Geology*. 153, 99–111. <http://dx.doi.org/10.1016/j.coal.2015.12.001>
- Besari, D. A. A., **Anggara, F.**, Widya, R., & Petrus Himawan, T. B. M. (2022). Characterization and mode of occurrence of rare earth elements and yttrium in fly and bottom ash from coal-fired power plants in java, indonesia. *International Journal of Coal Science & Technology*, 9(1). <https://doi.org/10.1007/s40789-022-00476-2>
- Cornot-Gandolphe, S., (2016). Southeast Asia coal demand and imports. EIA Conference, Washington, 2016. <https://www.eia.gov/conference/2016/pdf/presentations/gandolphe.pdf>
- Dai, S., Ren, D., Zhou, Y., Chou, C.-L., Wang, X., Zhao, L., & Zhu, X., (2008). Mineralogy and geochemistry of a superhigh-organic-sulfur coal, Yanshan Coalfield, Yunnan, China: evidence for a volcanic ash component and influence by submarine exhalation. *Chemical Geology*. 255, 182–194. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2008.06.030>

- Dai, S., Ren, D., Chou, C.-L., Finkelman, R.B., Seredin, V.V., & Zhou, Y., (2012). Geochemistry of trace elements in Chinese coals: a review of abundances, genetic types, impacts on human health, and industrial utilization. *International Journal of Coal Geology*. 94, 3–21. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2011.02.003>
- Dai, S., Zhang, W., Ward, C.R., Seredin, V.V., Hower, J.C., Li, X., Song, W., Wang, X., Kang, H., Zheng, L., Wang, P., & Zhou, D., (2013). Mineralogical and geochemical anomalies of late Permian coals from the Fusui Coalfield, Guangxi Province, southern China: influences of terrigenous materials and hydrothermal fluids. *International Journal of Coal Geology*. 105, 60–84. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2012.12.003>
- Dai, S., Luo, Y., Seredin, V.V., Ward, C.R., Hower, J.C., Zhao, L., Liu, S., Tian, H., & Zou, J., (2014). Revisiting the late Permian coal from the Huayingshan, Sichuan, southwestern China: enrichment and occurrence modes of minerals and trace elements. *International Journal of Coal Geology*. 122, 110–128. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2013.12.016>
- Dai, S., Graham, I. T., & Ward, C. R., (2016). A review of anomalous rare earth elements and yttrium in coal. *International Journal of Coal Geology*. 159, 82-95. <http://dx.doi.org/10.1016/j.coal.2016.04.005>
- Dai, S., & Finkelman, R.B., (2018). Coal as a promising source of critical elements: Progress and future prospects. *International Journal of Coal Geology*. 186, 155–164. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2017.06.005>
- Farqhi, M., Dea Anisa, A. B., **Anggara, F.**, & Himawan Tri Bayu, M. P. (2021). The potency of rare earth elements and yttrium in konawe coal ashes, indonesia. *IOP Conference Series. Earth and Environmental Science*, 882(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/882/1/012037>
- Friederich, M. C., & van Leeuwen, T., (2017). A review of the history of coal exploration, discovery and production in Indonesia: The interplay of legal framework, coal geology and exploration strategy. *International Journal of Coal Geology*. 178, 56-73. <http://dx.doi.org/10.1016/j.coal.2017.04.007>

