

## STUDI VARIASI RASIO BATUBARA KALORI RENDAH DAN BIOMASSA SEKAM PADI DALAM PEMBUATAN BIO-BRIKET BERDASARKAN ANALISIS PROKSIMAT, TOTAL SULFUR, DAN NILAI KALOR

Muzakki<sup>1</sup>, A. Sry Iryani<sup>2</sup>

Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Fajar Makassar

\*Corresponding author.

\*Email: [muzakki195@gmail.com](mailto:muzakki195@gmail.com)

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi rasio campuran batubara kalori rendah dan biomassa sekam padi terhadap karakteristik bio-briket serta menentukan rasio optimum sebagai bahan bakar alternatif yang lebih ramah lingkungan. Variasi rasio yang digunakan meliputi 0:1, 1:0, 1:2, 2:1, 3:1, 1:3, dan 2:3 (batubara : sekam). Parameter yang dianalisis meliputi analisis proksimat, yaitu kadar air, kadar abu, zat terbang, dan karbon tetap, total sulfur, serta nilai kalor. Data dievaluasi secara deskriptif melalui nilai rentang, rata-rata, standar deviasi, dan korelasi terhadap fraksi batubara; sedangkan uji ANOVA satu arah dapat diterapkan apabila tersedia data ulangan pada setiap perlakuan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan fraksi batubara menaikkan karbon tetap dan nilai kalor, namun juga meningkatkan kadar abu serta total sulfur. Sebaliknya, peningkatan fraksi sekam menurunkan sulfur dan abu, tetapi meningkatkan kadar air serta zat terbang. Rasio 3:1 dipilih sebagai rasio paling seimbang karena menghasilkan nilai kalor 5.800 kal/g, kadar sulfur 0,60%, dan kadar air sekitar 5,50%. Namun, karena kadar abu dan zat terbang masih relatif tinggi serta karbon tetap masih rendah dibandingkan standar bio-briket tertentu, rasio optimum ini perlu dikaji lebih lanjut melalui uji pembakaran aktual, seperti waktu penyalaan, durasi pembakaran, kestabilan nyala, dan emisi SO<sub>2</sub>.

**Kata kunci** : bio-briket, batubara kalori rendah, biomassa sekam, nilai kalor

### Abstract.

This study aims to examine the effect of different mixture ratios of low-calorie coal and rice husk biomass on bio-briquette characteristics and to determine the optimum ratio as a more environmentally friendly alternative fuel. The ratio variations were 0:1, 1:0, 1:2, 2:1, 3:1, 1:3, and 2:3 (coal: rice husk). The analyzed parameters included proximate analysis, namely moisture, ash, volatile matter, and fixed carbon, as well as total sulfur and calorific value. The data were evaluated descriptively using range, mean, standard deviation, and correlation with coal fraction; one-way ANOVA can be applied when replicated data are available for each treatment. The results showed that increasing the coal fraction increased fixed carbon and calorific value, but also increased ash and total sulfur. In contrast, increasing the rice husk fraction reduced sulfur and ash, but increased moisture and volatile matter. The 3:1 ratio was selected as the most balanced ratio because it produced a calorific value of 5,800 cal/g, a sulfur content of 0.60%, and a moisture content of about 5.50%. However, because ash and volatile matter remained relatively high and fixed carbon was still low compared with certain bio-briquette standards, this optimum ratio should be further validated through actual combustion tests, including ignition time, combustion duration, flame stability, and SO<sub>2</sub> emission.

**Keywords**: bio-briquettes, low-calorie coal, rice husk biomass, calorific value.

## **Pendahuluan**

Kebutuhan energi nasional di Indonesia terus mengalami peningkatan seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk, perkembangan sektor industri, serta meningkatnya aktivitas ekonomi dan pembangunan. Energi menjadi komponen penting dalam menunjang berbagai sektor seperti transportasi, industri, rumah tangga, hingga pembangkit listrik. Hingga saat ini, pemenuhan kebutuhan energi di Indonesia masih didominasi oleh pemanfaatan bahan bakar fosil seperti minyak bumi, gas alam, dan batubara. Ketergantungan terhadap sumber energi fosil tersebut menimbulkan berbagai permasalahan, antara lain keterbatasan cadangan, fluktuasi harga energi, serta dampak negatif terhadap lingkungan akibat emisi gas pencemar yang dihasilkan selama proses pemanfaatannya (Ardinata et al., 2022).

Batubara merupakan salah satu sumber energi fosil yang memiliki peranan penting dalam sistem energi nasional, khususnya sebagai bahan bakar utama pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Indonesia dikenal sebagai salah satu negara dengan cadangan batubara yang cukup besar di dunia. Namun demikian, sebagian besar cadangan batubara yang dimiliki Indonesia termasuk dalam kategori batubara peringkat rendah (low rank coal) yang memiliki karakteristik kadar air tinggi, nilai kalor relatif rendah, serta kandungan zat terbang yang cukup tinggi. Karakteristik tersebut menyebabkan efisiensi pembakaran batubara menjadi lebih rendah dibandingkan batubara peringkat tinggi. Selain itu, kandungan sulfur yang terdapat dalam batubara berpotensi menghasilkan emisi gas sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) selama proses pembakaran, yang dapat menimbulkan pencemaran udara, hujan asam, serta berbagai dampak negatif terhadap kesehatan manusia dan lingkungan (Kapeluszna et al., 2021).

Upaya pemanfaatan batubara kalori rendah secara optimal memerlukan berbagai metode peningkatan kualitas agar dapat digunakan secara lebih efisien dan ramah lingkungan. Salah satu pendekatan yang dapat dilakukan adalah melalui teknologi pencampuran batubara dengan biomassa dalam bentuk bio-briket. Bio-briket merupakan bahan bakar padat yang dibuat melalui proses pemadatan campuran bahan karbon seperti batubara dan biomassa dengan atau tanpa bahan perekat. Teknologi bio-briket memiliki potensi besar dalam meningkatkan nilai guna batubara peringkat rendah

sekaligus memanfaatkan limbah biomassa yang melimpah di lingkungan (Kapeluszna et al., 2021).

Biomassa merupakan sumber energi terbarukan yang berasal dari bahan organik seperti limbah pertanian, limbah perkebunan, sekam padi, serbuk gergaji, tempurung kelapa, dan berbagai residu tanaman lainnya. Indonesia memiliki potensi biomassa yang sangat besar mengingat luasnya sektor pertanian dan perkebunan yang menghasilkan limbah organik dalam jumlah signifikan setiap tahunnya. Pemanfaatan biomassa sebagai campuran bahan bakar dapat memberikan berbagai keuntungan, antara lain mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, menurunkan emisi gas rumah kaca, serta meningkatkan efisiensi pembakaran. Selain itu, biomassa umumnya memiliki kandungan sulfur yang relatif rendah dibandingkan batubara, sehingga pencampuran biomassa dalam bio-briket dapat membantu menekan potensi emisi gas sulfur selama proses pembakaran. Kandungan zat terbang yang tinggi pada biomassa juga dapat membantu proses penyalaan dan meningkatkan karakteristik pembakaran bahan bakar padat (Kapeluszna et al., 2021).

Dalam proses pembuatan bio-briket, rasio pencampuran antara batubara dan biomassa menjadi faktor yang sangat penting dalam menentukan kualitas produk yang dihasilkan. Perbandingan rasio yang tidak tepat dapat menyebabkan penurunan nilai kalor, peningkatan kadar abu, atau mempengaruhi kestabilan nyala api selama proses pembakaran. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang bertujuan untuk menentukan rasio campuran yang optimal sehingga bio-briket yang dihasilkan memiliki karakteristik bahan bakar yang baik dan memenuhi standar kualitas bahan bakar padat.

