

Teknologi Peningkatan Kualitas Batubara Kalori Rendah: Kajian pada Proses Blending, Drying, Cleaning dan Briket

Annisa Vada Febriani¹, Farrah Fadhilah Hanum^{1*}, Zahrul Mufrodi¹, Aster Rahayu¹ dan Budi Setya Whardana¹

¹Magister Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan,
Jl. Ringroad Selatan, Kragilan, Tamanan, Kec. Banguntapan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta 55191.
lfarrah.hanum@che.uad.ac.id

Riwayat Artikel

Received: 20 Februari 2025 | Final Revision: 30 September 2025 | Accepted: 30 Desember 2025

Abstrak — Batubara merupakan salah satu sumber energi yang banyak digunakan di berbagai sektor industri, khususnya di Indonesia yang memiliki cadangan batubara melimpah. Namun, sebagian besar cadangan batubara di Indonesia berkualitas rendah (Low Rank Coal/LRC), yang memiliki kelemahan seperti kadar air tinggi dan nilai kalor yang rendah. Pengolahan batubara berkualitas rendah melalui berbagai teknologi upgrading menjadi penting untuk meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi dampak lingkungan. Review ini membahas beberapa teknologi utama dalam peningkatan kualitas batubara, seperti coal blending, coal drying, coal cleaning, serta produksi briket batubara. Teknologi pencampuran batubara bertujuan untuk menciptakan campuran yang homogen dan meningkatkan kualitas pembakaran. Pengeringan batubara mengurangi kadar air, sehingga meningkatkan efisiensi transportasi dan pembakaran. Pembersihan batubara, baik melalui metode kering maupun basah, menghilangkan kotoran dan meningkatkan nilai kalor. Selain itu, teknologi pembuatan briket batubara juga dikembangkan untuk meningkatkan nilai ekonomis dan efisiensi penggunaan batubara. Dengan optimalisasi teknologi peningkatan kualitas ini, diharapkan pemanfaatan cadangan batubara LRC di Indonesia dapat lebih efisien, mendukung kebutuhan energi nasional, serta mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan sesuai program kementerian ESDM.

Kata Kunci— Batubara; Teknologi; LRC; Peningkatan; Kalori rendah

I. PENDAHULUAN

Energi menjadi bagian penting dalam perkembangan industri dan kehidupan sehari-hari. Salah satu sumber energi penting yang digunakan sejak lama adalah batubara. Batubara menjadi salah satu sumber energi yang tidak dapat diperbaharui karena batubara terbentuk dari penimbunan sisa-sisa organisme yang telah mati, seperti tumbuhan, yang terkubur dalam kondisi tanpa oksigen di dasar danau atau lapisan sedimen halus. Proses pembentukan batu bara membutuhkan waktu jutaan tahun, di mana material organik yang tertimbun tersebut terekspos pada suhu dan tekanan tinggi, mengalami perubahan kimia yang meningkatkan kandungan karbonnya hingga melebihi 50%. Selain itu batubara juga berperan penting sebagai bahan bakar dalam produksi listrik, panas, dan tenaga untuk berbagai kebutuhan. Meskipun terdapat banyak jenis batubara, namun nilai kalori seringkali menjadi fokus utama dalam mengevaluasi efisiensi dan keekonomian penggunaannya [1], [2], [3].

Saat ini batubara yang melimpah di Indonesia banyak dimanfaatkan dalam industri karena batubara merupakan endapan batuan organik yang mudah terbakar yang komponen utamanya adalah karbon, hidrogen, dan oksigen [4]. Pada tahun 2020, menurut Departemen Mineral dan Batubara Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, ketersediaan batubara Indonesia pada akhir tahun sebesar 143,43 miliar ton dan cadangan batubara sebesar 38,80 miliar ton. Cadangan batubara rendah sebesar 13,38 miliar ton atau sekitar 34,4% dari total cadangan, dan cadangan batubara menengah sebesar 21,88 miliar ton atau sekitar 56,4% dari total cadangan. Cadangan batubara Indonesia sebagian besar terkonsentrasi di Pulau Sumatera dan Kalimantan. Cadangan batubara darat di Sumatera berjumlah 56 miliar ton dan Kalimantan 92 miliar ton, mencakup 38% dan 62% total cadangan batubara Indonesia. Cadangan batubara darat di Sumatera dan Kalimantan menyumbang 34% dan 39% dari total cadangan batubara Indonesia, masing-masing sebesar 12 miliar ton dan 14 miliar ton [5].

Berdasarkan **Tabel. 1** batubara Indonesia sebagian besar merupakan batubara kalori sedang dan kalori rendah. Batubara berkualitas rendah, yang dikenal sebagai *Low Rank Coal* (LRC), memiliki nilai kalori ≤ 5100 kcal/kg. Batubara dengan

kualitas sedang memiliki nilai kalori 5100-6100 kcal/kg, kualitas tinggi 6100-7100 kcal/kg, dan kualitas sangat tinggi lebih dari 7100 kcal/kg. LRC dianggap sebagai bahan bakar dengan kualitas rendah untuk pembakaran karena mengandung banyak mineral, memiliki kadar air yang tinggi, dan nilai kalorinya rendah. *Lignit* dan *sub-bituminus* yang termasuk LRC, memiliki komposisi dan struktur molekul yang berbeda, yang dipengaruhi tidak hanya oleh tingkat batubara tetapi juga oleh karakteristik wilayah geologi [6].