- Indonesia. (1967). Undang-undang Nomor 1 Tahun 1967 Tentang Penanaman Modal Asing. Jakarta
- Indonesia. (1967). Undang-undang (UU) Nomor 11 Tahun 1967 tentang Ketentuan-Ketentuan Pokok Pertambangan. Jakarta
- Indonesia. (2007). Undang-undang (UU) Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi. Jakarta
- Indonesia. (2017). Peraturan Presiden (Perpres) Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional. Jakarta
- Indonesia. (2020). Undang-undang (UU) Nomor 3 Tahun 2020 tentang Perubahan atas Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara. Jakarta
- Indonesia. (2020). Undang-undang (UU) Nomor 11 Tahun 2020 tentang Cipta Kerja. Jakarta
- Indonesia. (2023). Peraturan Presiden (Perpres) Nomor 75 Tahun 2023 tentang Perubahan atas Peraturan Presiden Nomor 130 Tahun 2022 tentang Rincian Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara Tahun Anggaran 2023. Jakarta
- International Energy Agency. (2020). Energy Technology Perspective 2020. [https://iea.blob.core.windows.net/assets/7f8aed40-89af-4348-be19-c8a67df0b9ea/Energy Technology Perspectives 2020_PDF.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/7f8aed40-89af-4348-be19-c8a67df0b9ea/Energy_Technology_Perspectives_2020_PDF.pdf)
- International Energy Agency. (2021). Net Zero by 2050 – A Roadmap for the Global Energy Sector. https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroby2050-A_RoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf
- Jakob, M., Steckel, J.C., Jotzo, F., Sovacool, B.K., Cornelsen, L., Chandra, R., Edenhofer, O., Holden, C., Löschel, A., Nace, T., Robins, N., Suedekum, J., & Urpelainen, J., (2020). The future of coal in a carbon-constrained climate. *Nature Climate Change*. 10, 704–707. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0866-1>
- KESDM. (2021). Grand Strategy Mineral dan Batubara. Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-buku-grand-strategy-komoditas-minerba.pdf>
- Manurung, H., Rosita, W., Bendiyasa, I. M., Prasetya, A., **Anggara, F.**, Astuti, W., & Petrus, H. T. B. M. (2020a). Recovery of Rare earth

elements and yttrium from non-magnetic coal fly ash using acetic acid solution. *Metal Indonesia*, 42(1), 35-42. <https://doi.org/10.32423/jmi.2020.v42.35-42>

- Manurung, H., Rosita, W., **Anggara, F.**, H, B. T. M. P., & Bendiyasa, I. M. (2020b). Leaching of REY from non-magnetic coal fly ash with acetic acid. *IOP Conference Series. Materials Science and Engineering*, 778(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/778/1/012005>
- Patria, A. A., & **Anggara, F.** (2022). Petrological, mineralogical, and geochemical compositions of coal in the Ombilin Basin, West Sumatra, Indonesia. *International Journal of Coal Geology*, 262, 104099. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2022.104099>
- Patria, A. A., Suhendra, R., **Anggara, F.**, Agangi, A., Obrochta, S. P., & Setiawan, I. (2024). Association and textural-compositional evolution of pyrite-organic matter in coals of the Tarakan, Barito, and Pasir Basins, Kalimantan, Indonesia. *International Journal of Coal Geology*, 282, 104442. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2023.104442>
- Petrus, H. T. B. M., Olvianas, M., Suprpta, W., Setiawan, F. A., Prasetya, A., & **Anggara, F.** (2020). Cenospheres characterization from Indonesian coal-fired power plant fly ash and their potential utilization. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5), 104116. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104116>
- Petrus, H. T. B. M., Fairuz, F. I., Sa'dan, N., Olvianas, M., Astuti, W., Jenie, S. N. A., Setiawan, F. A., **Anggara, F.**, Ekaputri, J. J., & Bendiyasa, I. M. (2021). Green geopolymer cement with dry activator from geothermal sludge and sodium hydroxide. *Journal of Cleaner Production*, 293, 126143. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126143>
- Petrus, H.T.B.M., Olvianas, M., Shafiyurrahman, M.F., Pratama, I.G.A.A.N., Jenie, S.N.A., Astuti, W., Nurpratama, M.I., Ekaputri, J.J., & **Anggara, F.** (2022). Circular economy of coal fly ash and silica geothermal for green geopolymer: Characteristic and Kinetic Study. *Gels*, 8(4), 233. <https://doi.org/10.3390/gels8040233>
- Prihutami, P., Prasetya, A., Sediawan, W. B., Petrus, H. T. B. M., & **Anggara, F.** (2021). Study on rare earth elements leaching from