Pada campuran batubara dan biomassa, proses pembakaran tidak hanya berlangsung sebagai pencampuran sederhana atau pengenceran kandungan sulfur. Interaksi antara kedua bahan dapat menimbulkan efek sinergis (*synergistic effect*) selama *co-combustion*. Biomassa yang memiliki kadar zat terbang tinggi akan mengalami *devolatilization* lebih cepat pada tahap awal pemanasan, sehingga gas volatil yang terbentuk dapat membantu penyalaan awal batubara. Kondisi ini dikenal sebagai *ignition enhancement*, yaitu peningkatan kemudahan penyalaan akibat keberadaan biomassa. Oleh karena itu, rasio biomassa yang tepat dapat memperbaiki reaktivitas pembakaran, mempercepat rambatan nyala (*flame propagation*), dan meningkatkan kemudahan

penyalaan, meskipun rasio biomassa yang terlalu tinggi dapat menurunkan nilai kalor serta menyebabkan nyala kurang stabil.

Kadar air pada bahan bakar padat dapat dibedakan menjadi *inherent moisture* dan *surface moisture*. *Inherent moisture* merupakan air yang berada di dalam pori atau struktur internal bahan, sedangkan *surface moisture* merupakan air yang menempel pada permukaan akibat penyimpanan, pencucian, atau kontak dengan lingkungan. Pada bio-briket berbasis sekam padi, kadar air dapat meningkat karena struktur sekam yang berserat dan berpori mudah menahan air pada permukaan maupun bagian dalam material. Kadar air yang tinggi akan menyerap sebagian panas pada tahap awal pembakaran untuk proses penguapan, sehingga dapat menurunkan efisiensi pembakaran dan memperpanjang waktu penyalaan.

Zat terbang (*volatile matter*) berhubungan erat dengan waktu penyalaan (*ignition time*), rambatan nyala (*flame propagation*), dan reaktivitas pembakaran (*combustion reactivity*). Kandungan zat terbang yang tinggi pada biomassa umumnya membuat bahan lebih mudah menyala, tetapi jika terlalu tinggi dapat menyebabkan pembakaran cepat, pembentukan asap lebih besar, dan ketidakstabilan nyala (*flame instability*). Sementara itu, karbon tetap (*fixed carbon*) merupakan fraksi padat yang tersisa setelah kadar air, abu, dan zat terbang diperhitungkan. Dalam analisis proksimat, karbon tetap umumnya dihitung secara *by difference* menggunakan persamaan:  $fixed\ carbon = 100\% - \text{kadar air} - \text{kadar abu} - \text{zat terbang}$ .

Kandungan sulfur dalam batubara dapat berada dalam beberapa bentuk, yaitu *pyritic sulfur*, *sulfate sulfur*, dan *organic sulfur*. *Pyritic sulfur* umumnya berasal dari mineral pirit ( $FeS_2$ ), *sulfate sulfur* berasosiasi dengan mineral sulfat hasil oksidasi, sedangkan *organic sulfur* terikat dalam struktur organik batubara. Selama pembakaran, senyawa sulfur berpotensi membentuk  $SO_2$  yang dapat menyebabkan pencemaran udara, korosi peralatan, dan hujan asam. Penambahan biomassa rendah sulfur seperti sekam padi dapat menurunkan sulfur total campuran, tetapi besarnya penurunan emisi  $SO_2$  aktual tetap perlu dibuktikan melalui pengujian emisi langsung.

Sekam padi dikenal memiliki kandungan silika ( $SiO_2$ ) yang cukup tinggi pada bagian abunya. Oleh karena itu, rendahnya kadar abu pada sekam dalam penelitian ini perlu dipahami sebagai karakteristik dari sekam yang digunakan, bukan sebagai sifat

umum seluruh sekam padi. Perbedaan kadar abu dapat dipengaruhi oleh asal bahan, kadar pengotor mineral, kondisi pencucian, ukuran partikel, serta proses pengeringan sebelum pembuatan briket. Untuk memperkuat interpretasi tersebut, karakterisasi abu sekam, misalnya melalui analisis komposisi oksida, dapat menjadi pengujian tambahan pada penelitian lanjutan.

Melalui pendekatan optimasi rasio campuran antara batubara kalori rendah dan biomassa, diharapkan dapat diperoleh formulasi bio-briket yang memiliki keseimbangan antara nilai kalor yang tinggi, kandungan sulfur yang rendah, serta karakteristik pembakaran yang lebih baik dan stabil. Penelitian ini menjadi penting untuk mendukung pengembangan teknologi bahan bakar alternatif yang lebih ramah lingkungan, meningkatkan pemanfaatan sumber daya lokal, serta berkontribusi dalam upaya diversifikasi energi nasional menuju sistem energi yang lebih berkelanjutan.

## **Metode**

### **1. Persiapan Bahan Baku**

Batubara diambil di desa Sikui, desa Palari (PIT Batubara Duaribu Abadi) Ukuran mesh = 100 mesh = 0,150 mm Tekanan 6 MPa. Batubara kalori rendah dan sekam padi dikeringkan untuk mengurangi kadar air awal. Bahan kemudian digiling dan diayak hingga memperoleh ukuran partikel yang seragam. Tahap ini bertujuan memastikan homogenitas campuran dan meningkatkan kualitas briket yang dihasilkan.

### **2. Pembuatan dan Pencampuran Bio-Briket**

Batubara, sekam padi, dan tepung kanji 5% dicampur sesuai variasi rasio 0:1, 1:0, 1:2, 2:1, 3:1, 1:3, dan 2:3. Tepung kanji digunakan sebagai perekat tetap agar pengaruh utama yang diamati berasal dari perubahan rasio batubara dan sekam. Campuran diaduk hingga homogen, kemudian dicetak menggunakan alat pengepres dengan tekanan 6 MPa dan waktu pengepresan yang dibuat sama untuk setiap sampel, yaitu sekitar 1 menit. Briket yang terbentuk dikeringkan pada suhu 105°C hingga massa relatif konstan. Pengeringan dilakukan untuk menurunkan *surface moisture* sehingga briket lebih stabil sebelum dianalisis. Seluruh sampel kemudian didinginkan pada suhu ruang dan disimpan dalam wadah tertutup sebelum pengujian

### 3. Pengujian Karakteristik Bio-Briket

Setiap sampel bio-briket dianalisis menggunakan uji proksimat untuk menentukan kadar air, kadar abu, zat terbang, dan karbon tetap. Kadar air dianalisis untuk menggambarkan kandungan *inherent moisture* dan *surface moisture* yang masih tersisa setelah proses pengeringan. Karbon tetap dihitung secara *by difference*, yaitu 100% dikurangi kadar air, kadar abu, dan zat terbang. Analisis total sulfur dilakukan untuk mengetahui potensi pembentukan emisi sulfur, sedangkan nilai kalor diuji menggunakan kalorimeter untuk menentukan energi panas yang dapat dihasilkan oleh masing-masing rasio.