Tabel. 1 Jumlah Cadangan Batubara Indonesia [6]

Kualitas	Sumber daya (Jt Ton) terverifikasi	Cadangan (Jt Ton) terverifikasi
Kalori rendah	22.942,93	8.914,00
Kalori sedang	55.435,17	14.761,21
Kalori tinggi	11.250,32	1.593,88
Kalori sangat tinggi	2.449,70	558,25
Jumlah	92.078,11	25.827,34

Cadangan batubara kualitas rendah yang besar ini menunjukkan perlunya teknik pengolahan atau benefisiasi batubara untuk meningkatkan kualitas batubara [7]. Meningkatkan nilai kalori batubara membantu mengurangi emisi CO₂ yang dilepaskan selama pembakaran batubara dan mengurangi kemungkinan terjadinya pembakaran sendiri selama pengangkutan. Teknologi yang bertujuan untuk meningkatkan nilai kalori batubara merupakan aspek penting untuk mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya alam tersebut. Nilai kalori dapat ditingkatkan dengan berbagai cara dan teknologi terkini. Hal ini tidak hanya meningkatkan efisiensi penggunaan batubara, namun juga dapat mengurangi dampak pembakaran terhadap lingkungan [8], [9], [10], [11].

Teknologi *upgrading* batubara merupakan suatu metode peningkatan kualitas atau pemanfaatan batubara *low rank*. Sehingga tujuan dari *review paper* ini adalah memberikan informasi mengenai berbagai teknologi *upgrading* batubara yang pernah dilakukan dengan menggunakan berbagai metode pada prosesnya sehingga nantinya dapat menjadi panduan atau referensi dalam pengimplementasian di industri. Selain itu hal ini juga sejalan dengan program pengembangan dan pemanfaatan ditetapkan oleh Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Indonesia tahun 2020.

II. METODELOGI PENELITIAN

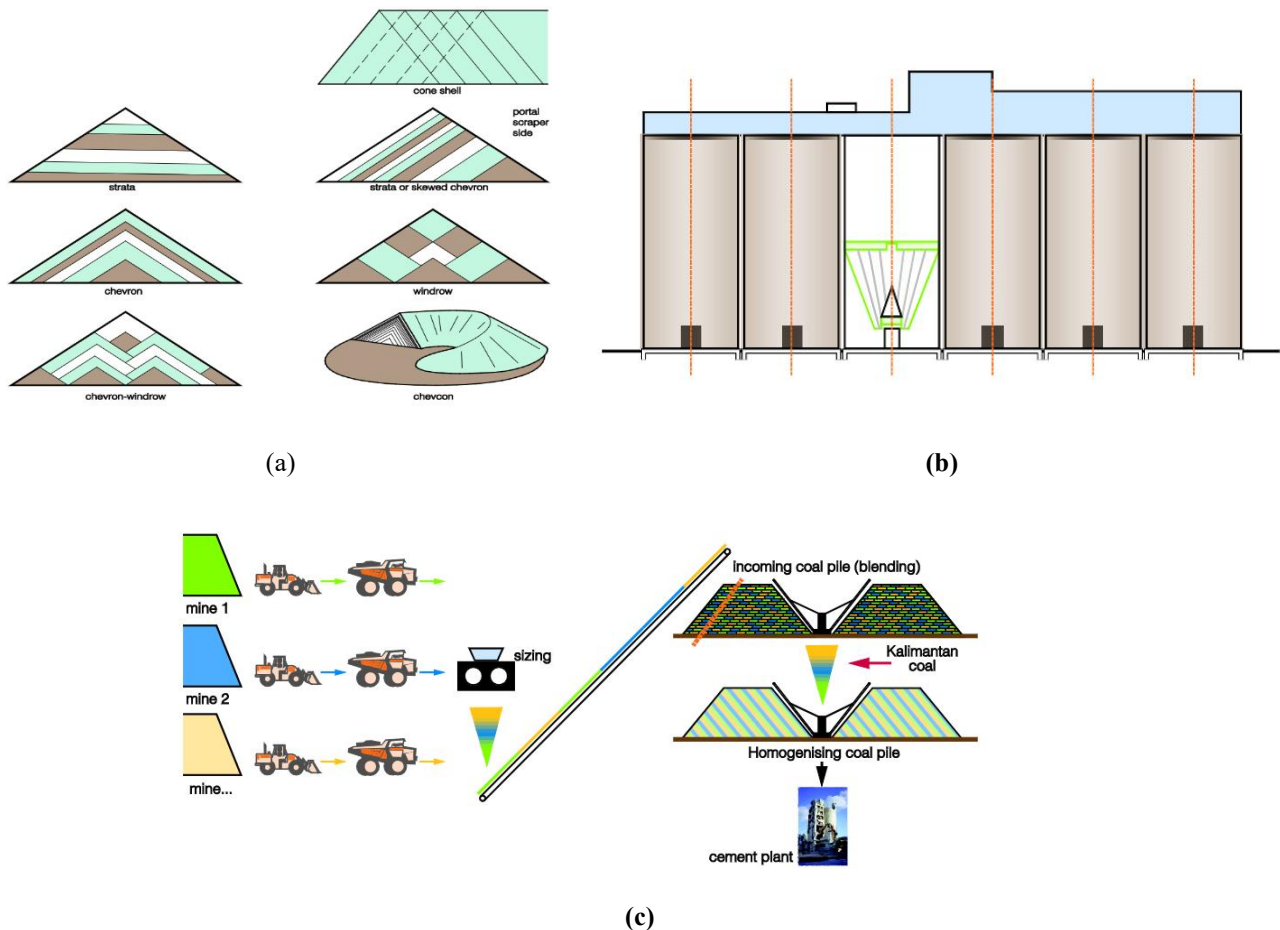
Metodologi penelitian dalam *review paper* ini didesain dengan studi literatur dengan mengumpulkan, mengidentifikasi dan membandingkan jurnal-jurnal penelitian yang dicari menggunakan *Google Search*, *Google Scholar* maupun *website* jurnal terkait yang berupa jurnal internasional, jurnal nasional terindeks sinta dengan topik teknologi-teknologi pemanfaatan batubara kualitas rendah atau LRC. Kemudian menentukan kata kunci yang digunakan yaitu batubara, teknologi, LRC, *Upgrading* dan kualitas rendah dengan kisaran jurnal tahun 2015-2024 dan terdapat juga beberapa jurnal tahun 1990-an.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Coal Blending