- magnetic coal fly ash by citric acid. *Journal of Sustainable Metallurgy*, 7(3), 1241-1253. <http://dx.doi.org/10.1007/s40831-021-00414-7>
- Reuters. (2024). Global coal exports and power generation hit new highs in 2023. <https://www.reuters.com/markets/commodities/global-coal-exports-power-generation-hit-new-highs-2023-2024-01-18>
- Riasetiawan, M., **Anggara, F.**, & Syahra, V. (2022). Implementing the calculations and characterization of underground coal gasification using data analytic method. *Civil Engineering Journal*, 7, 171-181. <https://doi.org/10.28991/CEJ-SP2021-07-012>
- Rosita, W., Besari, D. A. A., Bendiyasa, I. M., Perdana, I. N. D. R. A., **Anggara, F.**, & Petrus, H. T. B. M. (2020a). Potency of rare earth elements and yttrium in Indonesia coal ash. *Key Engineering Materials*, 849, 102-107. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.849.102>
- Rosita, W., Bendiyasa, I. M., Perdana, I., & **Anggara, F.** (2020b). Experimental study of rare earth element enrichment from Indonesian coal fly ash: alkaline leaching. *Key Engineering Materials*, 840, 514-519. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.840.514>
- Seredin, V.V., (2005). Rare earth elements in germanium-bearing coal seams of the Spetsugli Deposit (Primor'e Region, Russia). *Geology of Ore Deposits*, 47, 238–255. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-23844536094&origin=resultslist>
- Seredin, V., & Finkelman, R.B., (2008). Metalliferous coals: a review of the main genetic and geochemical types. *International Journal of Coal Geology*, 76, 253–289. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2008.07.016>
- Seredin, V.V., Dai, S., (2012). Coal deposits as potential alternative sources for lanthanides and yttrium. *International Journal of Coal Geology*, 94, 67–93. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2011.11.001>
- Tambaria, T. N., Sugai, Y., & **Anggara, F.** (2023a). Experimental measurements of CO₂ adsorption on Indonesian low-rank coals under various conditions. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 13(3), 813-826. <https://doi.org/10.1007/s13202-022-01569-z>

- Tambaria, T. N., Sugai, Y., & **Anggara, F.** (2023b). Examination of the Factors Inhibiting CO₂ Adsorption on Coal: A Case Study from Shallow-Depth Low-Rank Coal Seams. *ACS omega*, 8(45), 42329-42339. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c04615>
- Wiranata, B., Amijaya, H., **Anggara, F.**, & Tanggara, D. N. (2020). Pengaruh kandungan abu dan zat terbang terhadap maksimum fluiditas batubara formasi tanjung di daerah sekako, kalimantan tengah. *Buletin Sumberdaya Geologi*, 15(2), 117-128. <https://doi.org/10.47599/bsdg.v15i2.242>
- Wiranata, B., Amijaya, H., **Anggara, F.**, & Tanggara, D. N. (2019a). Kualitas Batubara Formasi Tanjung di Daerah Sekako, Kalimantan Tengah. *Jurnal Geosapta*, 5(2), 151-157. <https://doi.org/10.20527/jg.v5i2.6019>
- Wiranata, B., Amijaya, H., **Anggara, F.**, Perdana, A. R., & Fatma, O. (2019b). Total Sulfur and Ash Yield of Tanjung Formation Coal in Sekako, Barito Basin, Central Kalimantan: Implication of Depositional Process. *Journal of Applied Geology*, 4(2), 82-91. <http://dx.doi.org/10.22146/jag.53208>
- World Energy Council. (2022). World Energy Trilemma Index 2022. https://www.worldenergy.org/assets/downloads/World_Energy_Trilemma_Index_2022.pdf?v=1707998024