### 4. Analisis Data dan Penentuan Rasio Optimum

Hasil pengujian dibandingkan antarvariasi rasio untuk mengetahui kecenderungan perubahan mutu bio-briket. Analisis data dilakukan secara deskriptif menggunakan nilai minimum, maksimum, rata-rata, standar deviasi, dan korelasi Pearson antara fraksi batubara dengan setiap parameter uji. Apabila tersedia data ulangan pada setiap rasio, pengujian dapat dilanjutkan menggunakan ANOVA satu arah pada taraf signifikansi 5% untuk mengetahui ada atau tidaknya perbedaan nyata antarperlakuan. Jika hasil ANOVA menunjukkan perbedaan nyata, maka analisis dapat dilanjutkan dengan uji lanjut Tukey untuk mengetahui rasio yang berbeda signifikan. Rasio optimum ditentukan berdasarkan kombinasi nilai kalor tinggi, kadar sulfur rendah, kadar air rendah, serta mempertimbangkan kadar abu, zat terbang, dan karbon tetap.

## Hasil dan Pembahasan

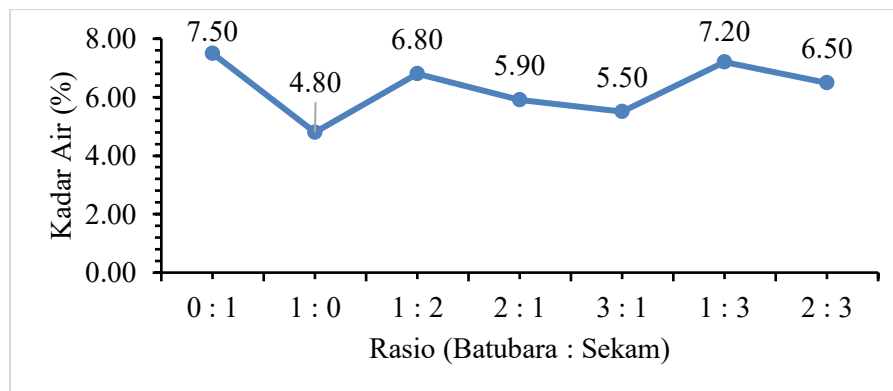
Data hasil pengujian bio-briket yang diperoleh dari variasi *rasio* batubara kalori rendah dan sekam padi menunjukkan adanya perbedaan karakteristik pada setiap parameter uji, meliputi kadar air, kadar abu, zat terbang, karbon tetap, total sulfur, serta nilai kalor. Variasi ini mengindikasikan bahwa *rasio* bahan baku memberikan pengaruh terhadap kualitas bio-briket yang dihasilkan, sehingga diperlukan analisis lebih lanjut untuk memahami hubungan antar variabel serta menentukan *rasio* yang paling optimal.

Analisis statistik deskriptif dilakukan untuk memperkuat pembacaan kecenderungan data. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa fraksi batubara memiliki korelasi positif sangat kuat terhadap kadar abu, karbon tetap, total sulfur, dan nilai kalor,

tetapi berkorelasi negatif sangat kuat terhadap kadar air dan zat terbang. Nilai korelasi ini menunjukkan bahwa perubahan rasio bahan baku berperan besar terhadap perubahan karakteristik bio-briket. Namun, karena data yang ditampilkan merupakan satu nilai untuk setiap rasio, pembuktian signifikansi menggunakan ANOVA memerlukan data ulangan dari setiap perlakuan. Oleh sebab itu, klaim hasil pada pembahasan ini dinyatakan sebagai kecenderungan kuat secara deskriptif, bukan sebagai perbedaan nyata secara inferensial.

**Tabel 1.** Statistik deskriptif parameter bio-briket berdasarkan variasi rasio batubara dan sekam padi

Parameter	Rentang nilai	Rata-rata ± SD antar rasio	Korelasi terhadap fraksi batubara
Kadar air (%)	4,80-7,50	6,31 ± 0,97	r = -0,990
Kadar abu (%)	16,80-28,50	22,33 ± 4,23	r = 0,989
Zat terbang (%)	32,00-68,50	51,07 ± 12,88	r = -0,993
Karbon tetap (%)	7,20-34,70	20,29 ± 9,63	r = 0,992
Total sulfur (%)	0,03-0,75	0,37 ± 0,25	r = 0,992
Nilai kalor (kal/g)	3.100-6.500	4.714,29 ± 1.208,90	r = 0,995



**Gambar 1** Hasil Analisis Kadar Air

Berdasarkan grafik, terlihat bahwa variasi rasio batubara dan sekam memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap kadar air campuran. Pada rasio 0:1 (100%

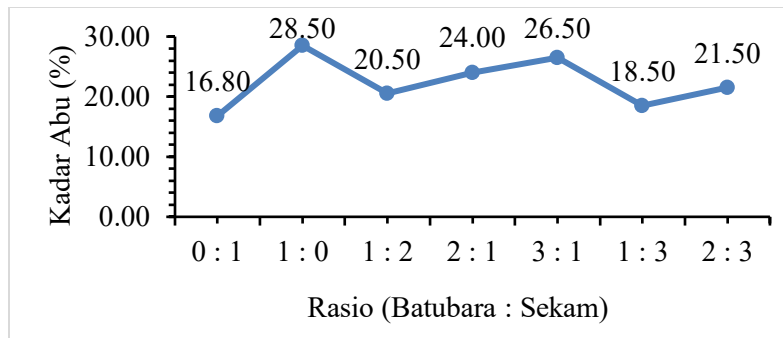
sekam), kadar air tertinggi tercatat sebesar 7,50%. Hal ini disebabkan oleh sifat sekam yang memiliki struktur berpori dan kandungan serat tinggi sehingga mudah menyerap dan menahan air.

Ketika rasio berubah menjadi 1:0 (100% batubara), kadar air turun drastis menjadi 4,80%, yang merupakan nilai terendah pada grafik. Batubara umumnya memiliki kemampuan penyerapan air yang lebih rendah dibandingkan sekam, sehingga kandungan air dalam campuran menjadi lebih kecil (Kurniawan et al., 2022).

Pada campuran 1:2, kadar air meningkat kembali menjadi 6,80%, menunjukkan bahwa penambahan sekam dalam jumlah lebih besar meningkatkan kemampuan campuran dalam menyerap air. Selanjutnya, pada rasio 2:1 dan 3:1, kadar air berturut-turut menurun menjadi 5,90% dan 5,50%, seiring dengan meningkatnya proporsi batubara yang cenderung menurunkan kadar air campuran.

Nilai kadar air kembali meningkat pada rasio 1:3 dengan nilai 7,20%, yang mendekati kadar air sekam murni. Hal ini menguatkan bahwa dominasi sekam dalam campuran sangat berpengaruh terhadap kenaikan kadar air. Sementara itu, pada rasio 2:3, kadar air sedikit menurun menjadi 6,50%, yang menunjukkan adanya keseimbangan antara kontribusi batubara dan sekam terhadap sifat higroskopis campuran (Fadhili & Ansosry, 2019).

Secara umum, semakin tinggi proporsi sekam dalam campuran, maka kadar air cenderung meningkat, sedangkan peningkatan proporsi batubara menyebabkan penurunan kadar air. Kecenderungan ini didukung oleh korelasi negatif yang sangat kuat antara fraksi batubara dan kadar air. Dari sisi pembakaran, kadar air yang lebih rendah menguntungkan karena energi panas tidak banyak digunakan untuk menguapkan air. Namun, kadar air tidak hanya dipengaruhi oleh rasio bahan, tetapi juga oleh kondisi pengeringan, penyimpanan, dan kemampuan material menyerap uap air dari lingkungan.