Coal Blending (Pencampuran Batubara) adalah penggabungan atau penumpukan bahan (batubara dengan kadar berbeda) secara simultan dan kontinyu selama jangka waktu tertentu, yang komposisinya dianggap tetap dan dapat dikendalikan (parameter mutu). Dalam pencampuran batubara kualitas rendah diperlukan pertimbangan parameter kualitas fisik, kimia, dan mekanik batubara. Parameter kualitas ini menjadi dasar desain campuran untuk hasil yang optimal [12]. Teknik pencampuran batubara yang umum adalah penumpukan stok dan teknik pengendalian kecepatan batubara dengan konveyor. *Coal blending* yang dilakukan di tambang/lapangan sering kurang optimal sehingga hasil tidak sesuai target atau menurunnya nilai kalori batubara itu sendiri. Hal ini disebabkan karena perbandingan jumlah massa batubara yang dicampur tidak proporsional, sehingga nilai kalori yang diperoleh lebih rendah dari target yang diminta konsumen [13]. Pada teknik penumpukan diperoleh campuran batubara yang homogen, bila cara penempatan lapisan tumpukan batubara dilakukan dengan baik. Karena semakin banyak dan tipis lapisan penumpukan, semakin baik pulahasil yang didapat [14]. Menurut Sloss 2014, Pencampuran batubara dapat dilakukan dengan beberapa cara mulai dari penimbunan sederhana yang

terkoordinasi hingga metode yang lebih canggih dan menantang secara teknis. Metode yang digunakan akan tergantung pada biaya, ruang yang tersedia dan jumlah pencampuran yang diperlukan. Penimbunan sederhana dalam bentuk lapisan menggabungkan penyimpanan batubara dengan pencampuran. Dengan menyusun batu bara secara berlapis-lapis, batu bara dapat diambil dengan cara yang menghasilkan campuran yang dibutuhkan (**Gambar 1a**). Batubara dalam silo atau bunker dapat dicampur dengan mengendalikan laju penurunan batubara dari tempat penyimpanan ke konveyor yang mungkin sudah berisi batubara dari tempat penyimpanan atau penimbunan yang terpisah (**Gambar 1b**). Pergerakan sistem yang mengambil kembali batu bara dari tumpukan atau tempat sampah memberikan beberapa tindakan pencampuran. Pencampuran lebih lanjut dapat dilakukan dengan getaran atau pengikisan selama proses pengumpulan. Jika homogenisasi yang benar diperlukan, maka teknologi pencampuran yang lebih canggih dapat digunakan (**Gambar 1c**) [15].

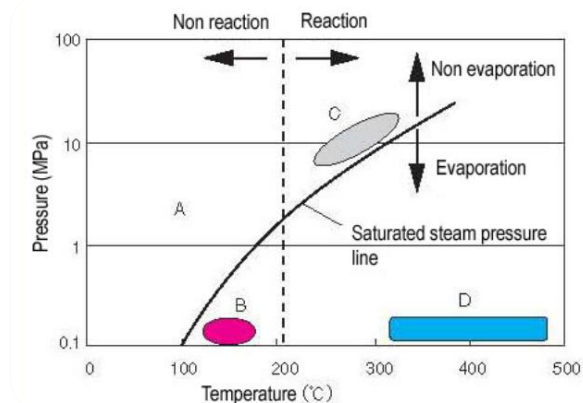


Gambar. 1 Beberapa metode coal blending: (a) Stacking methods; (b) Coal blending from silos; (c) Homogenising coal piles

Perkembangan pencampuran terutama terlihat di negara-negara penghasil/pengekspor batubara seperti Australia, Afrika Selatan dan negara-negara pengimpor Batubara seperti Belanda. Salah satu alasan utama dilakukannya pencampuran batubara kualitas rendah secara komersial adalah untuk memenuhi spesifikasi dengan memadukan batubara inferior dan batubara superior untuk memaksimalkan volume batubara yang dapat dijual berdasarkan kontrak. [16]. Keuntungan spesifik dari pencampuran batubara diantaranya ialah (i) mengurangi biaya bahan bakar, (ii) mengendalikan batas emisi, (iii) meningkatkan bahan bakar fleksibilitas bahan bakar dan memperluas jangkauan batubara yang dapat diterima, (iv) menyediakan produk yang seragam dari batubara dengan kualitas yang berbeda-beda, dan (v) memecahkan masalah yang ada, seperti pembakaran karbon yang buruk, slagging, dan pengotoran, serta meningkatkan kinerja boiler [17].

B. Coal drying

LRC memiliki keunggulan tertentu dibandingkan batubara hitam (*antrasit*). Diantaranya, yang paling menonjol adalah biaya penambangan yang rendah, reaktivitas yang tinggi, jumlah zat yang mudah menguap yang tinggi, dan rendahnya jumlah pengotor pembentuk polusi seperti belerang, nitrogen, dan logam berat. Kadar air yang tinggi menjadikan pengeringan LRC sebagai komponen penting dalam setiap proses peningkatan atau pemanfaatan. Misalnya, pengeringan LRC dapat menghemat biaya transportasi [18]. Biaya yang diperlukan untuk mengeringkan LRC merupakan pertimbangan penting lainnya. Dalam upaya meningkatkan bahan bakar yang bernilai relatif rendah, kajian tekno-ekonomis yang komprehensif harus dilakukan terlebih dahulu untuk memastikan bahwa biaya efektif produksi LRC kering tidak melebihi nilai pasar batubara komersial dengan nilai kalori yang sama. Meskipun terdapat banyak pengering skala komersial, tidak semuanya cocok untuk mengeringkan LRC. Keberagaman sifat LRC yang ditemukan di seluruh dunia mengharuskan pengering LRC disesuaikan dengan sifat sebagian besar LRC tertentu untuk memastikan kinerja pengering yang optimal. Kandungan kelembaban LRC serta sifat-sifat lainnya bervariasi dalam rentang yang luas tergantung pada asal usulnya. Oleh karena itu, pilihan pengering untuk aplikasi LRC tidaklah universal [19], [20], [21], [22].