BIODATA

Nama : Prof. Ferian Anggara
NIP : 198305192012121001
NIDN : 0019058303
Tempat lahir : Jepara
Tanggal lahir : 19 Mei 1983
E-mail : ferian@ugm.ac.id
Alamat Kantor : Departemen Teknik Geologi FT-UGM,
Jl. Grafika No.2, Bulaksumur, Yogyakarta, 55281

Keluarga : Astri Astariani (istri)
Alamat Rumah : Jl. Nusa Indah CT VIII/136 G, Karanggayam,
Sleman 55281

Riwayat Pendidikan

2001-2006 : S.T. Departemen Teknik Geologi,
Universitas Gadjah Mada
2008-2010 : M.Eng. Departemen Teknik Geologi, Universitas
Gadjah Mada
2011-2014 : Dr. Earth Resources Engineering Department,
Kyushu University

Beasiswa/Fellowship

1. SAME Dikti, The University of Queensland (2022)
2. Japanese Government (Monbukagakusho: MEXT) Scholarship (2011-2014)
3. Green Asia, Kyushu University (2013-2014)
4. GCOE, Kyushu University (2011-2013)
5. Japan-East Asia Network of Exchange for Students and Youths (JENESYS) Program supporting by Japan Student Services Organization (JASSO) (2010-2011)
6. Friendship Scholarship, Kyushu University (2009-2010)
7. Indonesian Government Scholarship (2008-2010)
8. PT. Medco Energy Scholarship (2003-2005)

Riwayat kerja

- 2021 – sekarang** : Ketua Program Studi Doktor Teknik Geologi, Departemen Teknik Geologi, FT-UGM
- 2019 – sekarang** : Ketua Pusat Kajian Sumberdaya Bumi Non-Konvensional, FT-UGM
- 2019 – 2021** : Kepala Laboratorium Geokimia, Departemen Teknik Geologi, FT-UGM
- 2009 – sekarang** : Dosen dan Peneliti, Departemen Teknik Geologi, FT-UGM
- 2006 – 2008** : *Coal Geologist*, PT. Kaltim Prima Coal

Penelitian dan kerja sama 5 tahun terakhir dengan topik batubara (sebagai ketua peneliti)

Tahun	Topik	Lembaga
2024-2025	Ekstraksi asam humat dari batubara IUP Peranap	PT. Bukit Asam
2024-2025	Studi LTJ di batubara IUP Tanjung Enim dan FABA Sumsel 8	PT. Bukit Asam
2023-2026	<i>Resource recovery and soil rehabilitation</i>	Inspirasi LPDP-NTU
2023	Pemetaan sumberdaya IUP Ombilin dan Peranap	PT. Bukit Asam
2023	Ekstraksi asam humat dari batubara peringkat rendah	MF Kedaireka
2022	Ekstraksi LTJ dari FABA: Upaya PNT dan Aplikasi Konsep <i>Circular Economy</i>	MF Kedaireka
2021-2022	Studi LTJ di batubara IUP Tanjung Enim area Bangko Tengah	PT. Bukit Asam
2019-sekarang	PNT Batubara (LTJ dan Agroindustri)	PSDMBP, BG-KESDM
2019	Pemetaan sumberdaya IUP Tanjung Enim area Bangko Tengah	PT. Bukit Asam
2018-2019	Pemetaan LTJ dan pemanfaatan FABA IUP Tanjung Enim	PT. Bukit Asam
2018-2019	Survey geofisika IUP Tanjung Enim	PT. Bukit Asam

Publikasi terpilih (*peer-reviewed articles*) terkait dengan topik batubara 5 tahun terakhir:

1. **Anggara, F.**, Amijaya, D.H., Harijoko, A., Tambaria, T.N., Sahri, A.A., & Asa, Z.A.N. (2018). Rare earth element and yttrium content of coal in the Banko coalfield, South Sumatra Basin, Indonesia: Contributions from tonstein layers. *International Journal of Coal Geology*, 196, 159-172. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2018.07.006>
2. **Anggara, F.**, Petrus, H. T., Patria, A. A., & Bangun, A. S. V. (2020). Preliminary study of rare earth element and yttrium (REY) content of coal in Sangatta Coalfield, East Kalimantan, Indonesia. *Indonesian Journal on Geoscience*, 7(3), 305-314. <https://doi.org/10.17014/ijog.7.3.305-314>
3. **Anggara, F.**, Muchitawati, G. S., Moore, T. A., & Septantia, A. (2021). Spatial variability in macro-and microtextures of a tropical intermontane peatland: preliminary investigation into the kutai lake peat system, East Kalimantan, Indonesia. *Indonesian Journal on Geoscience*, 8(2), 275-296. <https://doi.org/10.17014/IJOG.8.2.275-296>
4. **Anggara, F.**, Patria, A. A., Rahmat, B., Wibisono, H., Putera, M. Z. J., Petrus, H. T. B. M., & Amijaya, D. H. (2024). Signature characteristics of coal geochemistry from the Eocene Tanjung Formation and the Miocene Warukin Formation, Barito Basin: Insights into geological control on coal deposition and future critical element prospection. *International Journal of Coal Geology*, 282, 104423. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2023.104423>
5. Besari, D. A. A., **Anggara, F.**, Widya, R., & Petrus, H. T. B. M. (2022). Characterization and mode of occurrence of rare earth elements and yttrium in fly and bottom ash from coal-fired power plants in java, indonesia. *International Journal of Coal Science & Technology*, 9(1). <https://doi.org/10.1007/s40789-022-00476-2>
6. Moore, T. A., Friederich, M. C., Trofimovs, J., **Anggara, F.**, & Amijaya, D. H. (2020). Syn-sedimentary mafic volcanics in the eocene coal-bearing tanjung formation, Senakin Peninsula, South

- Kalimantan (Borneo), Indonesia. *Indonesian Journal on Geoscience*, 7(1), 65-85. <https://doi.org/10.17014/ijog.7.1.65-85>
7. Murphy, D., Moore, T. A., Amijaya, D. H., **Anggara, F.**, Friederich, M., Gaina, C., Trofimovs, J., Dalton, H. & Ominigbo, E. (2024). Constraints from lamprophyre petrogenesis on the timing of Eocene lithospheric thinning and associated rifting of Borneo and Sulawesi. *Journal of Asian Earth Sciences*, 260, 105952. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2023.105952>
 8. Natawijaya, M. A., Sugai, Y., & **Anggara, F.** (2020). CO₂ microbubble colloidal gas aphrons for EOR application: the generation using porous filter, diameter size analysis and gas blocking impact on sweep efficiency. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 10, 103-113. <https://doi.org/10.1007/s13202-019-0680-3>
 9. Ootoshi, A., Sasaki, K., & **Anggara, F.** (2022). Screening of UCG chemical reactions and numerical simulation up-scaling of coal seam from laboratory models. *Combustion Theory and Modelling*, 26(1), 25-49. <https://doi.org/10.1080/13647830.2021.1984584>
 10. Patria, A. A., & **Anggara, F.** (2022). Microfacies and depositional environment of the Eocene Sawahlunto Coal, Ombilin Basin, Indonesia. *The Iraqi Geological Journal*, 55(1), 128-146. <https://doi.org/10.46717/igj.55.1E.11Ms-2022-05-27>
 11. Patria, A. A., & **Anggara, F.** (2022). Petrological, mineralogical, and geochemical compositions of coal in the Ombilin Basin, West Sumatra, Indonesia. *International Journal of Coal Geology*, 262, 104099. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2022.104099>
 12. Patria, A. A., Suhendra, R., **Anggara, F.**, Agangi, A., Obrochta, S. P., & Setiawan, I. (2024). Association and textural-compositional evolution of pyrite-organic matter in coals of the Tarakan, Barito, and Pasir Basins, Kalimantan, Indonesia. *International Journal of Coal Geology*, 282, 104442. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2023.104442>
 13. Petrus H.T.B.M., Fairuz F.I., Sa'dan N., Olvianas M., Astuti W., Jenie S.N.A., Setiawan F.A., **Anggara F.**, Ekaputri J.J., & Made Bendiyasa I. (2022). Corrigendum to green geopolymer cement