**Gambar 2** Hasil Analisis Kadar Abu

Berdasarkan grafik, kadar abu menunjukkan variasi yang cukup jelas akibat perubahan rasio batubara dan sekam. Pada rasio 0:1 (100% sekam), kadar abu tercatat sebesar 16,80%. Nilai ini lebih rendah dibandingkan batubara murni pada penelitian ini, meskipun secara umum sekam padi dikenal kaya silika ( $\text{SiO}_2$ ) dan dapat menghasilkan abu yang tinggi. Dengan demikian, hasil ini menunjukkan bahwa sekam yang digunakan kemungkinan memiliki kadar pengotor mineral lebih rendah atau telah mengalami proses pembersihan dan pengeringan yang memengaruhi kadar abunya.

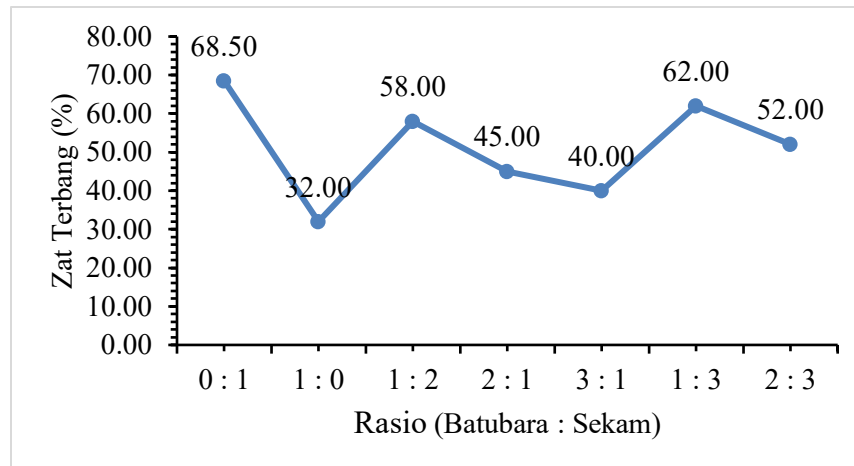
Pada rasio 1:0 (100% batubara), kadar abu meningkat tajam hingga 28,50%, yang merupakan nilai tertinggi pada grafik. Tingginya kadar abu ini disebabkan oleh kandungan mineral anorganik dalam batubara, seperti silika, alumina, dan oksida logam lainnya, yang tersisa sebagai residu setelah proses pembakaran.

Ketika sekam mulai ditambahkan pada rasio 1:2, kadar abu menurun menjadi 20,50%. Penurunan ini menunjukkan bahwa penambahan sekam mampu mengencerkan kandungan mineral dari batubara, sehingga residu abu yang dihasilkan menjadi lebih rendah. Namun, pada rasio 2:1 dan 3:1, kadar abu kembali meningkat masing-masing menjadi 24,00% dan 26,50%, seiring dengan meningkatnya proporsi batubara dalam campuran.

Pada rasio 1:3, kadar abu kembali turun menjadi 18,50%, mendekati nilai sekam murni. Hal ini menegaskan bahwa dominasi sekam dalam campuran berperan penting dalam menurunkan kadar abu. Sementara itu, pada rasio 2:3, kadar abu sedikit meningkat menjadi 21,50%, yang menunjukkan adanya kontribusi batubara terhadap pembentukan residu abu meskipun sekam masih mendominasi.

Secara umum, hasil ini menunjukkan bahwa semakin tinggi proporsi batubara dalam campuran, maka kadar abu cenderung meningkat, sedangkan peningkatan

proporsi sekam menyebabkan penurunan kadar abu. Informasi ini penting dalam pemilihan rasio bahan bakar campuran, karena kadar abu yang tinggi dapat menurunkan efisiensi pembakaran serta meningkatkan potensi pembentukan kerak (*slagging*) dan fouling pada peralatan pembakaran (Lolo et al., 2020).



**Gambar 3** Hasil Analisis Zat Terbang

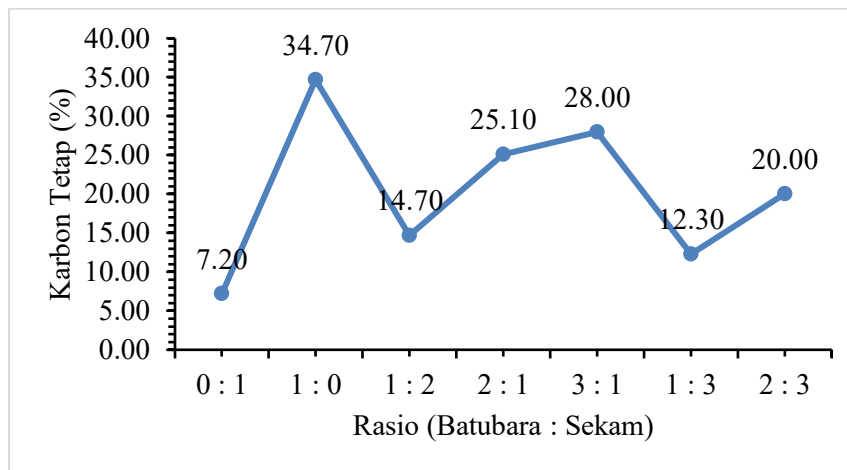
Berdasarkan grafik, kadar zat terbang mengalami perubahan yang cukup signifikan seiring dengan variasi rasio batubara dan sekam. Pada rasio 0:1 (100% sekam), kadar zat terbang mencapai 68,50%, yang merupakan nilai tertinggi pada grafik. Tingginya kadar zat terbang ini berkaitan dengan karakteristik sekam yang kaya akan senyawa organik dan komponen volatil, seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin, yang mudah terurai pada pemanasan.

Pada rasio 1:0 (100% batubara), kadar zat terbang turun drastis menjadi 32,00%, yang merupakan nilai terendah. Batubara umumnya memiliki struktur karbon yang lebih stabil dan kandungan volatil yang lebih rendah dibandingkan biomassa, sehingga menghasilkan nilai zat terbang yang kecil.

Pada campuran 1:2, kadar zat terbang meningkat kembali menjadi 58,00%, menunjukkan bahwa penambahan sekam dalam jumlah lebih besar berkontribusi secara signifikan terhadap peningkatan zat terbang campuran. Selanjutnya, pada rasio 2:1 dan 3:1, kadar zat terbang menurun berturut-turut menjadi 45,00% dan 40,00%, seiring dengan meningkatnya proporsi batubara yang mengurangi kandungan komponen volatil.

Kadar zat terbang kembali meningkat pada rasio 1:3 dengan nilai 62,00%, yang mendekati nilai sekam murni. Hal ini menegaskan bahwa dominasi sekam dalam campuran sangat berpengaruh terhadap tingginya kadar zat terbang. Sementara itu, pada rasio 2:3, kadar zat terbang sedikit menurun menjadi 52,00%, yang menunjukkan adanya pengaruh batubara meskipun sekam masih mendominasi rasio.

Secara umum, peningkatan proporsi sekam dalam campuran menyebabkan kenaikan kadar zat terbang, sedangkan peningkatan proporsi batubara menurunkan kadar zat terbang. Kadar zat terbang yang tinggi dapat mempercepat penyalaan, memperpendek *ignition time*, dan meningkatkan reaktivitas pembakaran. Namun, nilai zat terbang yang sangat tinggi, seperti pada sekam murni dan campuran dominan sekam, juga berpotensi menyebabkan pembakaran terlalu cepat, asap lebih banyak, serta ketidakstabilan nyala. Oleh karena itu, rasio campuran perlu menyeimbangkan kemudahan penyalaan dengan kestabilan pembakaran



**Gambar 4** Hasil Analisis Karbon Tetap

Berdasarkan grafik, kadar karbon tetap menunjukkan variasi yang jelas akibat perubahan rasio batubara dan sekam. Pada rasio 0:1 (100% sekam), kadar karbon tetap tercatat paling rendah yaitu 7,20%. Nilai ini mencerminkan karakteristik sekam sebagai biomassa yang memiliki kandungan volatil tinggi dan residu karbon padat yang relatif kecil setelah proses pemanasan.