Gambar. 2 Pengaruh suhu dan tekanan terhadap teknologi pengeringan batubara

Teknologi pengeringan dan reformasi dapat diklasifikasikan menjadi empat jenis, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2**, bergantung pada metode pemrosesan dan kondisi pemrosesan. Batubara seperti batubara coklat mengalami reaksi dekomposisi pada suhu sekitar 200°C, sehingga dapat diklasifikasikan menjadi tipe reaktif di atas 200°C dan tipe non-reaktif di bawah 200°C. Selain itu, air menguap di bawah tekanan uap jenuh, yang berhubungan dengan penguapan air, dan tidak menguap di atas tekanan uap jenuh, sehingga dapat dibagi menjadi empat wilayah A sampai D berdasarkan garis-garis terkait tersebut yaitu mekanis (A), evaporatif (B), non-evaporatif (C) dan pirolisis (D) [23], [24].

1. Mekanis

Prosesnya ini terjadi pada suhu rendah dan tekanan tinggi serta menggunakan metode dehidrasi mekanis. Karena air tidak dapat sepenuhnya dihilangkan dari batubara hanya dengan tekanan, perlakuan panas juga dilakukan pada saat yang bersamaan untuk meningkatkan efisiensi pembuangan air. Selain tekanan, beberapa proses memerlukan proses lebih lanjut, khususnya penggilingan, yang bertujuan untuk memperkecil ukuran pori lignit dan mengontrol reabsorpsi air. Contohnya adalah proses *Ekspresi Termal Mekanis* atau *MTE* dan proses *Coldly* [23].

2. Evaporasi

Dalam proses evaporasi, Batubara dipanaskan pada suhu kurang dari 200 °C. Berdasarkan jenis kontak antara batubara coklat dan media pemanas Metode ini dapat dibagi menjadi 2 yaitu metode pemanasan tidak langsung seperti pengering tabung uap (*steam tube dryer*) dan metode pemanasan langsung seperti dehidrasi unggun terfluidisasi uap (*vapor fluidized bed dehydration*) dan pemanasan instan (*flash heating*). Proses ini terjadi tanpa adanya reaksi kimia [25]. Berbagai metode pengolahan batubara dengan menggunakan proses evaporasi telah dikembangkan. Sebagian besar metode merupakan proses bersuhu rendah yang menggunakan gas buang panas. Dalam semua kasus, kelembaban produk akhir bergantung pada ukuran umpan dan waktu tinggal pada suhu. karena kekuatan yang melekat pada LRC berkurang secara signifikan ketika struktur seperti gelnya dihancurkan melalui pengeringan, LRC yang dikeringkan akan menyusut dengan cepat, menghasilkan banyak debu, sekaligus meningkatkan kerentanannya terhadap pembakaran spontan atau ledakan [18].

3. Non-evaporasi

Proses ini dilakukan di atas tekanan uap jenuh dan menghilangkan air tanpa menguapkannya, sehingga lebih hemat energi dibandingkan metode evaporasi. Dalam proses terjadi penghilangan beberapa kation, terutama Na, yang terdapat dalam batubara secara menguntungkan. Namun, karena dilakukan pada suhu dan tekanan tinggi, sebagian batubara

dapat terurai dan biaya peralatan yang digunakan dapat meningkat [23], [24]. Beberapa metode *upgrading* batubara yang biasa digunakan diantaranya ialah *Fleissner*, *Dewatering Hidrotermal (HTD)*, *Heat Water Treatment (HWT)* dan *K-Fuel*

4. Pirolisis

Proses bersuhu lebih tinggi, biasanya disebut sebagai karbonisasi, pirolisis, atau proses gasifikasi ringan yang menghasilkan berbagai produk yang ditingkatkan termasuk arang, cairan batubara, dan gas. Beberapa metode yang menggunakan prinsip pirolisis diantaranya ialah *ENCOAL* dan *BCD (Brown Coal Densification)* [18].

C. Coal Cleaning

Pembersihan batubara biasanya diterapkan pada batubara pengukusan dan batubara metalurgi untuk ekspor, dimana peningkatan nilai produk, penurunan tarif pengangkutan, dan pengurangan biaya pembuangan abu membenarkan biaya pembersihan. Untuk penggunaan lokal, batubara dengan kadar abu tinggi umumnya dikonsumsi di pembangkit listrik lokal tanpa pembersihan yang signifikan. Ada dua jenis utama pembersihan batubara, yaitu (i) *Dry cleaning of coals* dan (ii) *Wet cleaning of coals*. Sejumlah pro dan kontra terhadap pembersihan batubara secara kering atau basah telah diberikan, termasuk terbatasnya ketersediaan air di beberapa tambang dan masalah kesehatan yang disebabkan oleh pembersihan kering [10], [26].