- with dry activator from geothermal sludge and sodium hydroxide *Journal of Cleaner Production*, 293, 131034. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126143>
14. Petrus, H. T. B. M., Olvianas, M., Suprpta, W., Setiawan, F. A., Prasetya, A., & **Anggara, F.** (2020). Cenospheres characterization from Indonesian coal-fired power plant fly ash and their potential utilization. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5), 104116. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104116>
 15. Petrus, H.T.B.M., Fairuz, F.I., Sa'dan, N., Olvianas, M., Astuti, W., Jenie, S.A., Setiawan, F.A., **Anggara, F.**, Ekaputri, J.J. & Bendiyasa, I.M., (2021). Green geopolymer cement with dry activator from geothermal sludge and sodium hydroxide. *Journal of Cleaner Production*, 293, 126143. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126143>
 16. Petrus, H.T.B.M., Olvianas, M., Shafiyurrahman, M.F., Pratama, I.G.A.A.N., Jenie, S.N.A., Astuti, W., Nurpratama, M.I., Ekaputri, J.J. & **Anggara, F.** (2022). Circular economy of coal fly ash and silica geothermal for green geopolymer: characteristic and kinetic study. *Gels*, 8(4), 233. <https://doi.org/10.3390/gels8040233>
 17. Prihutami, P., Prasetya, A., Sediawan, W. B., Petrus, H. T. B. M., & **Anggara, F.** (2021). Study on rare earth elements leaching from magnetic coal fly ash by citric acid. *Journal of Sustainable Metallurgy*, 7(3), 1241-1253. <http://dx.doi.org/10.1007/s40831-021-00414-7>
 18. Riasetiawan, M., **Anggara, F.**, & Syahra, V. (2022). Implementing the calculations and characterization of underground coal gasification using data analytic method. *Civil Engineering Journal*, 7, 171-181. <https://doi.org/10.28991/CEJ-SP2021-07-012>
 19. Riasetiawan, M., **Anggara, F.**, Syahra, V., Ashari, A., Prastowo, B. N., Kusumawardani, I. C., & Wahyu, P. (2023). Coal rank data analytic for ASTM and PSDBMP classification. *International Journal of Innovative Research and Scientific Studies*, 6(2), 374–380. <https://doi.org/10.53894/ijirss.v6i2.1469>
 20. Rosita, W., Bendiyasa, I. M., Perdana, I., & **Anggara, F.** (2020). Sequential particle-size and magnetic separation for enrichment of rare-earth elements and yttrium in Indonesia coal fly ash. *Journal*

of Environmental Chemical Engineering, 8(1), 103575. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103575>

21. Rosita, W., Perdana, I., Bendiyasa, I. M., **Anggara, F.**, Petrus, H. T. B. M., Prasetyo, A., & Rodliyah, I. (2023). Sequential alkaline-organic acid leaching process to enhance the recovery of rare earth elements from Indonesian coal fly ash. *Journal of Environmental of Environmental Chemical Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jre.2023.09.001>
22. Tambaria, T. N., Sugai, Y., & **Anggara, F.** (2023). Examination of the factors inhibiting CO₂ adsorption on coal: a case study from shallow-depth low-rank coal seams. *ACS omega*, 8(45), 42329-42339. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c04615>
23. Tambaria, T. N., Sugai, Y., & **Anggara, F.** (2023). Experimental measurements of CO₂ adsorption on Indonesian low-rank coals under various conditions. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 13(3), 813-826. <https://doi.org/10.1007/s13202-022-01569-z>

List Publikasi dan Patent:

Scopus id:
55223995900



SINTA id:
44207



Google id:
bCmTBpkAAAAJ&hl