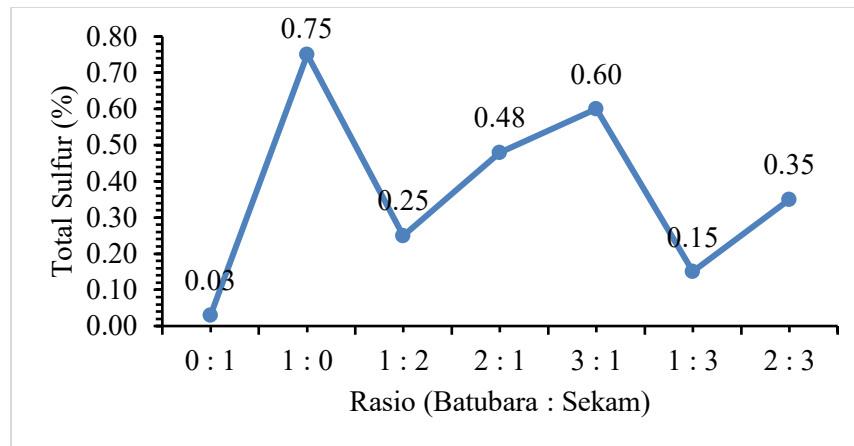
Sebaliknya, pada rasio 1:0 (100% batubara), kadar karbon tetap meningkat tajam hingga 34,70%, yang merupakan nilai tertinggi pada grafik. Hal ini disebabkan oleh struktur

batubara yang kaya akan karbon terikat dan bersifat lebih stabil secara termal dibandingkan biomassa, sehingga menghasilkan residu karbon tetap yang tinggi.

Pada campuran 1:2, kadar karbon tetap menurun menjadi 14,70%, seiring dengan meningkatnya proporsi sekam yang menurunkan kandungan karbon terikat dalam campuran. Namun, pada rasio 2:1, kadar karbon tetap kembali meningkat menjadi 25,10%, menunjukkan bahwa dominasi batubara dalam campuran berperan besar dalam peningkatan karbon tetap.

Nilai karbon tetap tertinggi berikutnya terdapat pada rasio 3:1, yaitu 28,00%, yang menegaskan bahwa semakin besar fraksi batubara, semakin tinggi kadar karbon tetap yang dihasilkan. Sebaliknya, pada rasio 1:3, kadar karbon tetap kembali turun menjadi 12,30%, mendekati nilai sekam murni akibat dominasi komponen biomassa. Pada rasio 2:3, kadar karbon tetap sedikit meningkat menjadi 20,00%, yang menunjukkan adanya kontribusi batubara meskipun sekam masih mendominasi campuran (Ardinata et al., 2022).

Secara umum, peningkatan proporsi batubara dalam campuran menyebabkan kenaikan karbon tetap, sedangkan peningkatan proporsi sekam menurunkan karbon tetap. Karbon tetap berperan dalam mempertahankan bara dan memperpanjang durasi pembakaran. Namun, nilai karbon tetap tertinggi dalam penelitian ini, yaitu 34,70% pada batubara murni, masih tergolong rendah jika dibandingkan dengan bahan bakar padat berkualitas tinggi yang umumnya membutuhkan karbon tetap lebih besar. Oleh karena itu, pernyataan mengenai kestabilan pembakaran tidak dapat hanya didasarkan pada nilai karbon tetap, tetapi perlu dibuktikan melalui uji pembakaran aktual, seperti *burning test*, *ignition test*, dan pengukuran durasi pembakaran.



**Gambar 5** Hasil Analisis Total Sulfur

Berdasarkan grafik, kadar sulfur total menunjukkan perbedaan yang cukup nyata pada setiap variasi rasio batubara dan sekam. Pada rasio 0:1 (100% sekam), kadar sulfur total sangat rendah yaitu 0,03%. Nilai ini mencerminkan karakteristik biomassa sekam yang umumnya memiliki kandungan sulfur minimal, sehingga relatif lebih ramah lingkungan dari sisi emisi gas sulfur.

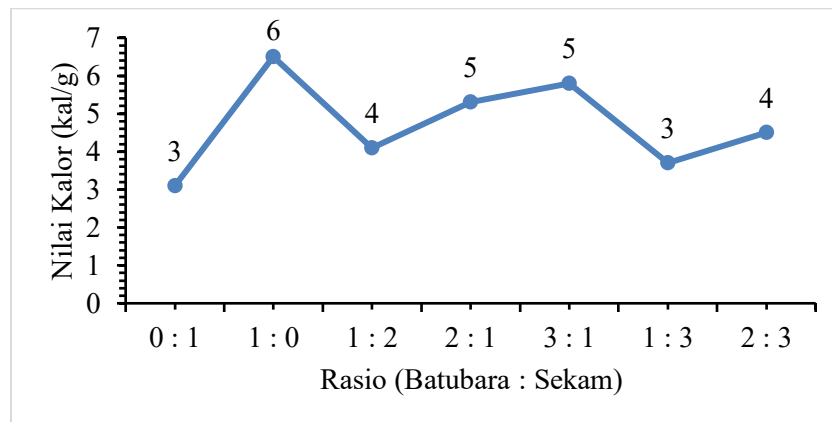
Pada rasio 1:0 (100% batubara), kadar sulfur total meningkat tajam hingga 0,75%, yang merupakan nilai tertinggi pada grafik. Tingginya kandungan sulfur ini berasal dari senyawa sulfur anorganik maupun organik dalam batubara, seperti pirit ( $\text{FeS}_2$ ), yang berpotensi menghasilkan emisi  $\text{SO}_2$  selama proses pembakaran.

Pada campuran 1:2, kadar sulfur total menurun signifikan menjadi 0,25%. Penurunan ini menunjukkan bahwa penambahan sekam mampu mengencerkan kandungan sulfur batubara, sehingga menurunkan potensi emisi sulfur dari bahan bakar campuran. Selanjutnya, pada rasio 2:1 dan 3:1, kadar sulfur kembali meningkat masing-masing menjadi 0,48% dan 0,60%, seiring dengan meningkatnya fraksi batubara dalam campuran.

Pada rasio 1:3, kadar sulfur total kembali turun menjadi 0,15%, mendekati nilai sekam murni akibat dominasi biomassa dalam campuran. Sementara itu, pada rasio 2:3, kadar sulfur sedikit meningkat menjadi 0,35%, yang menunjukkan adanya kontribusi batubara terhadap kandungan sulfur meskipun sekam masih mendominasi rasio.

Secara umum, peningkatan proporsi batubara dalam campuran menyebabkan kenaikan kadar sulfur total, sedangkan peningkatan proporsi sekam menurunkan kadar

sulfur. Penurunan ini menunjukkan adanya efek pengenceran sulfur karena sekam memiliki kandungan sulfur yang lebih rendah. Selain itu, abu biomassa yang mengandung mineral tertentu berpotensi membantu penangkapan sebagian sulfur selama pembakaran, sehingga dapat berperan sebagai potensi desulfurisasi. Namun, dugaan tersebut masih perlu dibuktikan melalui analisis emisi  $\text{SO}_2$  atau uji pembakaran lanjutan (Kapeluszna et al., 2021).