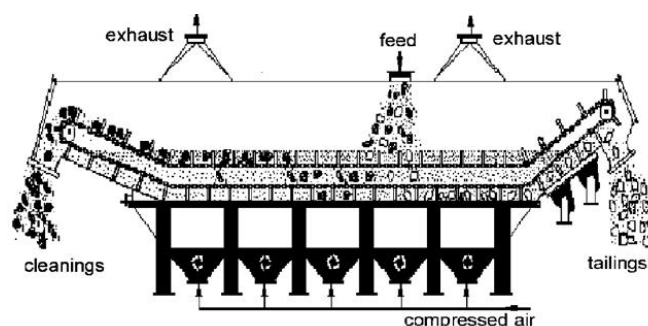
1. Dry cleaning of coals

Metode pembersihan batubara kering dilakukan sesuai dengan perbedaan sifat fisik antara batubara dan sampah, seperti kepadatan, ukuran, bentuk, kilau, konduktivitas magnetik, konduktivitas listrik, radioaktivitas, koefisien gesekan, dll. Secara umum, teknologi pembersihan batubara kering yang telah diselidiki dan/atau dilaporkan oleh berbagai peneliti sebagai berikut: [27].

Aerodynamic classifiers adalah Pemisah aerodinamis beroperasi berdasarkan prinsip memisahkan umpan material berukuran menurut kepadatan relatifnya dengan memasukkan material ke dalam terowongan angin. Partikel-partikel penolakan yang berat memerlukan lintasan yang lebih pendek, dan partikel-partikel batubara yang lebih ringan memerlukan lintasan yang lebih panjang, sehingga partikel-partikel tersebut dapat dikumpulkan dalam hopper terpisah. Bahan umpan harus berukuran hampir sama, artinya sejumlah pengklasifikasi diperlukan untuk beroperasi secara paralel pada ukuran yang berbeda. Udara buangan dalam fraksi halus dibersihkan melalui siklon dan pengumpul debu. Permasalahan yang diperkirakan dalam proses ini adalah penyaringan batubara umpan ke dalam beberapa ukuran dan menangani sejumlah bahan umpan dan produk yang berukuran hampir sama. Pengendalian, pengumpulan, dan pembuangan debu juga dapat menimbulkan beberapa kesulitan [28].

Electrostatic separators adalah metode pembersihan batubara dengan memanfaatkan perbedaan muatan listrik antara batubara dan pengotor. Metode ini bekerja dengan cara batubara dan pengotor dilewatkan melalui suatu medan listrik, sehingga batubara akan tertarik ke elektrode negatif dan pengotor akan tertarik ke elektrode positif [28].

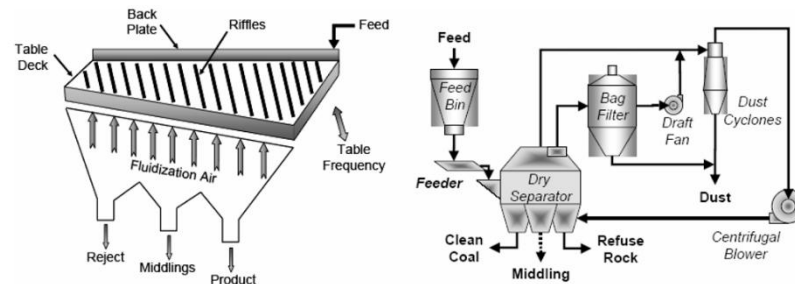
Air-dense medium fluidized bed adalah Benefisiasi batubara kering dengan gas-fluidized bed, yang disebut sebagai media padat udara, dapat diurutkan sebagai konsentrasi media padat kering. Melalui suspensi gas-padat sebagai media benefisiasi, material ringan dan berat dipisahkan satu sama lain dalam unggun terfluidisasi sesuai dengan perbedaan kepadatannya. Biaya modal dan operasionalnya lebih rendah dibandingkan pabrik pembersihan basah dengan kapasitas yang sama karena penghapusan sistem pemrosesan bubur batubara yang rumit [29], [30].



Gambar. 3 Skema pemisah *Air-dense medium fluidized bed*

FGX Separators adalah Teknologi pengeringan batubara berbasis fluidisasi lainnya dikenal sebagai FGX dan juga dikembangkan di China. Sistem *dry cleaning* FGX menggunakan prinsip-prinsip pemisahan media autogenous dan konsentrator meja, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4**. Proses pemisahan menghasilkan tiga produk konsentrat,

aliran tengah dan aliran tailing. Dua sistem pengumpulan debu sistem pengumpulan digunakan untuk membersihkan udara daur ulang dan untuk menghilangkan debu dari udara yang dipancarkan ke udara atmosfer. Kompartemen pemisah terdiri dari dek, vibrator, ruang udara dan mekanisme penggantung. Kipas sentrifugal menyediakan udara yang melewati lubang di permukaan dek dengan kecepatan yang cukup untuk mengangkat dan mengalirkan partikel. Partikel ringan diangkat ke pelat belakang pada ketinggian yang lebih tinggi daripada partikel padat. menciptakan lapisan atas partikel yang dikumpulkan di sepanjang meja. Partikel-partikel berat dipaksa oleh keduanya getaran dan bahan makanan baru. Partikel-partikel berat sampai di ujung meja tempat sampah akhir (tailing) berada dikumpulkan [31].



Gambar. 4 Skema dan pengoperasian unit pemisah FGX

2. Wet cleaning of coals

Pembersihan batubara secara basah, adalah metode paling umum dan tradisional untuk menghilangkan pengotor dan mineral tidak diinginkan dari batubara. Metode ini menggunakan air dan sifat fisik seperti perbedaan berat jenis untuk memisahkan batubara dari pengotornya. Sejumlah peneliti telah meneliti pembersihan batubara secara basah dari berbagai sudut pandang, dan beberapa teknologi yang telah digunakan meliputi (i) floatasi buih dan (ii) pemisahan gravitasi yang ditingkatkan [32].