**Gambar 6** Hasil Analisis Nilai Kalori

Berdasarkan data yang diperoleh, variasi rasio batubara dan sekam memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kalor campuran. Pada rasio 0:1 (100% sekam), nilai kalor tercatat paling rendah yaitu 3.100 kal/g. Nilai ini mencerminkan karakteristik sekam sebagai biomassa yang memiliki kandungan karbon tetap rendah serta kadar zat terbang dan kadar air yang relatif tinggi, sehingga energi panas yang dihasilkan saat pembakaran menjadi terbatas.

Sebaliknya, pada rasio 1:0 (100% batubara), nilai kalor tertinggi diperoleh sebesar 6.500 kal/g. Tingginya nilai kalor ini disebabkan oleh kandungan karbon tetap yang tinggi serta kadar air yang relatif rendah pada batubara, sehingga mampu menghasilkan energi panas yang lebih besar dan stabil selama proses pembakaran.

Pada campuran 1:2, nilai kalor menurun menjadi 4.100 kal/g. Penurunan ini terjadi karena meningkatnya proporsi sekam yang memiliki nilai kalor lebih rendah dibandingkan batubara, sehingga menurunkan kontribusi energi total dari campuran. Namun demikian, nilai kalor ini masih lebih tinggi dibandingkan sekam murni, yang menunjukkan adanya peran batubara dalam meningkatkan kualitas energi campuran.

Nilai kalor kembali meningkat pada rasio 2:1 dan 3:1, masing-masing sebesar 5.300 kal/g dan 5.800 kal/g. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar fraksi batubara dalam campuran, semakin tinggi nilai kalor yang dihasilkan. Rasio 3:1 mendekati karakteristik batubara murni, namun dengan potensi keuntungan tambahan berupa penurunan kadar sulfur dan abu akibat keberadaan sekam.

Pada rasio 1:3, nilai kalor kembali menurun menjadi 3.700 kal/g, mendekati nilai sekam murni karena dominasi biomassa dalam campuran. Sementara itu, pada rasio 2:3, nilai kalor sedikit meningkat menjadi 4.500 kal/g, yang menunjukkan adanya keseimbangan kontribusi energi antara batubara dan sekam.

Secara umum, dapat disimpulkan bahwa peningkatan proporsi batubara dalam campuran menyebabkan kenaikan nilai kalor, sedangkan peningkatan proporsi sekam menurunkan nilai kalor. Namun demikian, pencampuran batubara dengan sekam tetap memiliki potensi positif, terutama dalam menghasilkan bahan bakar alternatif yang lebih ramah lingkungan dengan emisi sulfur dan abu yang lebih rendah, meskipun nilai kalor tidak setinggi batubara murni. Oleh karena itu, pemilihan rasio optimum perlu mempertimbangkan keseimbangan antara nilai kalor, karakteristik pembakaran (*ignition* dan stabilitas), serta aspek lingkungan (Poernomo, 2021).

Perlakuan dalam penelitian ini memiliki beberapa perbedaan dan pengembangan dibandingkan dengan penelitian-penelitian sebelumnya, khususnya dalam penggunaan perekat kanji dan variasi rasio bahan baku.

Pertama, dari segi penggunaan perekat, penelitian ini menggunakan tepung kanji dengan konsentrasi tetap sebesar 5%. Hal ini berbeda dengan beberapa penelitian sebelumnya yang umumnya menggunakan variasi kadar perekat (misalnya 5%, 10%, hingga 15%) untuk melihat pengaruhnya terhadap kekuatan dan kualitas briket. Dengan menetapkan kanji sebagai variabel tetap, penelitian ini lebih berfokus pada pengaruh rasio batubara dan biomassa terhadap karakteristik bio-briket, sehingga variabel yang diuji menjadi lebih terkontrol.

Kedua, dalam hal rasio bahan baku, penelitian ini menggunakan variasi campuran batubara kalori rendah dan sekam padi yang cukup beragam (0:1, 1:0, 1:2, 2:1, 3:1, 1:3, 2:3). Dibandingkan penelitian sebelumnya, variasi rasio yang digunakan cenderung lebih

luas dan sistematis, sehingga memungkinkan analisis yang lebih mendalam dalam menentukan rasio optimum. Penelitian sebelumnya umumnya hanya menggunakan beberapa variasi terbatas, seperti perbandingan sederhana 1:1 atau 2:1.

Ketiga, dari segi perlakuan proses, penelitian ini menekankan pada keseragaman ukuran partikel melalui proses pengeringan, penggilingan, dan pengayakan sebelum pencampuran. Selain itu, tekanan pencetakan dibuat konstan untuk semua variasi. Pada beberapa penelitian sebelumnya, kontrol terhadap ukuran partikel dan tekanan pencetakan tidak selalu dijelaskan secara rinci, sehingga dapat mempengaruhi konsistensi hasil.

Keempat, pada aspek parameter pengujian, penelitian ini tidak hanya melakukan uji proksimat (kadar air, abu, zat terbang, dan karbon tetap), tetapi juga analisis total sulfur dan nilai kalor. Hal ini menunjukkan cakupan analisis yang lebih komprehensif dibandingkan beberapa penelitian terdahulu yang umumnya hanya berfokus pada nilai kalor dan kadar air saja dan dari segi tujuan penelitian, penelitian ini secara spesifik menargetkan pencarian rasio optimum berdasarkan kombinasi nilai kalor tinggi dan kadar sulfur rendah. Sementara itu, penelitian sebelumnya cenderung lebih menitikberatkan pada peningkatan nilai kalor atau kekuatan mekanik briket saja (Ampas & Pembakaran, 2018).

Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya, terutama dalam hal kontrol variabel, variasi rasio yang lebih luas, serta analisis karakteristik yang lebih lengkap.

### **Kaitan dengan Standar Baku Bio-Briket**

Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi rasio batubara : sekam memberikan pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik proksimat, kandungan sulfur, serta nilai kalor bio briket yang dihasilkan. Setiap parameter saling berkaitan dan secara bersama-sama menentukan mutu bio briket serta kesesuaiannya dengan standar baku yang berlaku.

### **Kadar Air**

Kadar air bio briket berada pada rentang 4,80–7,50%. Berdasarkan standar bio briket (SNI 01-6235-2000), kadar air yang disyaratkan umumnya  $\leq 8\%$ . Seluruh variasi rasio pada penelitian ini masih memenuhi standar tersebut. Rasio dengan dominasi batubara menunjukkan kadar air lebih rendah, sedangkan peningkatan fraksi sekam cenderung menaikkan kadar air akibat sifat higroskopis biomassa. Kadar air yang rendah penting untuk meningkatkan efisiensi pembakaran dan memudahkan proses penyalaan (*ignition*).

### **Kadar Abu**

Kadar abu berkisar antara 16,80–28,50%, dengan nilai tertinggi pada batubara murni dan terendah pada rasio dengan dominasi sekam. Dibandingkan standar bio briket yang umumnya mensyaratkan kadar abu  $\leq 10\%$ , nilai kadar abu pada seluruh variasi masih tergolong tinggi. Hal ini terutama dipengaruhi oleh kandungan mineral anorganik batubara yang cukup besar. Meskipun demikian, penambahan sekam terbukti mampu menurunkan kadar abu, sehingga berpotensi memperbaiki mutu bio briket dari aspek residu pembakaran dan potensi *slagging*.

### **Kadar Zat Terbang**

Kadar zat terbang berada pada rentang 32,00–68,50%. Nilai ini relatif lebih tinggi dibandingkan standar bio briket yang umumnya berada pada kisaran 15–30%. Tingginya zat terbang terutama disebabkan oleh kontribusi sekam yang kaya akan senyawa volatil. Kadar zat terbang yang tinggi memberikan keuntungan berupa kemudahan penyalaan, namun dapat menyebabkan pembakaran yang kurang stabil dan pembentukan asap lebih besar. Oleh karena itu, rasio campuran perlu dioptimalkan agar tidak terlalu didominasi biomassa.

### **Karbon Tetap**

Kadar karbon tetap berkisar antara 7,20–34,70%, dengan nilai tertinggi pada batubara murni dan menurun seiring meningkatnya proporsi sekam. Standar bio briket umumnya menghendaki kadar karbon tetap  $\geq 60\%$ , sehingga nilai karbon tetap pada penelitian ini masih tergolong rendah. Rendahnya karbon tetap berkaitan langsung dengan tingginya

kadar zat terbang dan abu. Karbon tetap yang rendah menyebabkan waktu pembakaran (*burning time*) menjadi lebih singkat dan kestabilan nyala menurun.

### **Kadar Sulfur**

Kadar sulfur total berada pada rentang 0,03–0,75%. Standar bio briket umumnya mensyaratkan kadar sulfur  $\leq 1\%$ , sehingga seluruh variasi rasio masih memenuhi batas aman. Penambahan sekam secara signifikan menurunkan kadar sulfur, sehingga rasio campuran memiliki keunggulan dari sisi lingkungan karena berpotensi menurunkan emisi  $SO_2$  dan dampak korosif pada peralatan pembakaran.

### **Nilai Kalor**

Nilai kalor berkisar antara 3.100–6.500 kal/g. Berdasarkan standar bio briket, nilai kalor yang disyaratkan umumnya  $\geq 4.000$  kal/g. Rasio 1:2, 2:1, 3:1, dan 2:3 telah memenuhi standar tersebut, sedangkan sekam murni dan rasio 1:3 masih berada di bawah batas minimum. Peningkatan fraksi batubara secara konsisten menaikkan nilai kalor karena tingginya kandungan karbon tetap dan rendahnya kadar air.

### **Evaluasi Terhadap Standar Bio Briket**

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak ada satu rasio pun yang sepenuhnya memenuhi seluruh parameter standar bio briket, terutama pada aspek kadar abu, zat terbang, dan karbon tetap. Namun demikian, dari sisi kadar air, sulfur, dan nilai kalor, beberapa rasio telah memenuhi standar. Rasio 2:1 dan 3:1 dapat dianggap sebagai rasio yang relatif paling seimbang, karena memiliki nilai kalor tinggi, kadar sulfur masih rendah, serta karakteristik pembakaran yang lebih stabil dibandingkan campuran dengan dominasi sekam.

Hasil penelitian ini memiliki kesesuaian dengan beberapa penelitian terdahulu terkait bio-briket berbasis batubara dan biomassa. Penelitian oleh Ampas (2018) menunjukkan bahwa penambahan biomassa ke dalam batubara dapat menurunkan kadar sulfur dan meningkatkan kemudahan penyalaan, namun di sisi lain menyebabkan penurunan nilai kalor. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian ini, di mana peningkatan fraksi sekam padi menurunkan kadar sulfur hingga 0,03%, tetapi juga menurunkan nilai kalor hingga 3.100 kal/g .

Selain itu, penelitian oleh Kurniawan et al. (2022) menyatakan bahwa penggunaan biomassa seperti sekam padi dengan perekat kanji dapat meningkatkan sifat ramah lingkungan bio-briket, namun kadar air dan zat terbang cenderung meningkat. Hal ini juga ditemukan dalam penelitian ini, di mana peningkatan proporsi sekam menyebabkan kenaikan kadar air hingga 7,50% dan zat terbang hingga 68,50% .

Namun demikian, terdapat beberapa perbedaan mendasar antara penelitian ini dengan penelitian sebelumnya. Pertama, penelitian oleh Ampas (2018) umumnya hanya menggunakan variasi rasio terbatas, sedangkan penelitian ini menggunakan variasi yang lebih luas dan sistematis (0:1 hingga 3:1), sehingga memberikan analisis yang lebih komprehensif dalam menentukan rasio optimum.

Kedua, penelitian oleh Kurniawan et al. (2022) lebih menitikberatkan pada variasi jenis biomassa dan pengaruh perekat, sementara pada penelitian ini konsentrasi perekat dibuat tetap sebesar 5% agar fokus analisis lebih diarahkan pada pengaruh rasio batubara dan sekam.

Ketiga, dari segi parameter analisis, penelitian ini lebih lengkap karena tidak hanya menguji nilai kalor dan kadar air, tetapi juga mencakup analisis proksimat secara keseluruhan (kadar air, abu, zat terbang, karbon tetap) serta total sulfur. Hal ini berbeda dengan beberapa penelitian sebelumnya yang umumnya hanya berfokus pada sebagian parameter saja.

Keempat, penelitian ini secara khusus menargetkan penentuan rasio optimum berdasarkan keseimbangan antara nilai kalor dan kadar sulfur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio 3:1 (batubara : sekam) merupakan kondisi terbaik berdasarkan parameter yang diuji, dengan nilai kalor 5.800 kal/g dan kadar sulfur 0,60%. Akan tetapi, penetapan rasio ini tetap perlu dipahami sebagai rekomendasi awal karena belum disertai pengujian emisi SO<sub>2</sub> aktual, *burning test*, *ignition test*, maupun pengukuran durasi pembakaran.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penelitian ini tidak hanya memperkuat hasil penelitian sebelumnya, tetapi juga memberikan kontribusi baru melalui variasi rasio yang lebih luas, parameter analisis yang lebih lengkap, serta pendekatan yang lebih terintegrasi antara aspek energi dan lingkungan.

Standarisasi batubara yang ditinjau dari parameter kualitas seperti kadar air, kadar abu, zat terbang, karbon tetap, sulfur, dan nilai kalor memiliki hubungan yang erat dengan hasil penelitian ini. Secara teoritis, batubara yang memenuhi standar kualitas adalah batubara yang memiliki nilai kalor tinggi, kadar air rendah, serta kandungan abu dan sulfur yang rendah karena akan menghasilkan efisiensi pembakaran yang lebih baik dan dampak lingkungan yang lebih kecil.

Berdasarkan hasil penelitian, terlihat bahwa batubara murni (komposisi 1:0) memiliki nilai kalor tertinggi sebesar 6.500 kal/g dan karbon tetap tertinggi sebesar 34,70%, yang menunjukkan kesesuaian dengan teori bahwa kandungan karbon tetap berbanding lurus dengan nilai kalor. Namun demikian, batubara juga memiliki kelemahan yaitu kadar abu yang tinggi (28,50%) dan sulfur yang relatif tinggi (0,75%), yang tidak sepenuhnya memenuhi standar bahan bakar ramah lingkungan.

Sebaliknya, pada komposisi dengan dominasi sekam padi (0:1), diperoleh kadar sulfur yang sangat rendah yaitu 0,03% serta kadar abu yang lebih rendah dibandingkan batubara, namun nilai kalor yang dihasilkan juga rendah yaitu 3.100 kal/g. Hal ini menunjukkan bahwa secara teoritis biomassa lebih unggul dari sisi lingkungan, tetapi kurang dari sisi energi.