Floatasi buih metode pemisahan dengan suspensi partikel batubara ultra-halus dalam air diangin-anginkan dengan banyak gelembung udara kecil. Partikel-partikel udara hidrofobik melekat pada gelembung-gelembung ini dan terapung pada permukaan suspensi dimana mereka terperangkap dalam buih, yang kemudian disaring. Partikel mineral hidrofilik tertinggal dalam suspensi berair. Bahan pembusa, seperti metil isobutil karbinol (MIBC) atau minyak pinus, ditambahkan untuk menghasilkan buih yang stabil, dan terkadang pengumpul nonpolar, seperti minyak tanah atau bahan bakar minyak, ditambahkan untuk meningkatkan hidrofobisitas batubara. Bubur batubara mengalir dari sel ke sel, dengan beberapa produk dikeluarkan dari sel ke sel. Laju produksi per sel bisa mencapai 35 Mg/jam batubara untuk salah satu sel terbesar. Batubara bitumen dengan tingkat volatilitas rendah dan sedang adalah yang paling mudah terapung, dan batubara dengan peringkat lebih tinggi atau lebih rendah lebih sulit untuk mengapung [33].

Pemisahan gravitasi yang ditingkatkan merupakan pemisah berbasis gravitasi paling efisien yang digunakan untuk pembersihan batubara menggunakan media padat, yang umumnya terdiri dari suspensi berair magnetik ultrahalus. Kepadatan suspensi disesuaikan dengan nilai antara kepadatan batubara dan bahan mineral terkait. Dengan demikian, partikel batubara yang ringan akan mengapung, sedangkan partikel yang berat akan tenggelam [34].

D. Briket Batubara

Briket batubara adalah salah satu jenis produk briket yang partikel padat berbahan dasar batubara dibentuk di bawah tekanan konstan dengan atau tanpa bahan pengikat dan bahan tambahan lainnya. Berdasarkan bahan bakunya briket batubara dibagi menjadi: (a) Briket batubara cetakan (terkarbonasi) adalah jenis briket berbahan baku berupa partikel karbon yang dikarbonisasi (b) Batubara briket tanpa karbonasi adalah jenis briket yang terbuat dari partikel batubara yang tidak berkarbonisasi dan (c) *Bio-coal* adalah campuran batubara dengan biomassa yang telah dihaluskan terlebih dahulu dan dijadikan briket [35].

Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan oleh [36], diketahui bahwa briket batubara terkarbonasi lebih direkomendasikan dari pada briket batubara tanpa karbonasi. Hal ini karena pada briket batubara terkarbonasi memiliki kadar air rendah dan nilai karbon yang tinggi sehingga lebih efektif pada proses pembakaran. Briket batubara yang dikarbonisasi juga memiliki nilai kalori lebih tinggi dari briket batubara tanpa karbonisasi. Sehingga briket ini lebih disarankan untuk digunakan karena memiliki daya bakar yang tinggi serta tidak terindikasi korosi dan kontaminasi.

Saat ini *Bio-coal* sedang dikembangkan oleh Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral untuk *co-firing* pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Dengan tujuan meningkatkan penggunaan energi baru terbarukan (EBT) yaitu biomassa, dengan target pada tahun 2050 penggunaan EBT mencapai 31% dari jumlah

bauran energi nasional. Selain itu pengembangan ini juga mendukung program *Net Zero Emission* (NZE) yang ditargetkan pemerintah Indonesia akan tercapai paling lambat tahun 2060 [35], [37].

E. Perbandingan Teknologi

Dari **Tabel 2** menjelaskan tentang perbandingan berbagai teknologi yang digunakan dalam pengolahan batubara, meliputi pencampuran, pengeringan, pencucian, dan produksi briket yang sudah dijelaskan pada subbab sebelumnya

Tabel. 2 Perbandingan Teknologi Peningkatan batubara kalori rendah

Aspek	<i>Coal blending</i>	<i>Coal Drying</i>	<i>Coal cleaning</i>	Briket Batubara
Teknologi	Penumpukan stok, pengendalian konveyor, silo dan homogenisasi	Mekanis, Evaporasi, Non-evaporasi, Pirolisis	Pencucian kering (<i>Dry cleaning</i>), Pencucian basah (<i>Wet cleaning</i>)	Briket terkarbonasi, briket non-karbonasi, bio-coal
Prinsip Kerja	Pencampuran batubara dengan kualitas berbeda untuk homogenisasi dan peningkatan kualitas	Pengurangan kadar air melalui metode tekanan, panas, atau pirolisis	Pemisahan pengotor dan mineral melalui perbedaan fisik atau kimia	Pemadatan partikel batubara dengan atau tanpa bahan pengikat
Keuntungan	Mengurangi biaya bahan bakar, mengendalikan emisi, meningkatkan fleksibilitas bahan bakar	Mengurangi biaya transportasi, meningkatkan nilai kalor	Meningkatkan nilai produk, mengurangi tarif transportasi	Meningkatkan efisiensi pembakaran, mengurangi korosi, mendukung EBT
Kerugian	Hasil kurang optimal bila pencampuran tidak proporsional	Biaya peralatan tinggi, beberapa metode tidak cocok untuk semua jenis batubara	Masalah kesehatan pada pembersihan kering, ketersediaan air pada pembersihan basah	Biaya pengolahan dan bahan tambahan untuk briket lebih tinggi
Biaya Implementasi	Sedang, bergantung pada metode pencampuran yang digunakan (sederhana hingga canggih)	Tinggi, terutama pada metode non-evaporasi dan pirolisis	Tinggi, terutama untuk metode pencucian basah yang membutuhkan banyak air dan pengolahan limbah	Tinggi, bergantung pada jenis briket yang dibuat dan bahan pengikat yang digunakan
Contoh Metode	<i>Stacking methods ; Coal blending from silos dan Homogenising coal piles</i>	MTE, <i>steam tube dryer</i> , ENCOAL, dll	<i>Aerodynamic classifiers, electrostatic separators</i> dan FGX	Briket terkarbonasi dan <i>bio-coal</i>
Aplikasi di Industri	Digunakan di tambang batubara dan pembangkit listrik	Digunakan pada beberapa industri maupun PLTU	Ekspor batubara dengan nilai tambah, digunakan di PLTU	Penggunaan dalam industri dan pembangkit listrik
Dampak Lingkungan	Rendah, namun dapat mempengaruhi emisi saat pembakaran	Menurunkan emisi CO ₂ dan polusi dari transportasi	Pencemaran air dan tanah jika pembersihan basah tidak diolah dengan baik	Mengurangi emisi CO ₂ jika menggunakan <i>bio-coal</i>

IV. SIMPULAN

Berbagai teknologi peningkatan dan pemanfaatan batubara kalori rendah telah banyak dikembangkan. Dimana teknologi ini bertujuan untuk memaksimalkan penggunaan cadangan batubara kalori rendah. Beberapa teknologi ini cukup menjanjikan untuk dikembangkan di Indonesia maupun negara lainnya menyesuaikan kepada karakteristik batubara dan kebutuhan. Namun implementasi dari teknologi ini masih belum terealisasi secara memadai yang tentunya disesuaikan kembali pada biaya dan kebutuhannya. Oleh karena mengingat jumlah cadangan batubara kualitas rendah cukup melimpah di Indonesia, maka penting untuk mengintensifkan upaya agar batubara tersebut dapat digunakan dengan cara yang dapat diterima dalam hal efisiensi energi dan perlindungan lingkungan sesuai dengan program kementerian ESDM.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Hilmi And A. Maria Ulfa, “Nomor 2 (Maret) 2021. Hal.”
- [2] E. Sibatuara And V. W. S. Soemarwi, “Dampak Pengelolaan Sumber Daya Alam Mineral Dan Batubara Di Indonesia,” *Jurnal Serina Penelitian*, Vol. 1, No. 1, Pp. 315–320, 2023, Doi: 10.24912/Jssh.V1i1.24564.
- [3] R. Pahlevi, S. Thamrin, I. Ahmad, And F. B. Nugroho, “Masa Depan Pemanfaatan Batubara Sebagai Sumber Energi Di Indonesia,” *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, Vol. 5, No. 2, Pp. 50–60, 2024.
- [4] D. Jaya, W. Widayati, R. Y. Mustika, H. Nur, And A. Suwardi, “Peningkatkan Kualitas Tailing Batubara Dengan Metode Flotasi Menggunakan Biosurfaktan Dari Lerak (Sapindusarak De Candole),” 2020. [Online]. Available: [Http://www.Coal.Ca](http://www.Coal.Ca);
- [5] K. Energi, S. Daya, M. Direktorat, J. Mineral, And D. Batubara, “Road Map Pengembangan Dan Pemanfaatan Batubara.”
- [6] A. V. Febriani, F. F. Hanum, J. Kuncara, And M. Setyawan, “Optimalisasi Mutu Batubara Indonesia: Kajian Metode Dan Potensi Dalam Peningkatan Nilai Kalor Batubara,” *Eksergi*, Vol. 21, No. 2, Pp. 70–76, 2024.
- [7] E. Yustanti, “Pencampuran Batubara Coking Dengan Batubara Lignite Hasil Karbonisasi Sebagai Bahan Pembuatan Kokas,” 2012.
- [8] “163-304-1-Sm”.
- [9] F. H. Hanum, I. Hapsauqi, S. Jamilatun, And J. Nirmalasari, “Comparative Analysis Of Coal Quality Across Various Coal Basins In Sumatra: A Case Study Of Calorific Value, Moisture Content, And Sulfur Content,” *Indonesian Journal Of Chemical Research*, Vol. 12, No. 1, Pp. 64–70, 2024.
- [10] F. F. Hanum, S. Salamah, A. R. Sanuhung, And B. S. Wardhana, “Study On The Potential Contamination Of Heavy Metals: Analysis Of Cr And Pb Contents From Power Plants In Indonesia Using The Batch Leaching Method,” *Jurnal Sains Natural*, Vol. 14, No. 1, Pp. 53–61, 2024.
- [11] M. Agil Fadhili, “Analisis Pengaruh Perubahan Nilai Total Moisture, Ash Content Dan Total Sulphur Terhadap Nilai Kalori Batubara Bb-50 Di Tambang Banko Barat Pt. Bukit Asam, Tbk. Tanjung Enim Sumatera Selatan,” *Jurnal Bina Tambang*, Vol. 4, No. 3.
- [12] D. Syurdilah, A. Rahman, H. A. Hak, And J. T. Pertambangan, “Evaluasi Penyebab Tidak Tercapainya Kualitas Blending Batubara Di Banko Barat Pt Bukit Asam (Persero) Tbk. Tanjung Enim Sumatra Selatan Evaluation Of Causes Not Achieve The Coal Blending Quality In Banko Barat Pt Bukit Asam (Persero) Tbk. Tanjung Enim South Sumatra,” 2017.
- [13] “9668-23405-1-Pb”.
- [14] C. Ryan Pangestu, D. W. Poetranto, H. Suharyadi, D. Herniti, J. Teknik Pertambangan, And F. Teknologi Mineral, “Pencampuran Batubara Beda Kualitas Untuk Memenuhi Permintaan Konsumen Di Pt. Kaltim Prima Coal, Provinsi Kalimantan Timur.”
- [15] L. L. Sloss, “Blending Of Coals To Meet Power Station Requirements,” *Iea Clean Coal Centre*, Vol. 300, P. 238, 2014.
- [16] M. Yörükoğlu, M. Eng, And G. Tarihi, “Coal Blending For Thermal Power Stations Termik Santrallar İçin Kömür Harmanlama,” 2017.
- [17] M. Z. S. M. Zaid, M. A. Wahid, M. Mailah, M. A. Mazlan, And A. Saat, “Coal Fired Power Plant: A Review On Coal Blending And Emission Issues,” In *Aip Conference Proceedings*, American Institute Of Physics Inc., Jan. 2019. Doi: 10.1063/1.5086569.
- [18] W. G. Willson, D. Walsh, And W. Irwin, “Overview Of Low-Rank Coal (Lrc) Drying,” 1997, *Routledge*. Doi: 10.1080/07349349708905135.
- [19] D. Tian, X. Liu, And M. Ding, “Cs2 Extraction And Ftir & Gc/Ms Analysis Of A Chinese Brown Coal,” *Mining Science And Technology*, Vol. 20, No. 4, Pp. 562–565, Jul. 2010, Doi: 10.1016/S1674-5264(09)60244-1.
- [20] D. F. Umar, H. Usui, And B. Daulay, “Change Of Combustion Characteristics Of Indonesian Low Rank Coal Due To Upgraded Brown Coal Process,” *Fuel Processing Technology*, Vol. 87, No. 11, Pp. 1007–1011, Nov. 2006, Doi: 10.1016/J.Fuproc.2006.07.010.
- [21] R. Xu, Q. He, J. Cai, Y. Pan, J. Shen, And B. Hu, “Effects Of Chemicals And Blending Petroleum Coke On The Properties Of Low-Rank Indonesian Coal Water Mixtures,” *Fuel Processing Technology*, Vol. 89, No. 3, Pp. 249–253, Mar. 2008, Doi: 10.1016/J.Fuproc.2007.11.026.
- [22] “Ruppert2002”.
- [23] “Jcoaljournal_19”.
- [24] Z. Rao, Y. Zhao, C. Huang, C. Duan, And J. He, “Recent Developments In Drying And Dewatering For Low Rank Coals,” Feb. 01, 2015, *Elsevier Ltd*. Doi: 10.1016/J.Pecs.2014.09.001.
- [25] D. F. Umar And L. Setiawan, “Peningkatan Kualitas Batubara Peringkat Rendah Dengan Cara Menurunkan Kadar Air Melalui Proses Evaporasi,” *Jurnal Teknologi Mineral Dan Batubara*, Vol. 18, No. 3, Pp. 145–155, Sep. 2022, Doi: 10.30556/Jtmb.Vol18.No3.2022.1324.