Kondisi ini menunjukkan adanya trade-off antara aspek energi dan lingkungan dalam standarisasi bahan bakar. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan pendekatan pencampuran (blending) untuk memperoleh kualitas bahan bakar yang lebih seimbang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi 3:1 (batubara : sekam) menghasilkan nilai kalor sebesar 5.800 kal/g dengan kadar sulfur 0,60% dan kadar air sekitar 5,50%. Komposisi ini dinilai paling mendekati standar ideal karena mampu mempertahankan nilai kalor yang tinggi sekaligus menurunkan kandungan sulfur dibandingkan batubara murni.

Dari aspek ekonomis, hasil ini juga menunjukkan bahwa penggunaan batubara kalori rendah yang dikombinasikan dengan biomassa dapat menjadi solusi yang lebih efisien. Batubara kalori rendah umumnya memiliki harga yang lebih murah, dan dengan penambahan sekam padi yang merupakan limbah pertanian, biaya produksi dapat ditekan tanpa mengorbankan kualitas energi secara signifikan. Dengan demikian, komposisi optimum yang dihasilkan tidak hanya memenuhi aspek teknis berdasarkan

standar kualitas bahan bakar, tetapi juga memberikan keuntungan dari segi biaya produksi dan keberlanjutan sumber energi.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memperkuat bahwa standarisasi batubara tidak hanya ditentukan oleh satu parameter, tetapi merupakan kombinasi dari berbagai faktor yang saling mempengaruhi. Melalui pendekatan pencampuran batubara dan biomassa, diperoleh bahan bakar alternatif yang lebih mendekati standar ideal baik dari segi teori maupun aspek ekonomis.

## Kesimpulan

Variasi rasio campuran batubara dan sekam padi memengaruhi karakteristik bio-briket berdasarkan hasil analisis proksimat, total sulfur, dan nilai kalor. Peningkatan fraksi batubara menaikkan karbon tetap hingga 34,70% dan nilai kalor hingga 6.500 kal/g, tetapi juga meningkatkan kadar abu hingga 28,50% dan total sulfur hingga 0,75%. Sebaliknya, peningkatan fraksi sekam menurunkan kadar sulfur hingga 0,03%, tetapi meningkatkan kadar air hingga 7,50% serta zat terbang hingga 68,50%. Secara deskriptif, fraksi batubara memiliki korelasi sangat kuat terhadap peningkatan nilai kalor, karbon tetap, kadar abu, dan sulfur, serta berkorelasi negatif terhadap kadar air dan zat terbang. Rasio batubara : sekam = 3:1 menjadi rasio paling seimbang berdasarkan nilai kalor 5.800 kal/g, kadar sulfur 0,60%, dan kadar air sekitar 5,50%. Namun, karena kadar abu dan zat terbang masih relatif tinggi serta karbon tetap masih rendah, rasio optimum ini perlu divalidasi lebih lanjut melalui uji pembakaran aktual, seperti waktu penyalaan, durasi pembakaran, kestabilan nyala, dan emisi SO<sub>2</sub>.

## Daftar Referensi

- Aladin, Andi, Basri Modding, Takdir Syarif, Latri Wiyani, and H. A. A. (2022). *Pirolisis*. Nas Media Pustaka.
- Ampas, B., & Pembakaran, L. (2018). *Karakteristik Bio-Briket Berbahan Baku Batu Bara dan*. 12(1), 51–58. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.35278>
- Ardinata, S., Herniti, D., & Pranajati, A. (2022). Analisis Proksimat Batubara Menggunakan Standar Astm Pada Pt. Cahaya Bumi Perdana Kabupaten Sawahlunto Provinsi Sumatera Barat. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 22(1), 11–15. <https://doi.org/10.37412/jrl.v22i1.130>
- Doli Jumat Rianto. (2022). Analisis Pengaruh Kadar Air (Total Moisture) Batubara Terhadap Nilai Kalori Batubara di Front Penambangan. *Formosa Journal of Multidisciplinary Research*, 1(2), 257–268. <https://doi.org/10.55927/fjmr.v1i2.582>
- Fadhili, M. A., & Ansosry. (2019). 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. *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*, 4(3), 54–64.
- Istomo, F. P., & Tristiasti, A. (2019). Penetapan Nilai Kalori Dalam Batubara Dengan Kalorimeter Parr 6200. *Jurnal Sains Natural*, 7(2), 83. <https://doi.org/10.31938/jsn.v7i2.257>
- Kapeluszna, E., Szudek, W., Wolka, P., & Zieliński, A. (2021). Implementation of alternative mineral additives in low-emission sustainable cement composites. *Materials*, 14(21). <https://doi.org/10.3390/ma14216423>
- Kurniawan, E., Muarif, A., & Siregar, K. A. (2022). Pemanfaatan Sekam Padi dan Cangkang Sawit Sebagai Bahan Baku Briket Arang dengan Menggunakan Perekat Tepung Kanji. *Seminar Nasional Pengabdian Masyarakat LPPM UMJ*, 1–9.
- Lolo, A., Patandean, C. F., & Ruslan, E. (2020). Karakterisasi Air Daerah Panas Bumi Pencong Dengan Metode Aas (Atomic Absorption Spectrophotometer) Di Kecamatan Biringbulu, Kabupaten Gowa Propinsi Sulawesi Selatan. *Jurnal Geocelebes*, 4(2), 102–110. <https://doi.org/10.20956/geocelebes.v4i2.8928>
- Nur, Z., Oktavia, M., & Desmawita. (2019). Analisis Kualitas Batubara Di Pit Dan Stockpile Dengan Metoda Analisis Proksimat Di Pt. Surya Anugrah Sejahtera Kecamatan Rantau Pandan Kabupaten Bungo Provinsi Jambi. *Mine Magazine*, 7(1), 283.
- Poernomo, H. (2021). Preliminary Study of the Utilization of the Fly Ash From Coal-Fired Power Plant for Immobilization of Radioactive Waste. *Indonesian Journal of Chemistry*, 11(3), 258. <https://doi.org/10.22146/ijc.21390>
- Sugianto, F. I., Andy, R., Wijaya, E., Putra, B. P., Studi, P., Pertambangan, T., Teknologi, F., & Babarsari, J. (2020). Quality Control Batubara Dari Channel-Pit Menuju Stockpile Pt. Kuasing Inti Makmur. *Mining Insight*, 01(01), 43–52.
- Suri, T. M., Sair, A., & Yusuf, S. (2021). Sejarah Penambangan Batubara Bukit Asam di Tanjung Enim. *HISTORIA: Jurnal Program Studi Pendidikan Sejarah*, 9(1), 87. <https://doi.org/10.24127/hj.v9i1.2672>
- Wahyuni, I. P., Amir, A., & Nurjanah, R. (2020). Hubungan kausalitas ekspor batubara dengan pertumbuhan ekonomi Provinsi Jambi. *E-Journal Perdagangan Industri Dan Moneter*, 8(1), 23–30. <https://doi.org/10.22437/pim.v8i1.7617>
- Zakwan, H., & Prabowo, H. (2021). Pengendalian Kualitas Batubara Seam 300 Berdasarkan Parameter Kualitas Batubara dari Front Sampai ke Buyer di PT

VOL 8 NO 1 BULAN 04 TAHUN 2026  
DOI : 10.25299/jrec.2026.vol8(1).27927

Kuansing Inti Makmu, Job Site Tanjung Belit, Bungo, Jambi. *Jurnal Bina Tambang*,  
6(5), 68–76.