- [26] Z. Wang, C. Liu, J. Wu, H. Jiang, And Y. Zhao, "Impact Of Screening Coals On Screen Surface And Multi-Index Optimization For Coal Cleaning Production," *J Clean Prod*, Vol. 187, Pp. 562–575, Jun. 2018, Doi: 10.1016/J.Jclepro.2018.03.238.
- [27] X. Yang, Y. Zhao, And Z. Luo, "Dry Cleaning Of Fine Coal Based On Gas-Solid Two-Phase Flow: A Review," Feb. 01, 2017, *Wiley-Vch Verlag*. Doi: 10.1002/Ceat.201600265.
- [28] Y. Yang, L. Ge, Y. He, W. Xie, And Z. Ge, "Mechanism And Fine Coal Beneficiation Of A Pulsating Airflow Classifier," *International Journal Of Coal Preparation And Utilization*, Vol. 39, No. 1, Pp. 20–32, Jan. 2019, Doi: 10.1080/19392699.2017.1288622.
- [29] H. Jiang *Et Al.*, "Separation Performance Of Coal In An Air Dense Medium Fluidized Bed At Varying Feeding Positions," *Fuel*, Vol. 243, Pp. 449–457, May 2019, Doi: 10.1016/J.Fuel.2019.01.131.
- [30] A. K. Sahu, S. K. Biswal, And A. Parida, "Development Of Air Dense Medium Fluidized Bed Technology For Dry Beneficiation Of Coal - A Review," Jul. 2009. Doi: 10.1080/19392690903113847.
- [31] O. Canieren And D. Üniversitesi, "New Technology Gravity Separators In Mineral Processing," 2016. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/335859056>
- [32] I. Baic, W. Blaschke, And J. Szafarczyk, "Dry Coal Cleaning Technology."
- [33] Y. Xing *Et Al.*, "Effect Of Compound Collector And Blending Frother On Froth Stability And Flotation Performance Of Oxidized Coal," *Powder Technol*, Vol. 305, Pp. 166–173, Jan. 2017, Doi: 10.1016/J.Powtec.2016.10.003.
- [34] G. Tozsin, C. Acar, And O. Sivrikaya, "Evaluation Of A Turkish Lignite Coal Cleaning By Conventional And Enhanced Gravity Separation Techniques," *International Journal Of Coal Preparation And Utilization*, Vol. 38, No. 3, Pp. 135–148, Apr. 2018, Doi: 10.1080/19392699.2016.1209191.
- [35] P. Menteri, E. Dan, And S. Daya Mineral, "Memtem Energi Dam Sumber Daya Mimeml Republik Indonesia."
- [36] T. N. Tambaria, B. Filda, And Y. Serli, "Kajian Analisis Proksimat Pada Briket Batubara Dan Briket Biomassa."
- [37] A. V. Febriani, F. F. Hanum, And A. Rahayu, "Analisis Potensi Dan Tantangan Biomassa Sebagai Bahan Bakar Pada Pltu Dan Pltbm," *Prosiding Semnastek*, 2024.